

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE POLYMERFORSCHUNG | JAHRESBERICHT | ANNUAL REPORT 2011

pioneers in polymers

**Polymertechnologien**  
Herstellungstechnologie  
Fasern  
Analysetechnik  
Feinchemikalien  
Katalysatoren  
Rohstoffe  
Polymererlektronik  
Weiterentwicklung  
Materialentwicklung  
Materialentwicklung  
überdurchschnittlich  
synthese

**Technikum**  
OLEDs  
Membrantechnologie  
Forschungsgüter  
organische  
Technologien  
Megatrends  
Pilotanlagen  
innovativ

**Kunststoffindustrie**  
Möglichkeiten  
Fokus  
wirtschaftlich  
Spezialanwendungen  
Kooporationen  
Stärkeanwendungen  
medizinische  
Schmelzspinnen  
biobasiert

**Chemie**  
Prozess-Optimierung  
Zukunft  
Verfahrenstechnik  
Rohstoffe

**Forschung**  
Optimierung  
Kohlenstofffasern  
Spinnereien  
Implantate  
Materialien

**Biopolymere**  
Cellulose  
Mikroverkapselung  
Oberflächen

Industrie  
Pilotanlagen  
Polymersstrukturen  
Verfahrenstechnik

Methoden  
Forschungsgüter  
organische  
Technologien  
Megatrends  
Pilotanlagen  
innovativ

**JAHRESBERICHT  
ANNUAL REPORT  
2011**

# INHALTSVERZEICHNIS

## CONTENTS

Vorwort | 4  
Preface

## 6 DAS INSTITUT THE INSTITUTE

Das Fraunhofer IAP im Überblick | 8  
The Fraunhofer IAP at a glance  
Zweite Ausbaustufe des Fraunhofer IAP | 10  
Second expansion stage of the Fraunhofer IAP  
Kuratorium | 12  
Advisory Board  
Das Institut in Zahlen | 13  
The Institute in figures  
Organisation und Schwerpunkte | 14  
Organization and main topics  
Ansprechpartner | 16  
Contact persons  
Die Fraunhofer-Gesellschaft | 18  
The Fraunhofer-Gesellschaft  
Fraunhofer-Verbund  
Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS | 20  
The Fraunhofer Group for  
Materials and Components – MATERIALS

## 22 BIOPOLYMERE BIOPOLYMERS

Vom Biopolymer zum Hochleistungskunststoff | 24  
From biopolymers to high performance plastics  
Anwendungen und Dienstleistungen | 28  
Applications and services  
Neues Synthesekonzept zur Herstellung  
von thermoplastischen Stärkemischestern | 32  
New concepts for the synthesis of  
thermoplastic starch mixed esters  
Fettsäureester der Stärke als  
thermoplastische, biobasierte Materialien | 34  
Fatty acid starch esters as  
thermoplastic, bio-based materials  
Biobasierte Polyamid-Compounds – Bessere  
Eigenschaften durch schonende Verarbeitung | 36  
Bio-based polyamide composites – gentle  
processing techniques improve properties  
Herstellung und Charakterisierung von  
Stereokomplexen aus Polymilchsäure | 38  
The manufacture and characterization of  
stereo complexes of poly(lactic acid)  
Schmelzspinnanlagen am Fraunhofer IAP | 40  
Melt-spinning facilities at Fraunhofer IAP

## 42 FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

Funktionsmaterialien werden Nano | 44  
Functional materials are going nano  
Anwendungen und Dienstleistungen | 48  
Applications and services  
Polymere als Sicherheitsmerkmale | 50  
Polymers as security features  
Bioinspirierte Versorgungssysteme –  
neue Materialien für Rapid Prototyping | 52  
Bioinspired supply systems –  
new materials for rapid prototyping  
Piezochromer Sensor | 54  
Piezochromic sensors  
Elektrisch einstellbare diffraktiv-optische  
Elemente auf Basis von Flüssigkristall-  
Kompositen | 56  
Electrically adjustable diffractive optical  
elements based on liquid crystal composites  
Entwicklung in-situ-polymerisierbarer  
lichtemittierender Reaktivmesogene | 58  
Development of light-emitting reactive  
mesogens that can be polymerized in situ  
Ortsaufgelöste optische Sauerstoffmessungen  
mit phosphoreszierenden Mikrosonden | 60  
Spatially resolved optical oxygen measurements  
using phosphorescent microprobes

## **62** **SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK** **SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY**

Synthese und Polymertechnik | 64  
Synthesis and polymer technology  
Anwendungen und Dienstleistungen | 68  
Applications and services  
Optimierte HPLC-Methode zur Bestimmung  
des Restmonomer-Gehaltes von Polylactid | 70  
Optimized HPLC method for determination  
of residual monomer content in polylactide  
Polylactid der zweiten Generation:  
Ein alternativer Weg zur Synthese von  
Stereoblock-Polylactid | 72  
Second generation polylactide:  
An alternative route for the synthesis of  
stereoblock-type polylactide

## **88** **PILOTANLAGEN- ZENTRUM SCHKOPAU** **PILOT PLANT CENTER SCHKOPAU**

Polymertechnologie im  
Pilotanlagenzentrum PAZ | 90  
Polymer Technology at the  
Pilot Plant Center PAZ  
Anwendungen und Dienstleistungen | 94  
Applications and services  
Zweistufen-Prozesse zur  
in-situ-Polykondensation von Nano-PA6.6 | 96  
Two-step process for in-situ-polycondensation  
of Nano-PA6.6  
Entwicklung von anwendungsspezifischen  
Polyamid-Compounds | 98  
Development of custom-designed  
polyamide compounds

## **74** **WASSERBASIERENDE POLYMERSYSTEME** **WATER-BASED POLYMER SYSTEMS**

Polymere und Wasser –  
ein fruchtbares Spannungsfeld | 76  
Polymers and water – a successful combination  
Anwendungen und Dienstleistungen | 80  
Applications and services  
Anti-Graffiti-Beschichtungen für  
Baudenkmäler | 82  
Anti-graffiti coating for historic monuments  
Biomaterialien für die Medizintechnik | 84  
Biomaterials for medical engineering  
Neue Flockungsmittel für »schwere Fälle« | 86  
New flocculants for special applications

## **100** **FAKTEN, EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN** **FACTS, EVENTS, PUBLICATIONS**

Rückblick 2011 | 102  
Review 2011  
Branchentransferstelle Chemie/Kunststoffe | 104  
Technology Transfer Office Chemistry/Plastics  
Zusammenarbeit | 106  
Collaboration  
Methoden und Ausstattung | 112  
Methods and equipment  
Ereignisse | 116  
Events  
Publikationen | 117  
Publications  
Patente | 129  
Patents  
Anfahrt | 131  
Getting here

# VORWORT

## PREFACE

### **Bewahren und Erweitern**

Globale Megatrends und spezifische Ableitungen hieraus bestimmen zunehmend die Strategien großer Unternehmen und die Richtungen der angewandten Forschung. Das trifft in besonderem Maße auf die Chemie- und Werkstoffindustrie zu, die mit entsprechenden Materialentwicklungen auf Megatrends reagiert, wie in einer aktuellen Studie von Frost & Sullivan anschaulich belegt wird. Dominierende Trends wie Globalisierung, Klimawandel, demografischer Wandel, zunehmende Urbanisierung, neue Konsummuster, Gesundheit und Life Style, Nachhaltigkeitsbestrebungen, zunehmende Mobilitäts- und Sicherheitsbedürfnisse und schließlich die Konvergenz von Technologien führen zu neuen Anforderungen und Chancen für die Chemie- und Kunststoffindustrie. Produktbereiche, die aufgrund der Auswirkungen von Megatrends in Zukunft an vorderster Stelle stehen werden, reichen von Nanomaterialien, intelligenten Werkstoffen und nachhaltigen/erneuerbaren Werkstoffen bis hin zu organischer Elektronik, neuartigen Kohlenstofffasern und Kompositen. Unter Berücksichtigung bioökonomischer Aspekte wird sich die Rohstoffbasis der chemischen Industrie weiter in Richtung nachwachsender Rohstoffe verschieben. Insgesamt kann daraus abgeleitet werden, dass neben der Fortsetzung der überdurchschnittlichen Produktionssteigerungen der klassischen, erdölbasierten Kunststoffindustrie weitere Entwicklungschancen hinzukommen, auf die gerade die angewandte Forschung angemessen reagieren sollte.

Vor diesem Hintergrund wird im Fraunhofer IAP eine Strategie verfolgt, die in Kurzform mit »Bewahren und Erweitern« charakterisiert werden kann. Material- und Verfahrensentwicklungen erfolgen zum einen auf den traditionellen Gebieten der Chemiefasern, der Cellulose- und Stärkeanwendungen, der Entwicklung von erdölbasierten Kunststoffen, von Kompositen, sowie von Additiven und Feinchemikalien auf Polymerbasis. Wir orientieren uns hier an den Wünschen der etablierten Polymer verarbeitenden oder anwendenden Industrie und können vom Labormaßstab bis in den Pilotanlagenmaßstab Material- und Verfahrensoptimierungen, aber auch neue Lösungen anbieten. Der Trend zu biobasierten Rohstoffen und Produkten kommt dem IAP entgegen, wobei im Bereich der angewandten Forschung aufgrund der Ausrüstungen und Kompetenzen der internationale

Stand teilweise mitbestimmt werden kann. Aktuelle Beispiele sind hier neue biobasierte Kunststoffe, faserverstärkte Biokomposite, oder die laufende Entwicklung von Spinnenseiden-Regeneratfasern. Die Erweiterung dieses klassischen Arbeitsbereiches des Fraunhofer IAP in Richtung neuer Carbonfasern, polymerer Membranen, biotechnologischer Verfahren oder in Form eines Anwendungszentrums für Biopolymere ist folgerichtig und überschaubar.

Funktionsmaterialien auf Polymerbasis versprechen ein höheres Innovationspotenzial bei gleichzeitig erhöhtem Risiko. Materialien für organische Leuchtdioden (OLED), für die organische Photovoltaik und Polymerelektronik sowie die Photonik stellen einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten des Fraunhofer IAP dar, der allerdings in Deutschland noch nicht auf eine etablierte Industrie trifft. Hier sind es vor allem prozesstechnische, technologische Weiterentwicklungen, die den industriellen Durchbruch befördern können. Mit dem im Bau befindlichen Anwendungszentrum für innovative Polymertechnologien soll diese Lücke geschlossen werden.

Auf der Grundlage einer Vielzahl von nutzbringenden Projektarbeiten konnte die Reihe der wirtschaftlich und wissenschaftlich erfolgreichen Jahre des Fraunhofer IAP in 2011 ohne Unterbrechung fortgesetzt werden. Erneut konnte das Institut die bewährten Kompetenzen von Biopolymeren und synthetischen Polymeren kombinieren und nutzen. Dieses Potenzial, aber auch die Perspektiven der polymeren Funktionsmaterialien für technische und medizinische Anwendungen lassen uns optimistisch in die Zukunft schauen.

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.



## Preserving and expanding

Global mega trends and specific conclusions herefrom are increasingly determining the strategies of large companies and the direction of applied research. This applies in particular to the chemical and materials industry which is reacting to these mega trends with the development of relevant materials, as is clearly illustrated in a current study by Frost & Sullivan. Dominating trends such as globalization, climate change, demographic change, increasing urbanization, new consumer patterns, health and life style, endeavors towards sustainability, increasing mobility and security needs and, finally, convergence of technologies, are leading to new standards and opportunities for the chemical and plastics industries. Product areas that, thanks to the impact of mega trends, will be at the forefront in the future range from nanomaterials, intelligent materials and sustainable/renewable materials, on up to organic electronics, innovative carbon fibers and composites. By taking bio-economic aspects into consideration, the chemical industry's raw material basis will move further in the direction of sustainable raw materials. On the whole we can presume that in addition to a continual above-average rise in production in the traditional, petroleum-based plastics industry, there will be other development opportunities to which applied research will have to react appropriately.

In light of this, Fraunhofer IAP is following a strategy which can be characterized in short by the words "preserving and expanding". Materials and processes are being developed in the traditional areas of chemical fibers, cellulose and starch applications, petroleum-based plastics, composites, as well as polymer-based additives and fine chemicals. We focus on fulfilling the needs and requirements of the established polymer processing and application industry and are able to offer both material and process optimization on a lab to pilot plant scale, as well as new solutions. Fraunhofer IAP is able to respond to this trend towards bio-based raw materials and products and in the area of applied research, the international state of technology can be co-determined in part thanks to our equipment and competencies. Current examples of this are the new bio-based

plastics, fiber-reinforced biocomposites and the current development of spider silk regenerated fibers. The expansion of this traditional Fraunhofer IAP field in the direction of new carbon fibers, polymer membranes, biotech processes and in the form of an application center for biopolymers is logical and clear.

Polymer-based functional materials promise a higher innovation potential along with their increase in risk. Materials for organic light emitting diodes (OLEDs), photovoltaics, polymer electronics and photonics represent another focus of the work at Fraunhofer IAP that, however, does not encounter an established industry here in Germany. Here, above all, processes and technological developments can promote the industrial breakthrough. This gap will close through the construction of the application center for innovative polymer technologies.

Based on a number of profitable projects, Fraunhofer IAP's sequence of economically and scientifically successful years continued without interruption in 2011. Once again the Institute could combine and utilize the proven competencies of biopolymers and synthetic polymers. This potential and the prospects of polymer functional materials for technical and medical applications allow us to look optimistically into the future.

I would like to thank everyone who has contributed to this development, first and foremost our industrial partners and public authorities for their trust and the members of the board of trustees for their generous advice and support in the initiation of the collaborations. Finally, I would like to thank the employees at Fraunhofer IAP for their efforts and creative contributions which form the basis for our Institute's success.

**Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink**

# DAS INSTITUT THE INSTITUTE

- 8 Das Fraunhofer IAP im Überblick**  
The Fraunhofer IAP at a glance
- 10 Zweite Ausbaustufe des Fraunhofer IAP**  
Second expansion stage of the Fraunhofer IAP
- 12 Kuratorium**  
Advisory Board
- 13 Das Institut in Zahlen**  
The Institute in figures
- 14 Organisation und Schwerpunkte**  
Organization and main topics
- 16 Ansprechpartner**  
Contact persons
- 18 Die Fraunhofer-Gesellschaft**  
The Fraunhofer-Gesellschaft
- 20 Fraunhofer-Verbund**  
**Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS**  
The Fraunhofer Group  
for Materials and Components – MATERIALS



pioneers in polymers



# DAS FRAUNHOFER IAP IM ÜBERBLICK

## THE FRAUNHOFER IAP AT A GLANCE

Ob Hochleistungsfasern 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** | Unsere Forschung im Bereich der Biopolymere konzentriert sich einerseits auf industriell verfügbare Biopolymere wie Cellulose, Stärke, Lignin, Chitosan, pflanzliche und tierische Proteine, andererseits werden Biopolymere aus Produkten der Agrar- und Forstwirtschaft mit neu entwickelten Methoden gewonnen. Ziel ist es, in vielen Anwendungen Erdöl als Grundstoff durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen. Zum Angebot gehören unter anderem die Beratung zum Rohstoffeinsatz, die Optimierung eingeführter industrieller Technologien und auch die Entwicklung von neuen umweltfreundlichen Verfahren zur Herstellung von modifizierten Biopolymeren und Materialien – vom Labor- bis zum Technikumsmaßstab. Kompetenzen zur Entwicklung von Fasern und Nonwovens umfassen neben dem klassischen Lösungs- und Luftspaltspinnen auch das Trocken- und Schmelzspinnen. Das Portfolio reicht hier von Biopolymerfasern aus Cellulose oder PLA bis zu PAN-basierten Precursoren für Carbonfasern.

**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.

**Wasserbasierende Polymersysteme** | Alle Situationen und Fragestellungen, bei denen Polymere und Wasser aufeinandertreffen – in Lösung, Gelen, Dispersionen, an Oberflächen oder in vivo – sind ebenfalls ein Forschungsschwerpunkt 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 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** | Our research into biopolymers focuses on industrially available biopolymers such as cellulose, starch, lignin, chitosan, and plant and animal-based proteins. Biopolymers are also made from agricultural and forestry products produced by newly developed methods. Our aim is for renewable raw materials to replace petroleum as the basis for many applications. Our services include consultation on the use of raw materials, optimizing established industrial technologies, and developing new, environmentally friendly processes for producing modified biopolymers and materials on a lab to pilot plant scale. Our competencies in the development of fibers and nonwovens include traditional solution and air gap spinning as well as dry and melt spinning. Our portfolio ranges from biopolymer fibers made from cellulose or PLA to PAN-based precursors for carbon fibers.

**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.

**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 – is another focus of the research work carried out here at the Institute. Material development, molecularly dissolved and colloidal systems, as well as hydrogel and polymer boundary layers or 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.

# ZWEITE AUSBAUSTUFE DES FRAUNHOFER IAP

## SECOND EXPANSION STAGE OF THE FRAUNHOFER IAP

### Anwendungszentrum für innovative Polymertechnologien

Mit dem Anwendungszentrum für innovative Polymertechnologien – der zweiten Ausbaustufe des Fraunhofer IAP in Golm – vertieft und erweitert das Institut seine Kernkompetenzen auf dem Gebiet der synthetischen und biobasierten Polymere und Funktionsmaterialien. Hier sollen vor allem innovative Materialien und Technologien vom Labormaßstab in den Pilotanlagenmaßstab übertragen werden. Drei Schwerpunkte stehen im Fokus der Arbeiten:

1. High-Tech-Polymere mit besonderen physikalischen Eigenschaften, insbesondere die Entwicklung der technologischen Grundlagen von kunststoffbasierten elektrischen und optischen Bauelementen wie flexiblen OLED-Displays, organischen Solarzellen und organischer Elektronik,
2. Biokompatible Materialien für Implantate und weitere medizinische Anwendungen, und
3. Entwicklung biotechnologischer Prozesse zur effizienten Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

Die Kosten der zweiten Ausbaustufe in Höhe von 23,3 Millionen Euro (Bau und Erstausrüstung) werden zu 50 Prozent aus dem EU-Regionalfonds EFRE und zu jeweils 25 Prozent vom Land Brandenburg und dem Bund bestritten. Mit dem zweiten Bauabschnitt des Fraunhofer IAP wird Raum für 94 neue Arbeitsplätze geschaffen.

Der L-förmige Anbau – entworfen von der Hascher und Jehle Planungsgesellschaft mbH – weist mit seiner Fassade aus Polycarbonat in besonderer Weise auf seine Nutzung zur Poly-

merforschung hin. Das Gebäude besteht aus einem Kopfbau mit vier Vollgeschossen und einem dreigeschossigen flachen Riegel. Zwei transparente Stege verbinden die Erweiterung mit dem Hauptgebäude im ersten Obergeschoss. Genutzt werden die 2760 m<sup>2</sup> Fläche für Büros (1050 m<sup>2</sup>) und Laborflächen (1370 m<sup>2</sup>). Besonderheiten sind hierbei ein Reinraumtechnikum (ca. 440 m<sup>2</sup>), ein biochemisches Technikum, das S1-Anforderungen erfüllt (ca. 155 m<sup>2</sup>), weitere S1- und S2-Labore sowie abgedunkelte und schwingungsentkoppelte Sonderlabore für Mikroskopie und Laseranwendungen (ca. 100 m<sup>2</sup>).

Die Gebäudetechnik orientiert sich im Wesentlichen an der vorhandenen Ausrüstung des Bestandsgebäudes. Durch Erstellung eines Wärme-, Kälte- und Stromverbundes zwischen beiden Institutsgebäuden kann die jeweils effizienteste Art der Wärme- und Kälteerzeugung – in Abhängigkeit von Witterung und Energiepreisen – gewählt werden. Neu ist die Möglichkeit, die Temperierung der Labor- und Büroräume durch Betonkernaktivierung zu unterstützen. Die Installation einer neuen Netzersatzanlage verbessert wesentlich die Versorgung sicherheitsrelevanter Anlagen im Falle eines Netzausfalls.

Nach der Fertigstellung des Rohbaus Anfang 2011 erfolgte der anspruchsvolle technische Ausbau des Gebäudes, der zum Ende des Jahres zum großen Teil abgeschlossen werden konnte. Im Juni 2012 soll das Anwendungszentrum feierlich eingeweiht werden.





## Application Center for Innovative Polymer Technologies

The Application Center for Innovative Polymertechnologies – the second expansion stage of Fraunhofer IAP in Golm – is allowing the institute to broaden and deepen its core competencies in the area of synthetic and bio-based polymers and functional materials. Here innovative materials and technologies will be scaled up from laboratory to pilot plant scale. Focus of the work will be in three areas:

1. High-tech polymers with special physical properties, in particular the development of technological foundations for plastic-based electrical and optical components such as flexible OLED displays, organic solar cells and organic electronics,
2. Biocompatible materials for implants and other medical applications, and
3. The development of biotech processes for the efficient use of renewable raw materials.

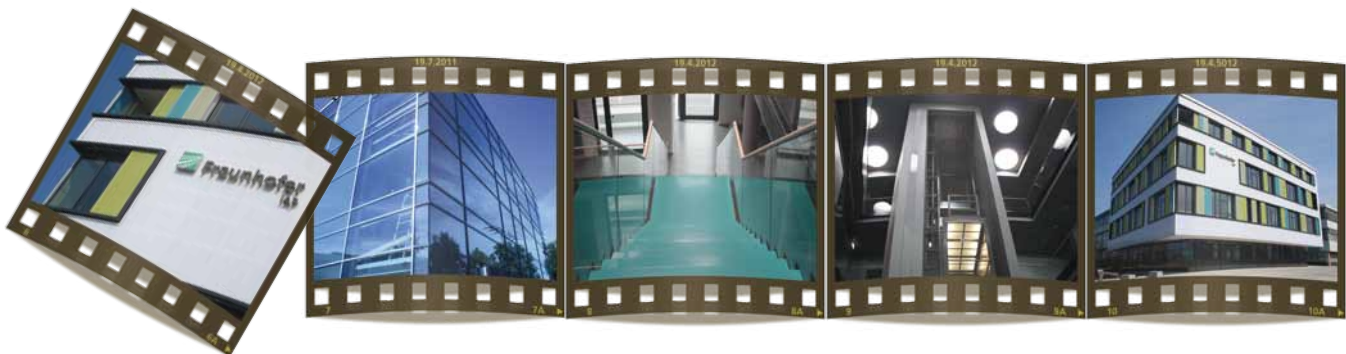
50 percent of the project costs, which amount to 23.3 million euros for the second expansion stage (construction and initial equipment), are being subsidized by the EU Regional Fund EFRE. The state of Brandenburg and the federal government are bearing 25 percent of the costs each. Fraunhofer IAP's second building stage will make room for 94 new jobs.

The polycarbonate facade of the L-shaped annex – designed by Hascher and Jehle Planungsgesellschaft mbH – makes special reference to its use as a place of polymer research.

The building consists of a main section rising four stories and a flat three-floor construction. Two transparent bridges connect the annex to the main building at the first floor level. The 2760 square meter area will be used for offices (1050 m<sup>2</sup>) and labs (1370 m<sup>2</sup>). Special features of the building include a clean room (approx. 440 m<sup>2</sup>), a biochemical lab that meets S1 requirements (approx. 155 m<sup>2</sup>), additional S1 and S2 labs and special dimmed and vibration neutralizing labs for microscopy and laser applications (approx. 100 m<sup>2</sup>).

The technical equipment is primarily aligned with the equipment in the existing building. By creating a heating, cooling and electricity network between both institute buildings, the most efficient type of heating and cooling generation can be selected based on the weather and energy prices. Adjusting the temperature of the offices and labs will now be possible through the support of concrete core activation. The installation of a new emergency power system will considerably improve supply to safety systems in the case of a power outage.

Construction of the building's shell was completed at the beginning of 2011 after which the ambitious technical outfitting of the building began. This was completed for the most part by the end of the year. The building is scheduled to be dedicated in June 2012.





# KURATORIUM ADVISORY BOARD

Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Mitglieder des Kuratoriums 2011 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 2011:

**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

**Sts. 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

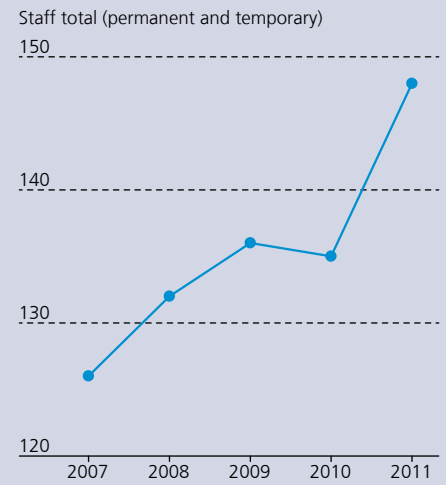
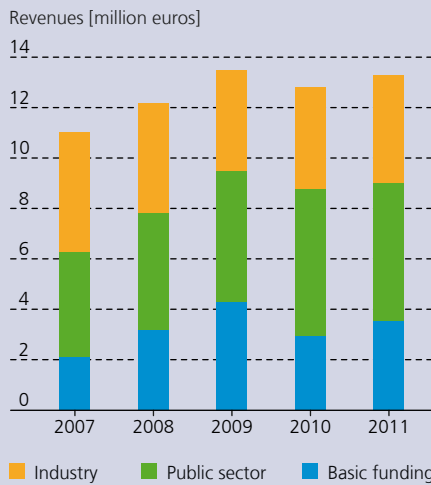
**Prof. Dr. Manfred Wagner**

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 2011 etwa 13,3 Millionen Euro. Die externen Erträge konnten um ca. 430 000 Euro gesteigert werden, wobei die Erträge aus der Wirtschaft um 285 000 Euro stiegen. Damit ergab sich in 2011 eine verringerte Inanspruchnahme der Grundfinanzierung.

## Investitionshaushalt / Ausbauinvestitionen

Der Schwerpunkt der Investitionen lag 2011 auf dem Erweiterungsbau. Insgesamt wurden ca. 9,7 Millionen Euro für Bautätigkeit und Erstausrüstung ausgegeben.

## Mitarbeiter

Ende 2011 waren im Fraunhofer IAP insgesamt 175 Personen beschäftigt.

Stammpersonal	148
– Wissenschaftliche Mitarbeiter	70
– Technische Mitarbeiter	67
– Verwaltung	11
Nachwuchs	27
– Doktoranden	23
– Auszubildende	4

Das Fraunhofer IAP beschäftigte im Jahr 2011 zusätzlich 45 Praktikanten, Studenten, Diplomanden und Stipendiaten.

## Institute's budget

In 2011 the Institute's budget amounted to about 13.3 million euros. Income from external sources increased by around 430,000 euros, while income from industry grew by 285,000 euros. This meant that in 2011 there was a reduction in the utilization of basic funding.

## Investment budget/ expansion investment

In 2011 the focus of investment was on expanding facilities. A total of around 9.7 million euros was spent on construction and basic equipment.

## Human resources

At the end of 2011, the Fraunhofer IAP employed 175 people.

Regular staff	148
– Scientific staff	70
– Technical staff	67
– Administration	11
Junior staff	27
– Ph.D. students	23
– Apprentices	4

The Fraunhofer IAP employed 45 trainees, students, graduands and scholarship holders in 2011, additionally.

## Kontakt Contact

Verwaltungsleiterin  
Head of administration

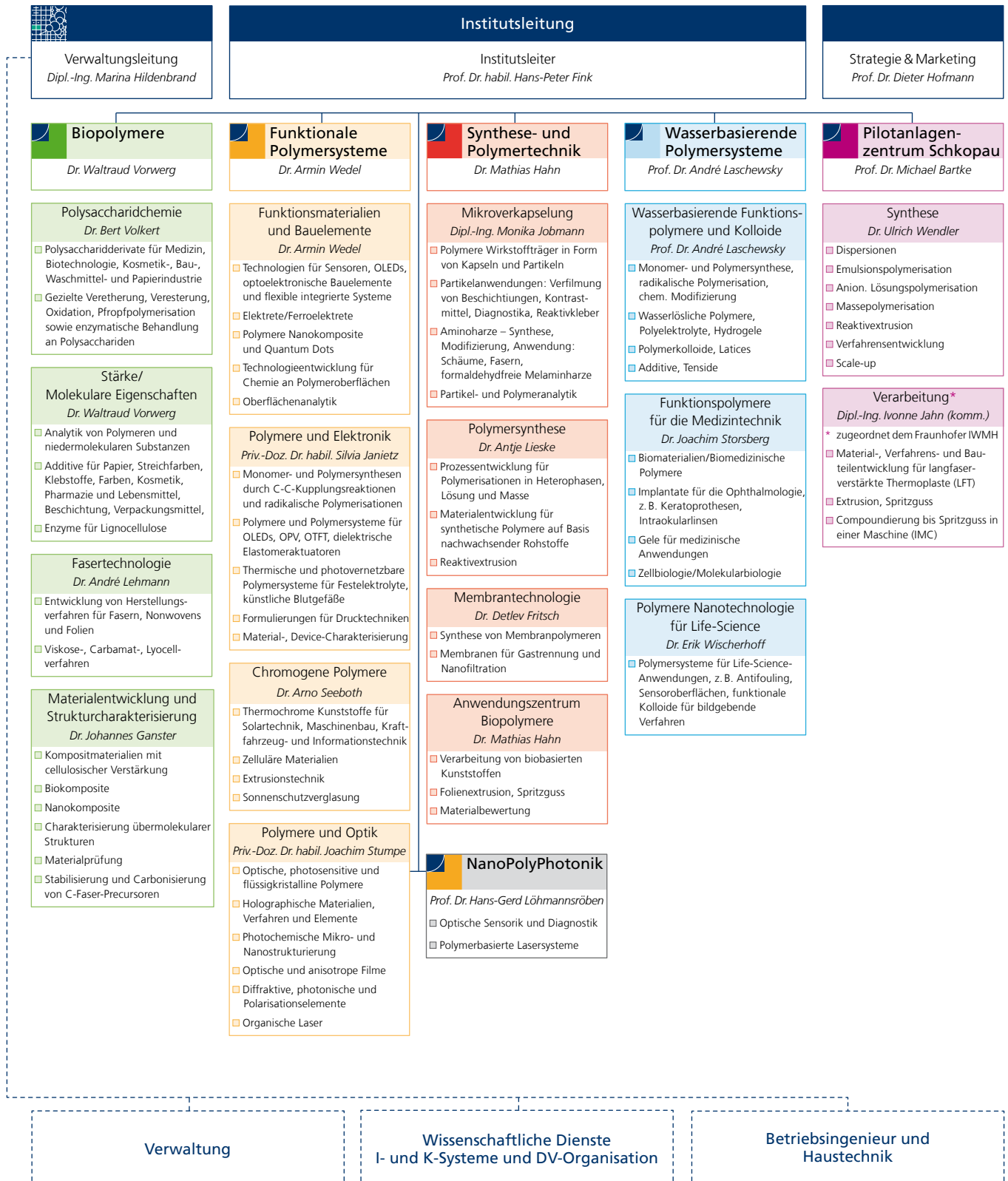


### Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand

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

# ORGANISATION UND SCHWERPUNKTE

STAND MÄRZ 2012



# ORGANIZATION AND MAIN TOPICS

STATUS MARCH 2012

## Institute management

Director

Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink

Strategy & Marketing

Prof. Dr. Dieter Hofmann

Head of administration

Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand

### Biopolymers

Dr. Waltraud Vorwerg

#### Polysaccharide chemistry

Dr. Bert Volkert

- Polysaccharide derivatives for medicine, biotechnology, the cosmetic, construction, detergent and paper industries
- Targeted etherification, esterification, oxidation, graft polymerization and enzymatic treatment of polysaccharides

#### Starch/Molecular structure

Dr. Waltraud Vorwerg

- Analysis of polymers and low-molecular-weight substances
- Additives for paper, coating colors, adhesives, paints, cosmetics, pharmaceuticals and food, coating, packaging
- Enzymes for lignocellulosics

#### Fiber technology

Dr. André Lehmann

- Development of production processes for fibers, nonwovens, and films
- Viscose-, carbamate and lyocell processes

#### Material development and structure characterization

Dr. Johannes Ganster

- Composit materials with cellulosic reinforcement
- Biocomposites
- Nanocomposites
- Characterization of super-molecular structures
- Materials testing
- Stabilization and carbonization of carbon fiber precursors

### Functional polymer systems

Dr. Armin Wedel

#### Functional materials and devices

Dr. Armin Wedel

- Technologies for sensors, OLEDs, optoelectronic devices, and flexible integrated systems
- Electrets/Ferroelectrets
- Polymer nanocomposites and quantum dots
- Technologies for chemistry on polymer surfaces
- Surface analytics

#### Polymers and electronics

Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz

- Monomer- and polymer synthesis through C-C-coupling reaction and radical polymerisation
- Polymer and polymersystems for OLEDs, OPV, OTFT, dielectric elastomeractuators
- Thermal and photo crosslinkable polymersystems for solid electrolytes, artificial blood vessels
- Formulations for printing technique
- Material and device characterisation

#### Chromogenic polymers

Dr. Arno Seeboth

- Thermochromic plastics for solar technology, mechanical engineering, automotive and information technology
- Cellular materials
- Extrusion technology
- Solar protective glazing

#### Polymers and optics

Priv.-Doz. Dr. habil. Joachim Stumpe

- Optical, photosensitive and liquid crystalline polymers
- Holographic materials, processes and elements
- Photochemical micro- and nano-structuring
- Optical and anisotropic films
- Diffractive, photonic and polarization elements
- Organic laser

### Synthesis and polymer technology

Dr. Mathias Hahn

#### Microencapsulation

Dipl.-Ing. Monika Jobmann

- Capsules and particles as polymeric active agent carriers
- Particle applications: coatings based on film formation, contrast agents, diagnostics, reactive glues
- Amino resins – synthesis, modification, applications: foams, fibers, formaldehyde-free melamine resins
- Particle and polymer analytics

#### Polymer synthesis

Dr. Antje Lieske

- Process development for polymerizations in heterophase, solution and mass
- Development of materials for synthetic polymers based on renewable raw materials
- Reactive extrusion

#### Membrane technology

Dr. Detlev Fritsch

- Synthesis of membrane polymers
- Membranes for gas separation and nanofiltration

#### Application Center Biopolymers

Dr. Mathias Hahn

- Processing of bio-based plastics
- Film extrusion, injection molding
- Material valuation

### NanoPolyPhotonic

Prof. Dr. Hans-Gerd Löhmannsröben

- Optical sensors and diagnostics
- Polymer based laser systems

### Water-based polymer systems

Prof. Dr. André Laschewsky

#### Water-based functional polymers and colloids

Prof. Dr. André Laschewsky

- Monomer and polymer synthesis, radical polymerization, chemical modification
- Water-soluble polymers, polyelectrolytes, hydrogels
- Polymer colloids, latices
- Additives, surfactants

#### Functional polymers for medical technology

Dr. Joachim Storsberg

- Biomaterials/Biomedical Polymers
- Implants for ophthalmology, e.g. keratoprosthesis, intra ocular lenses
- Gels for medical applications
- Cell biology/molecular biology

#### Polymer nanotechnology for life science

Dr. Erik Wischerhoff

- Polymer systems for life science applications, e.g. antifouling sensor surfaces, functional colloids for imaging

### Pilot Plant Center Schkopau

Prof. Dr. Michael Bartke

#### Synthesis

Dr. Ulrich Wendler

- Dispersions
- Emulsion polymerization
- Anionic solution polymerization
- Bulk polymerization
- Reactive extrusion
- Process development
- Scale-up

#### Processing\*

Dipl.-Ing. Ivonne Jahn (acting)

\* assigned to Fraunhofer IWMH

- Materials, processes and component development for long-fiber-reinforced thermoplastics (LFT)
- Extrusion, injection molding
- Compounding to injection molding in one machine (IMC)

Administration

Scientific services, Information and communication systems

Plant engineer and building services

# 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. Waltraud Vorweg**

Telefon +49 331 568-1609  
waltraud.vorweg@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



 **Wasserbasierende Polymersysteme**  
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. André Lehmann**

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



**Dr. Johannes Ganster**

Telefon +49 331 568-1706  
johannes.ganster@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 2598-324  
ivonne.jahn@ivmh.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.

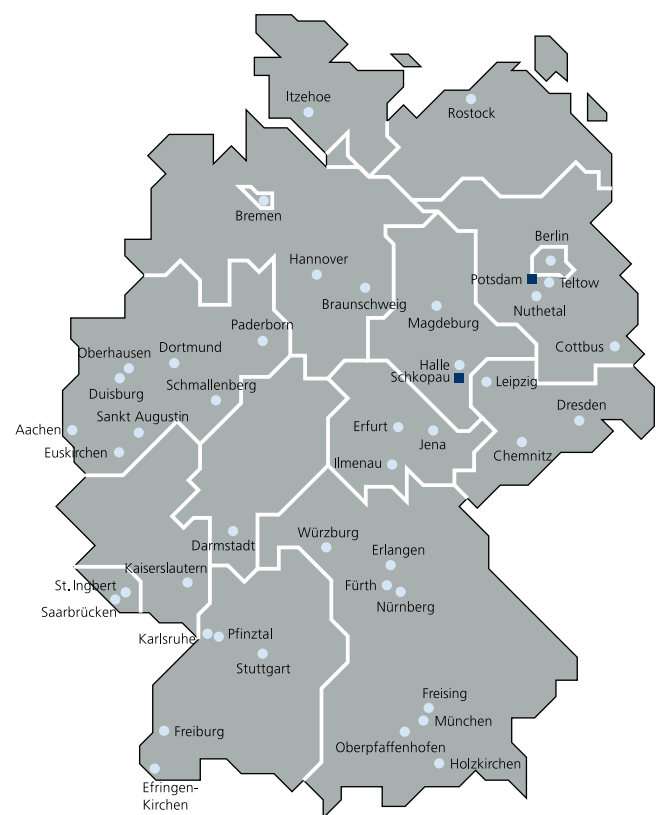
Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Institute. Mehr als 20 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,8 Milliarden Euro. Davon fallen 1,5 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 erarbeiten 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 an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung 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 more than 80 research units in Germany, including 60 Fraunhofer Institutes. The majority of the more than 20,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of €1.8 billion. Of this sum, more than €1.5 billion 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 und Umwelt, Mobilität, Gesundheit, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen und Wohnen, Mikrosystemtechnik und Sicherheit ein. Über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen sowie die Bewertung des kundenspezifischen Einsatzverhaltens werden Systeminnovationen realisiert.

## Schwerpunktt Themen des 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 (Gast)
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut, WKI
- Integrierte Schaltungen, IIS (Gast)
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI
- Silicatiforschung ISC
- Solare Energiesysteme ISE
- System- und Innovationsforschung ISI
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM (Gast)
- Werkstoffmechanik IWM
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

Verbundvorsitzender

### Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit  
und Systemzuverlässigkeit LBF  
Bartningstraße 47  
64289 Darmstadt

Stellvertretender Verbundvorsitzender:

### Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner

Fraunhofer-Institut  
für Chemische Technologie ICT  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7  
76327 Pfinztal

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](http://www.materials.fraunhofer.de)

# THE FRAUNHOFER GROUP FOR MATERIALS AND COMPONENTS – MATERIALS

The Fraunhofer Group for Materials and Components – MATERIALS brings together the expertise of the Fraunhofer Institutes that specialize in materials science and related disciplines.

Materials research at the Fraunhofer-Gesellschaft covers the entire value chain, from the development of new materials and enhancement of existing materials, through manufacturing technology on a semi-industrial scale and the characterization of material properties, through to studies of their behavior when employed in components and systems. This research also extends to the components produced from such materials and their behavior when employed in systems. In all these areas, empirical tests in laboratories and pilot plants are routinely backed up by numerical simulation and modeling techniques. The work of the Fraunhofer Group for Materials and Components – MATERIALS covers the full range of metallic and inorganic non-metallic materials, polymers and materials created from renewable resources.

The Group invests its expertise primarily in areas of importance to the national economy such as energy, mobility, health, machinery and plant engineering, building construction and the home environment, micro system technology and security with the aim of producing system innovations by developing materials and components tailored to specific applications.

## Medium-term goals of the Group are:

- increase safety and comfort and cut down the consumption of resources in the areas of traffic engineering, mechanical engineering and plant construction
- enhance the efficiency of energy transformation and energy storage systems
- improve the biocompatibility and functions of materials employed in medical devices and biotechnology processes
- raise the packing density and improve the performance characteristics of components used in microelectronics and microsystems engineering
- utilization improvement of raw materials and quality improvement of hence produced products

## 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 (associated member)
- Integrated Circuits, IIS (associated member)
- Interfacial Engineering and Biotechnology IGB (associated member)
- Manufacturing Engineering and Applied Materials Research 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. Holger Hanselka**  
Fraunhofer Institute for Structural  
Durability and System Reliability LBF  
Bartningstrasse 47  
64289 Darmstadt

Deputy chairman:

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

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](http://www.materials.fraunhofer.de)

# BIOPOLYMERE

## BIOPOLYMERS

- 24** **Vom Biopolymer zum Hochleistungskunststoff**  
From biopolymers to high performance plastics
- 28** **Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 32** **Neues Synthesekonzept zur Herstellung von thermoplastischen Stärkemischestern**  
New concepts for the synthesis of thermoplastic starch mixed esters
- 34** **Fettsäureester der Stärke als thermoplastische, biobasierte Materialien**  
Fatty acid starch esters as thermoplastic, bio-based materials
- 36** **Biobasierte Polyamid-Compounds – Bessere Eigenschaften durch schonende Verarbeitung**  
Bio-based polyamide composites – gentle processing techniques improve properties
- 38** **Herstellung und Charakterisierung von Stereokomplexen aus Polymilchsäure**  
The manufacture and characterization of stereo complexes of poly(lactic acid)
- 40** **Schmelzspinnereinrichtungen am Fraunhofer IAP**  
Melt-spinning facilities at Fraunhofer IAP



pioneers in polymers



# VOM BIOPOLYMER ZUM HOCHLEISTUNGSKUNSTSTOFF

Nachhaltige Innovationen für die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe stellen das Grundanliegen der Biopolymerforschung am Fraunhofer IAP dar. Aus Lignocellulose gewonnene Cellulose, dem am häufigsten vorkommenden Biopolymer, werden zum einen Produkte aus Regeneratcellulose (u. a. Fasern, Vliesstoffe, Folien, Schwämme, Membranen) und zum anderen vielfältig einsetzbare Cellulosederivate (Thermoplaste, Fasern, Filter, Klebstoffe, Bauhilfsstoffe, Bohrhilfsmittel, Hygieneprodukte, Pharmakakomponenten etc.) hergestellt. Die Applikationsfelder der Stärke sind neben dem Lebensmittelbereich und der Nutzung als Fermentationsrohstoff vorwiegend die Herstellung von Papier, Klebstoffen und Biokunststoffen. Die besondere chemische Struktur des Lignins (polymerisierte phenolische Präkursoren) – derzeit noch ein Abfallprodukt der Zellstoffherstellung – lässt vielfältige Anwendungen in der Materialentwicklung erwarten. Hydrolyseprodukte aus Rübenschnitzeln können als Polyole in der Polyurethanherstellung verarbeitet werden. Biobasierte Polymere wie Polylactid stellen einen Schwerpunkt in der Entwicklung biobasierter Formkörper dar.

Eine weitere Zielstellung unserer Biopolymerforschung besteht darin, durch optimierte enzymatische Behandlung nachwachsender Rohstoffe die polymeren Bestandteile von Pflanzenzellwänden, Cellulose, Hemicellulose und Lignin zu gewinnen. Durch die Anwendung von Enzymen wie Cellulasen, Hemicellulasen und ligninspaltenden Enzymen (Peroxidasen, Laccasen) wird die Gewinnung der Biopolymere durchgeführt.

## **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. Auf der Grundlage des umweltfreundlichen Lyocell-Verfahrens wurde im Fraunhofer IAP ein Blasextrusionsverfahren entwickelt, das die Herstellung von Wursthüllen, Verpackungsmaterialien oder Membranen ermöglicht. Cellulosefasern eignen sich aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften hervorragend für Vliesstoffe. 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. Ebenso wie die Verarbeitung von synthetischen Polymeren aus konzentrierten Lösungen nach verschiedenen Nassspinnverfahren, gehört auch die Verarbeitung schmelzbarer Biopolymere zu Fasern und Vliesstoffen zu den etablierten Arbeitsrichtungen des Fraunhofer IAP.

## **Forschungsverbund »Biopolymere«**

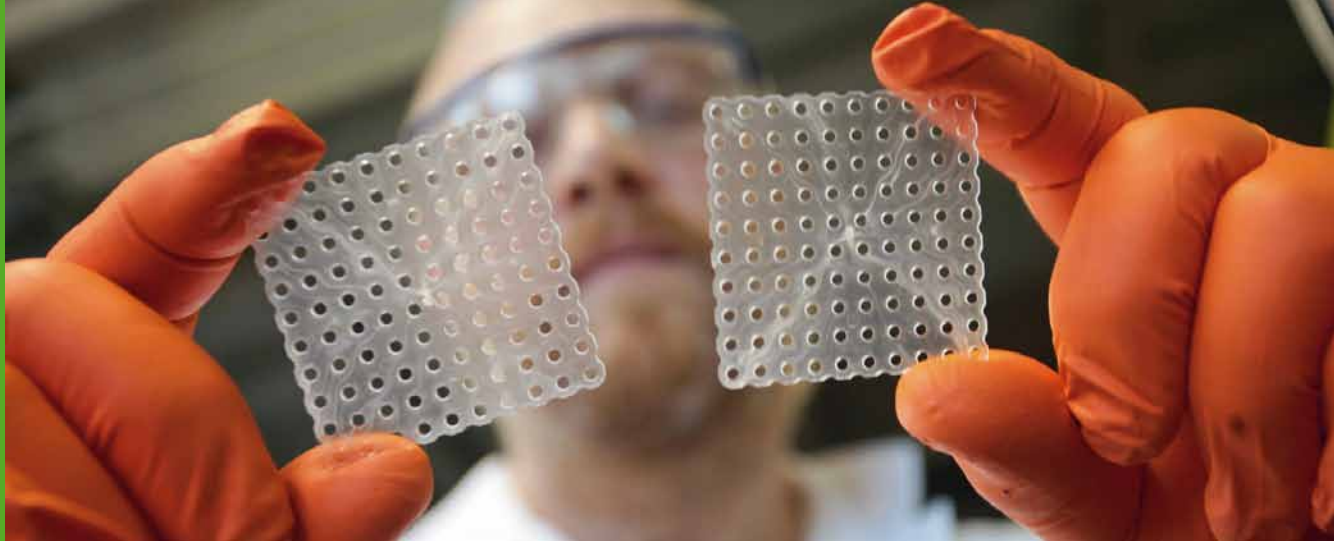
Das Fraunhofer IAP koordiniert den »Forschungsverbund Biopolymere«, in dem die stoffliche Nutzung von Biomasse in Form von Biopolymeren weiter vorgebracht werden soll. Drei Forschungseinrichtungen – Fraunhofer IAP, Universität Kassel und Universität Clausthal – und 13 Industriepartner entwickeln hier gemeinsam neue Verarbeitungsprozesse, um eine höhere Wertschöpfung aus Reststoffen, bzw. Nebenströmen der Agrarproduktion oder der Zellstoffherstellung zu gewinnen. Finanziert werden die 14 Teilprojekte von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Projektträger des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Inhaltlich hat der Verbund folgende Schwerpunkte:

- 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
- Naturfaser-Spritzguss ohne thermoplastische Matrix und die Erhöhung der Thermostabilität cellulosischer Fasern.

## **Neue Biokunststoff-Komposite**

Biobasierte Matrixmaterialien wie PLA oder PHA, die die Möglichkeit bieten, komplett biobasierte und bioabbaubare Komposite mit ausgezeichneten mechanischen und thermo-





mechanischen Eigenschaften im Hinblick auf Gebrauchsgüter-Anwendungen herzustellen, sind bei diesen Forschungsaktivitäten von besonderer Bedeutung. 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. Im Fraunhofer IAP wurden höherbelastbare Komposite mit Cellulose regeneratfasern (Reifencord) als Verstärkungsfasern entwickelt, die in den Bereich der glasfaserverstärkten Kunststoffe und der Konstruktionspolymere vordringen sollen.

Für Stärke- und Celluloseester wurde die Wirkung nanoskaliger Verstärkungen – insbesondere nanoskaliger Schichtsilikate – intensiv 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 konnten mit geeigneten Nanofüllstoffen ohne Weichmacherzusatz zu hochsteifen und hochfesten Spritzgussformkörpern mit ausgezeichneter Wärmeformbeständigkeit verarbeitet werden und eröffnen damit Einsatzmöglichkeiten in thermisch anspruchsvollen Anwendungen.

#### **Entwicklungsarbeiten in der Polysaccharidchemie**

Die heterogene und homogene Derivatisierung von Cellulose, Stärke und anderen Polysacchariden 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 in weiten Grenzen variiert werden. Die Arbeiten an neuen Derivaten sind in der Regel mit einer Prozessentwicklung gekoppelt, die bis in den Technikumsmaßstab (50L-Reaktor) reicht. Die Erfahrungen aus der Cellulosechemie werden zunehmend auf Hemicellulosen, Stärke, Pektin, Chitosan und Hyaluronsäure übertragen. 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.

#### **Entwicklung und Optimierung von Stärkeprodukten**

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 hinsichtlich verzweigter und linearer Makromoleküle und Oligomere sind rheologische Eigenschaften, Retrogradation und Gelbildung einstellbar. Die Stärkeether nehmen ein breites technisches Anwendungsfeld ein. Mit zur Verfügung stehenden Reagenzien werden neutrale, kationische, anionische oder hydrophobe Substituenten mit DS-Werten von 0,01 bis ca. 1,5 eingeführt. Kationische Stärke mit niedrigen DS-Werten zwischen 0,01 und 0,1 zeichnet sich durch ihr Adsorptionsvermögen an Papierfasern aus. Bei DS-Werten über 0,3 bis 1,5 werden mit zunehmendem Substitutionsgrad Flockungseigenschaften erzeugt. Im Papierverbund der FNR/BMELV werden in enger Zusammenarbeit von PTS, Fraunhofer IAP und Firmen der Stärke- und Papierindustrie Entwicklungsziele verfolgt, die nicht nur die Qualität verschiedener Endprodukte verbessern, sondern auch die Ökonomie und Ökologie der Herstellungsverfahren einbeziehen. Stärkeprodukte mit einem Vermögen zur Bildung transparenter, flexibler und reißfester Schichten für wasserlösliche und wasserstabile Filme stellen die Ziele in weiteren Projekten dar.

#### **Biotechnologische Verfahren zur Biopolymergewinnung**

In dem gemeinsamen Forschungsvorhaben des Fraunhofer IAP, der Universität Potsdam und der aevotis GmbH wird die Gewinnung von Materialien und Spezialproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen und biomassehaltigen industriellen Nebenprodukten verfolgt. Es werden neue und nachhaltige biotechnologische Verfahren für die Separation und Verarbeitung von Biopolymeren entwickelt.

# FROM BIOPOLYMERS TO HIGH PERFORMANCE PLASTICS

Biopolymer research at Fraunhofer IAP focuses on sustainable and innovative uses for renewable raw materials. Cellulose that is obtained from lignocellulose is the most abundant biopolymer. It 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. In addition to being used in food applications, starch is utilised as a fermentation raw material, primarily in the production of paper, adhesives and bioplastics. The special chemical structure of lignin (polymerized phenolic precursors), which is currently still just a waste product in cellulose production, means that diverse applications in the area of material development are expected. Hydrolysis products made from beet pulp can be processed as polyols in the production of polyurethane. Biobased polymers such as polylactide form the basis for the development of biobased molds.

Another aim of biopolymer research is to obtain the polymer components of plant cell walls, cellulose, hemicelluloses and lignin by optimizing the enzymatic treatment of renewable raw materials. Biopolymers can be produced using enzymes such as cellulases, hemicellulases and lignin splitting enzymes (peroxidases, laccases).

## **Fibers, films and nonwovens**

Special processes are being enhanced for the production of fibers, films and nonwovens. In the application of regenerated cellulose technologies focus is placed on environmentally-friendly alternatives, such as lyocell technology and the carbamate process, in addition to viscose processes. Fraunhofer IAP developed a blown-film extrusion process based on the environmentally-friendly lyocell process to produce sausage casings, packaging material and membranes. Cellulose fibers are excellent for nonwovens thanks to their special properties. A lyocell-based meltblown nonwoven

technology was developed together with industrial 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 of the melt-like processing of cellulose. Fraunhofer IAP also processes synthetic polymers from concentrated solutions in accordance with various wet spin processes. Processing meltable biopolymers into fibers and nonwovens is another established field of work.

## **“Biopolymer” research alliance**

Fraunhofer IAP is coordinating the “Biopolymer” research alliance which is made up of scientific institutions – Fraunhofer IAP, the University of Kassel, the University of Clausthal – and 13 integrated industrial companies whose aim is to develop, optimize and process natural base polymers. The alliance is funded by the Federal Ministry of Nutrition, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) through Fachagentur für Nachhaltige Rohstoffe (FNR), the project's executing body. Its overall aim is to expand the material use of biomass and the production of materials and components. Key goals include:

- using lignins in thermoset systems
- improving the material properties of bio-based polyamide
- developing biogenic additives for thermoplastic biopolymers
- micro-foaming of hydrophobic starches
- using polyvinyl acetate and its derivatives in cellulose fiber-reinforced bio-composites.
- natural-fiber injection molding with a thermoplastic matrix and increasing the thermostability of cellulose fibers

## **New bioplastics composites**

Biobased matrix materials such as PLA and PHA play a particularly important role because they enable completely biobased and biodegradable composites that have excellent mechanical and thermomechanical properties to be produced for consumer goods applications. The aim is to improve 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 using regenerated cellulose fibers (tire cord) as reinforcement fibers are being developed at Fraunhofer IAP. They are expected to penetrate the glass fiber reinforced plastics and engineering polymer industries.

The effects of nanoscale reinforcements, particularly nanoscale sheet silicates, are being intensively investigated for starch and cellulose esters. Nanocomposites based on starch mixed esters with high propionate, medium acetate and low laurate content are particularly noteworthy. Here the impact strength was quadrupled. Cellulose acetates could be processed with suitable nanofillers and without plasticizers into highly rigid and very strong injection molding molds with excellent heat resistance. This opens up opportunities in thermally demanding applications.

#### **Developments in polysaccharide chemistry**

The heterogeneous and homogenous derivatization of cellulose, starch and other polysaccharides for producing tailored product properties is an area in which an array 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 used in 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 (50L reactor). Experience gained from cellulose chemistry is increasingly being transferred to hemicelluloses, starches, pectin, chitosan and hyaluronic acid. A junior research group funded by FNR/BMELV is 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.

#### **The development and optimization of starch products**

Starch as a raw material has a wide range of development potential. Chemical derivatization is becoming increasingly prevalent in addition to the physical, acid-hydrolytic and enzymatic treatment of starch. The rheological properties, retrogradation and gel formation can be adjusted depending on the molecular composition of the branched and linear macromolecules and oligomers. Starch esters can be used in a broad range of technical applications. Neutral, cationic, anionic or hydrophobic substituents with DS values of 0.01 to around 1.5 are introduced with the available reagents. Cationic starches with low DS values between 0.01 and 0.1 are characterized by their adsorbability on paper fibers. With DS values over 0.3 to 1.5, flocculation properties are generated as the degree of substitution rises. As part of FNR/BMELV's paper alliance, PTS, Fraunhofer IAP and companies from the starch and paper industries are working closely together to not only improve the quality of various end products, but to develop production processes that are economical and ecological. The goals of further projects are to create starch products that can form transparent, flexible and tear-resistant layers for water-soluble and water-stable films.

#### **Biotech processes for producing biopolymers**

In a joint research project Fraunhofer IAP, the University of Potsdam and aevotis GmbH are investigating the production of materials and special products made from renewable raw materials and industrial by-products that contain biomass. New and sustainable biotech processes to separate and process biopolymers are being developed.

# 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 50L-Maßstab für Heterophasen-Reaktionen
- Verfahren zur Herstellung von Cellulosemischderivaten

## 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
- Spunlaid Nonwovens
- Synthese von Cellulosecarbamat

### Lyocell-Verfahren

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

### Verformung und Fällen unter starker Scherung

- Adsorbentien
- Fibride
- Trenn- und Trägermaterialien

### Thermoplastische

### Verformung und Verbundmaterialien

- Biokomposite
- cellulosefaserverstärkte Thermoplaste ([www.neueverbundwerkstoffe.de](http://www.neueverbundwerkstoffe.de))
- Compoundierung von Kompositmaterialien
- Nanokomposite mit Polysaccharidbasierter Matrix
- Polysaccharidblends und Hybridmaterialien

### Cellulosische Verstärkungsfasern

- Cellulose regeneratfasern
- Mercerisierung von Naturfasern
- Naturfasern (Flachs, Hanf, Jute)

### Ligninmaterialien

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

## Stärkeprodukte

- amphiphile Stärkederivate
- Bindemittel für Gipskarton- und Mineralfaserplatten
- Flockungsmittel zur Abwasserreinigung und Schlammwässerung
- funktioneller Lebensmittelzusatzstoff: Dickungsmittel, Bindemittel und Gelbildner
- hydrophobe Stärken für Dispersionsklebstoffe
- Klebemittel für Holzfaserverleimungen
- Papier- und Textilhilfsmittel (Schlichten)
- Stärkederivate in Kosmetik, Wasch- und Reinigungsmitteln
- Stärkederivate zur Folienherstellung
- Stärkeether für Mikroverkapselung
- Stärkeester für Spritzgussanwendungen
- Tablettierhilfsmittel, Mikroverkapselung für die Pharmaindustrie
- umweltfreundlicher Klebstoff für Papiermaterialien
- vernetzte Stärken

## Verfahrensentwicklung

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

## Rohstoffuntersuchung, Materialcharakterisierung und -prüfung

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

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

## Kontakt Contact

Forschungsbereichsleiterin  
Biopolymere  
Division director  
Biopolymers



### Dr. Waltraud Vorweg

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

Polysaccharidchemie  
Polysaccharide chemistry

### Dr. Bert Volkert

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

Stärke/Molekulare Eigenschaften  
Starch/Molecular properties

### Dr. Waltraud Vorweg

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

Processing  
Processing

### 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

- 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/cm<sup>3</sup>)
- high-tenacity fibers and nonwovens from LC system CC-NMMO-water
- hollow fibers, tubes, films
- spunlaid nonwovens
- synthesis of cellulose carbamate

### Lyocell technology

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

### Shaping and precipitation in a strong shear field

- adsorbents
- fibrils
- separating agents and carrier materials

## Thermoplastic molding and composite materials

- biocomposites
- compounding of composite materials
- nanocomposites with polysaccharide based matrix
- polysaccharide blends and hybrid materials
- thermoplastics reinforced with cellulose fibers ([www.new-composites.com](http://www.new-composites.com))

## Cellulose reinforcing fibers

- mercerization of natural fibers
  - natural fibers (flax, hemp, jute)
  - regenerated cellulose fibers
-

### 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
- 

### Starch products

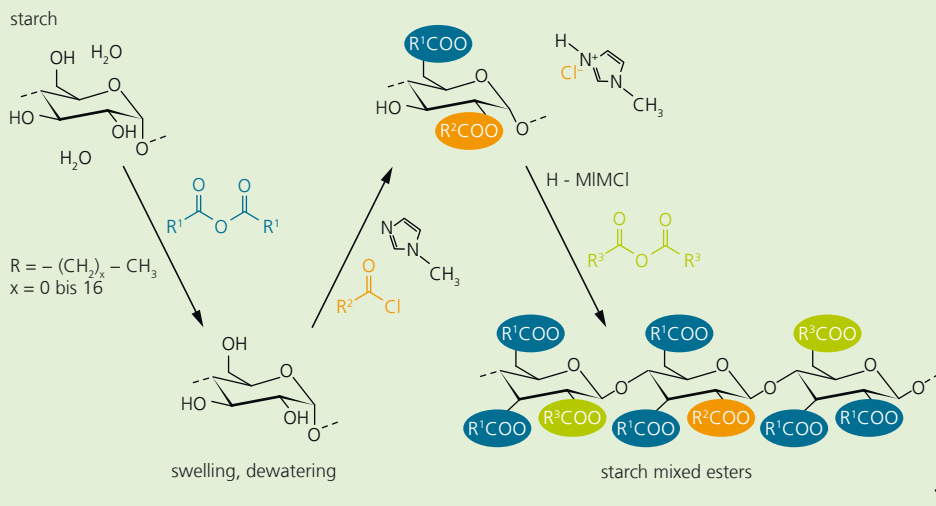
- adhesives for wood fiberboards
- amphiphilic starch derivatives
- binders for gypsum plaster boards and mineral fiber boards
- crosslinked starches
- environment-friendly adhesives for paper materials
- flocculants for wastewater treatment and sludge dewatering
- functional food additives: thickening 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
- starch ether for micro-encapsulation
- tableting aid, micro-encapsulation for the pharmaceutical industry

### Process development

- combination of enzymatic and chemical process steps
  - enzymatic modification processes for the preparation of special products
  - process for production of bi-substituted starch derivatives
  - reactive extrusion of starch
- 

### 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 Reaction scheme for preparing starch mixed esters.

2 Mechanical properties of different starch mixed esters plasticized with 10 mass percent of triacetin.

3 Water vapor sorption of starch mixed esters.

4 Color and transparency of starch mixed esters.

## Neues Synthesekonzept zur Herstellung von thermoplastischen Stärkemischestern

Thermoplastische Stärke, die hauptsächlich in der Verpackungsindustrie eingesetzt wird, besitzt die Vorteile der Bioabbaubarkeit und des niedrigen Preises. Höherwertigen Anwendungen solcher Materialien stehen Faktoren wie hohe Feuchtigkeitsaufnahme und Sprödigkeit entgegen. Durch chemische Modifizierung von Stärke – insbesondere durch Veresterungen – lassen sich letztgenannte Nachteile beseitigen und es entstehen thermoplastische Werkstoffe mit deutlich verbesserten Eigenschaften.

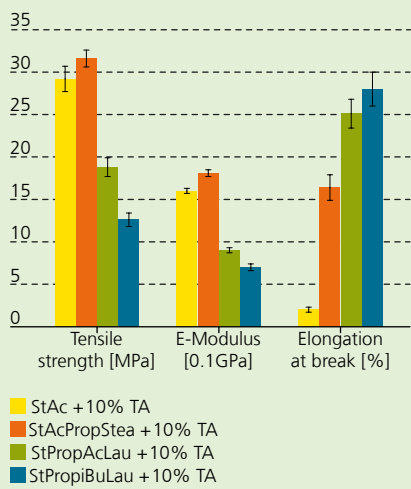
**Neuer Syntheseweg** | In den letzten Jahren hat die Verwendung von ionischen Flüssigkeiten (IL) in Form von Imidazoliumsalzen insbesondere als Lösungsmittel für Polysaccharide stark zugenommen. Bei der Herstellung von unterschiedlichen Stärkemischestern nach einem neuen, am Fraunhofer IAP entwickelten Syntheseweg, wirkt die in nur geringen Mengen in situ erzeugte ionische Flüssigkeit als Katalysator für die Umsetzung verschiedener Carbonsäureanhydride (Fig. 1). Je nach Art, Menge und Reihenfolge der eingesetzten Carbonsäureanhydride und des Säurechlorides können die Substitutionsmuster der Mischester eingestellt werden. Im Allgemeinen ergibt sich ein Substitutionsmuster von  $DS(R1) > DS(R3) \gg DS(R2)$ .

**Verbesserte mechanische Eigenschaften** | Auf diese Weise gelingt es, die Eigenschaften der Stärkederivate in weiten Bereichen zu variieren (Fig. 2). So kann beispielsweise im Vergleich zu einem reinen Stärkeacetat (gelb) die Bruchdehnung durch die Einführung eines Propionat- und eines Stearatrestes (orange) um mehr als das fünffache erhöht werden, wobei die Festigkeit und die Steifigkeit erhalten bleiben. Durch das Einbringen weiterer innerer Weichmacher verliert das Material zwar etwas an Festigkeit, die Bruchdehnung nimmt hingegen weiter zu.

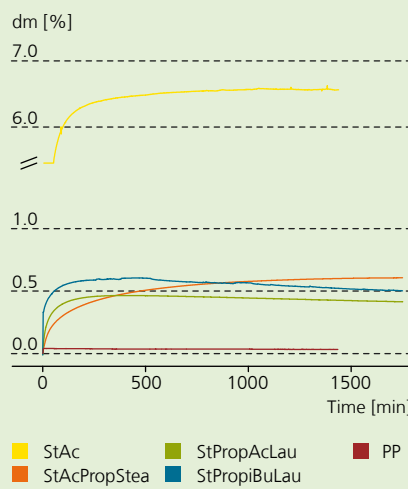
**Geringe Wasseraufnahme und geringere Verfärbung** | Neben den guten mechanischen Eigenschaften der neuen Stärkemischester sind die verringerte Wasseraufnahme und die geringere Verfärbung des Materials zu konstatieren (Fig. 3 und 4). Während Stärkeacetat mit einem Substitutionsgrad von  $DS = 2,6$  in Pulverform 6,5 Prozent Wasser aufnimmt, ist bei den vollsubstituierten Mischestern lediglich eine Wasseraufnahme von etwa 0,5 Prozent messbar. Nach der Verarbeitung der Stärkeester im Extruder und durch Spritzguss ergeben sich für das reine Stärkeacetat dunkelbraune Prüfkörper, während diese für die Stärkemischester klar und transparent erscheinen.

**Fazit** | Die neuartige und effektive Herstellung der Stärkemischester liefert ein Material, das sich im Vergleich zu bekannten Stärkesystemen sowohl durch eine verbesserte thermoplastische Verarbeitbarkeit als auch durch verbesserte mechanische Eigenschaften im Endprodukt auszeichnet. Durch die in situ Generierung und die mögliche Gewinnung der IL-Katalysatoren als Nebenprodukt ergibt sich eine unter ökonomischer Betrachtung konkurrenzfähige Herstellungsmethode für thermoplastische Stärkemischester.





2



3



4

## New concepts for the synthesis of thermoplastic starch mixed esters

Starch-based thermoplastic materials are mainly used in the packaging industry. The known disadvantages – poor mechanical properties, high water uptake – can be avoided by chemically modifying the hydroxyl groups of starch. Esterification of starch has been extensively studied over the last two decades and promises to lead to the best thermoplastic material. The aim of this work was to develop starch mixed esters that have both a high stiffness and a good elongation at break.

**A simple synthesis pathway** | In the past few years the use of ionic liquids (IL) in the form of imidazolium salts, in particular as a solvent for polysaccharides, has drastically increased. A new synthesis solution was developed at Fraunhofer IAP to prepare different starch mixed esters. Here a low amount of ionic liquid is produced in situ which is used as a catalyst with different carboxylic anhydrides and carboxylic chlorides (Fig. 1). The type, ratio and sequence of the carboxylic acid anhydrides determine the substitution pattern of each ester substituent in the anhydroglucose unit. A substitution pattern of  $DS(R1) > DS(R3) \gg DS(R2)$  is generally produced.

**Improved mechanical properties** | Using this type of synthesis it is possible to broadly influence the mechanical properties of these starch derivatives (Fig. 2). Thus, the elongation at break can be increased by 500 percent in contrast to a starch acetate (yellow) by adding a propionate and stearate substituent (orange) without any loss in stiffness. The material becomes more and more flexible when further internal plasticizers in the form of different ester substituents are used.

**Less water uptake and discoloration** | In addition to the good mechanical properties of these novel starch mixed esters, there is also less water uptake and discoloration (Fig. 3 and Fig. 4). While powdery starch acetate with a degree of substitution of 2.6 takes up 6.5 weight percent of water, the water uptake for the fully substituted starch mixed esters is just around 0.5 weight percent. After processing the starch esters in an extruder and with an injection molding machine, the starch acetate specimens are a dark brown color while the mixed esters are clear and transparent.

**Conclusion** | In comparison to known starch systems, the new synthesized starch mixed esters exhibit better thermoplastic behavior and better mechanical properties in their end products. Because of the in situ generation of ionic liquids as a valuable by-product, this is considered to be a competitive method for the synthesis of thermoplastic starch mixed esters.

## Kontakt Contact



### Dr. Bert Volkert

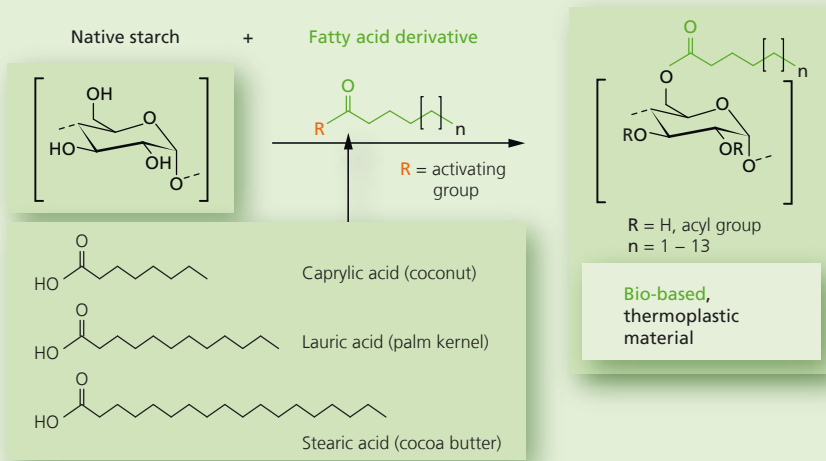
Telefon +49 331 568-1516  
 Fax +49 331 568 33-1516  
 bert.volkert@iap.fraunhofer.de

### Dr. André Lehmann

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

### Förderung Funding

– Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz BMELV  
 – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., FKZ 22028705



1

- 1 Synthesis scheme of fatty acid starch ester.
- 2 DSC thermogram of starch stearate with a degree of substitution of 1.6.
- 3 Mechanical properties of short- and long-chain starch esters with a degree of substitution of about 2.5.

## Fettsäureester der Stärke als thermoplastische, biobasierte Materialien

Stärke bietet mit einem günstigen Marktpreis und weltweiter Verfügbarkeit hervorragende Voraussetzungen für den Einsatz als biobasiertes Verpackungsmaterial. Aufgrund hoher Hydrophilie und Sprödigkeit wird native Stärke als Stärkeblend mit relativ hohen Anteilen an Polyestern und Weichmachern verarbeitet. Um eine Alternative zu bisherigen Lebensmittelverpackungen (z. B. PE) zu werden, muss ein Material folgende Ansprüche erfüllen: Mechanische Festigkeit ähnlich LDPE, hohe Barriereigenschaften für H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> und Fette/Öle sowie nicht migrierende Weichmacher.

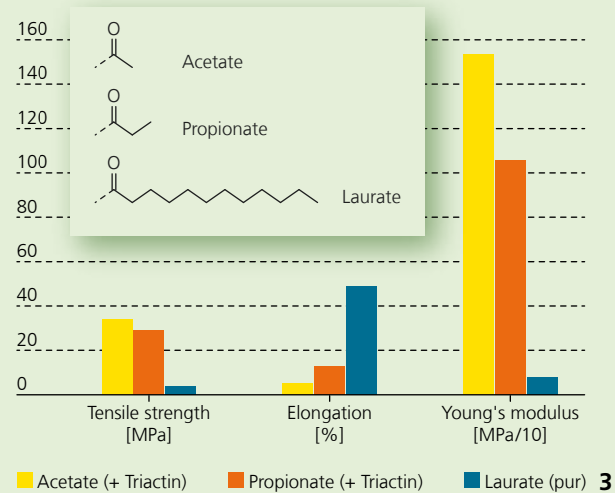
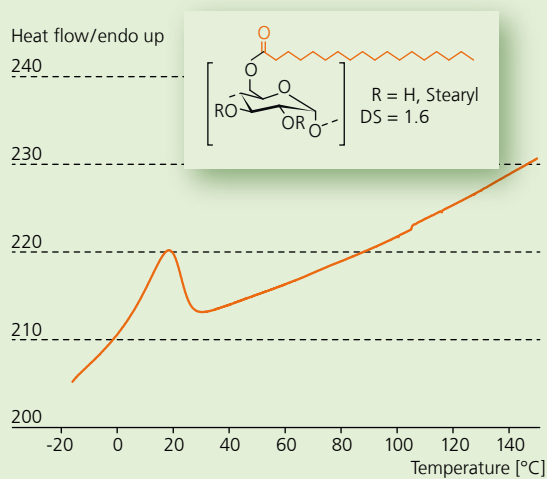
Unser Ziel ist es, biobasierte, thermoplastische Stärkematerialien mit den genannten Eigenschaften zu entwickeln, welche vorwiegend für Lebensmittel- bzw. Kosmetikverpackungen geeignet sind. Die Veresterung von Stärke mit Fettsäuren bietet hierfür großes Potenzial, denn Fettsäuren sind hydrophob, weltweit verfügbar und überwiegend biobasiert.

Die Arbeiten am Fraunhofer IAP beinhalteten in der ersten Stufe die Untersuchungen verschiedener Synthesewege zur Herstellung von Fettsäureestern der Stärke (Fig. 1), deren Charakterisierung sowie die Herstellung und mechanische Prüfung von Folien. Hierbei wurden überwiegend kommerziell erhältliche Fettsäurederivate eingesetzt. Der Fokus der Untersuchungen lag zunächst auf Produkten mit mittlerem (1.5) und hohem (2.0–2.5) Substitutionsgrad (DS). Je nach Synthesemethode variierte der Abbaugrad der Stärke, was mittels GPC untersucht wurde. Thermische Übergänge (Schmelzpunkte, Glasübergänge) wurden anhand von DSC (Fig. 2) und DMTA ermittelt.

Die Fettsäureester der Stärke unterschieden sich je nach Fettsäure und DS-Wert erheblich in ihren thermischen und mechanischen Eigenschaften. Sie waren hervorragend in organischen Lösungsmitteln (THF, CHCl<sub>3</sub>, Toluol) löslich und ermöglichten so die einfache Herstellung von Folien nach dem Gießverfahren.

Fig. 3 zeigt einen Vergleich der mechanischen Eigenschaften von Stärkelaurat (C-12, DS 2.3) mit denen kurzkettiger Fettsäureester. Waren Stärkepropionat (C-3, DS 2.4) und Stärkeacetat (C-2, DS 2.5) spröde und benötigten den Einsatz von Triacetin als Weichmacher, so wies Stärkelaurat eine erhebliche interne Plastizität auf: Die Bruchdehnung wies (ohne Weichmacher!) mit etwa 50 Prozent einen deutlich höheren Wert als der der kurzkettigen Fettsäureester auf.

Die geringen Zugfestigkeiten der Gießfolien der Produkte ließen sich durch eine Erniedrigung des DS-Wertes von 2–2.5 auf etwa 1.5 verbessern. Mit ca. 18 MPa Zugfestigkeit bei einer Bruchdehnung von 16 Prozent wurde im Falle des Stärkehexanoats (DS 1.6) ein Ansatzpunkt für die Optimierung der Synthese von Stärkeestern gefunden, die zu Verpackungsmitteln verarbeitet werden können. Die untersuchten Fettsäureester der Stärke haben somit das Potenzial, auf dieser Basis eine Entwicklung von Stärkematerialien fortzuführen.



## Fatty acid starch esters as thermoplastic, bio-based materials

With a low market price and worldwide availability, starch has excellent prerequisites for the use as a bio-based package material. Due to its high hydrophilicity and brittleness, native starch is processed as starch-blend with relative high percentages of polyesters and plasticizers. To be an alternative to commonly used food package materials (e. g. PE) a material has to fulfill the following claims: A mechanical strength similar to that of LDPE, high barrier-properties for  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$  and fats/oils as well as non-migrating plasticizers.

Our aim is to develop bio-based, thermoplastic starch materials with the properties mentioned above, which are preferably suitable for the use in food or cosmetic packages. The esterification of starch with fatty acids offers great potential for this purpose, because fatty acids have a high hydrophobicity, they are worldwide available and mostly bio-based.

In the first step, the works at Fraunhofer IAP included studying different ways of synthesis of fatty acid starch esters (Fig. 1), their characterization as well as the production and mechanical tests of films. Here, commercially available fatty acid derivatives were used predominantly. Synthesis focused on products with medium (1.5) and high (2.0–2.5) degrees of substitution (DS). Depending on the way of synthesis, disintegration of starch varied, what was investigated by SEC. Thermal transitions (melting points, glass transitions) were determined by DSC (Fig. 2) and DMTA.

Depending on the type of fatty acid and the DS, fatty acid starch esters significantly differed in their thermal and mechanical properties. They were greatly soluble in organic solvents (THF,  $\text{CHCl}_3$ , Toluene), allowing the easy production of films by casting.

Fig. 3 shows a comparison of some mechanical properties of starch laurate (C-12, DS 2.3) with those of short chain esters of starch. In contrast to the brittle starch propionate (C-3, DS 2.4) and starch acetate (C-2, DS 2.5), which required triacetin as a plasticizer, starch laurate showed a significant internal plasticizing effect: The elongation at break was (without plasticizer!) about 50 percent, substantially higher than short chain esters+ triacetin.

The low values for the tensile strengths of the products were improved by lowering DS from 2.0–2.5 to 1.5. With a tensile strength of 18MPa and an elongation of 16 percent, starch hexanoate (DS 1.6) was found to be a good starting point for optimizing the synthesis of starch esters, which can be processed to package materials. The studied fatty acid esters of starch have a great potential for continuing further developments of starch materials on this foundation.

## Kontakt Contact



### Dipl.-Chem. Henning Winkler

Telefon +49 331 568-1603

Fax +49 331 568-3116

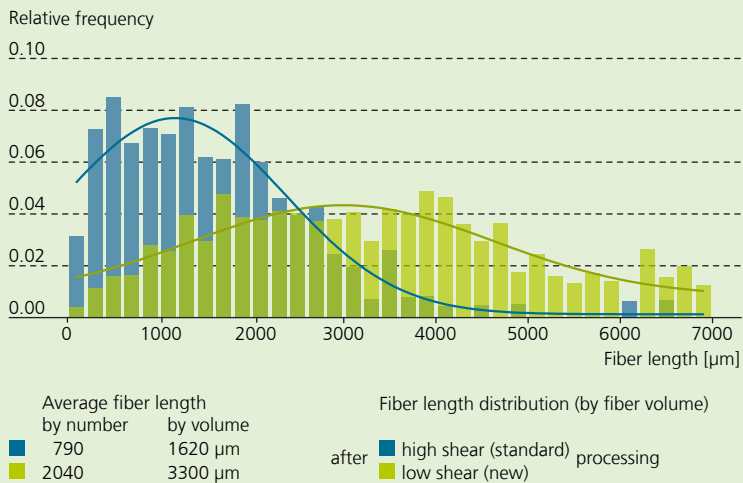
henning.winkler@iap.fraunhofer.de

### Dr. Waltraud Vorwerg

Telefon +49 331 568-1609

Fax +49 331 568-3000

waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de



1

1 Fiber length distribution by volume of PA 6.10 based composites reinforced with 20 wt.-% cellulose fibers (Cordenka® RT700) after high and low (mild) shear processing.

2 Mechanical properties of high and low (mild) shear processed PA 6.10 based composites reinforced with 20 wt.-% cellulose fibers measured by tensile test and Charpy impact test.

3 Abbreviations used in this contribution.

## Biobasierte Polyamid-Compounds – Bessere Eigenschaften durch schonende Verarbeitung

Cellulosefasern erleben ihre Renaissance als hocheffiziente Verstärkungskomponente in biobasierten Kunststoffen. Aufgrund ihres spezifischen Aufbaus besitzen sie die Fähigkeit, gleich drei sich zum Teil widersprechende Eigenschaften simultan zu verbessern: Festigkeit, Steifigkeit und Schlagzähigkeit. Sie bieten darüber hinaus – verglichen mit den konventionell zur Verstärkung eingesetzten Glasfasern – dem Compoundeur sowie dem Anwender Vorteile bezüglich Gewicht, Abrasivität, Rezyklierbarkeit und energetischer Verwertung. Das Konzept – biobasierte Kunststoffe und Cellulosefasern im Verbund – vereinigt sowohl vollständige Biobasiertheit, d. h. nachwachsende Rohstoffe als Basis, als auch hervorragende mechanische und thermo-mechanische Werkstoffeigenschaften.

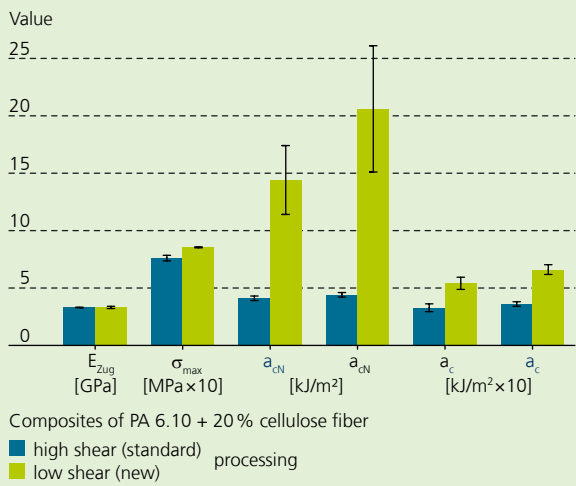
Cellulosefasern werden seit den 60er Jahren hauptsächlich als Verstärkungskomponente in Hochgeschwindigkeits- und später in Runflat-Reifen eingesetzt. Der als Rayon-Reifencordgarn bekannte Cellulosefaserstoff verstärkt dort in Form eines flächenhaften Gewebes die Reifenkarkasse. Die Idee, diese Cellulosefasern in Form von Kurzfasern über einen Schmelzemischprozess in polymere Matrices einzuarbeiten, wurde von unserer Arbeitsgruppe vor etwa 10 Jahren aufgegriffen und seitdem systematisch weiterverfolgt. In zahlreichen Projekten u. a. mit Partnern aus der Industrie wurden umfassende Untersuchungen zur Verstärkungswirkung von Cellulosefasern in verschiedensten polymeren Matrices durchgeführt. Neben den konventionellen Massenkunststoffen PE und PP, lag in jüngster Zeit der Fokus auf den (partiell) biobasierten Kunststoffen wie PLA, PHAs, PBS, PBAT und weiteren Polyestern. Aus den langjährigen Erfahrungen konnte ein umfassendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen mikro- und makroskopischer Materialstruktur, der Faser-Matrix-Wechselwirkung, den Verarbeitungsbedingungen und den daraus resultierenden Eigenschaften der Verbundmaterialien gewonnen werden [1–5] – ein erfolgreicher Weg, der dazu führte, dass derartige Materialien nun an der Schwelle zur Kommerzialisierung (Cordenka GmbH, PP-Rayon Composites) stehen.

Zurzeit werden die partiell biobasierten Polyamide (PA) auf ihre Eignung geprüft. Erste Versuche haben jedoch gezeigt, dass spezifische Wechselwirkungen zwischen Cellulosefaser und PA-Matrix auftreten. Eine gegenseitige molekulare Destrukturierung beider Komponenten während der Verarbeitung geht mit deutlichen Einbußen in der Mechanik einher. Lösungsansätze hierfür sind Gegenstand laufender Entwicklungen.

Ein anderer Weg zur Optimierung dieser Verbundmaterialien beruht darauf, die verarbeitungsbedingte Faserlängeneinkürzung zu minimieren, da diese insbesondere zur Reduktion der Verbund-Schlagzähigkeiten führt [6]. Hierzu wurde die Schneckenkonfiguration des Extruders optimiert, sodass während der Verarbeitung, bei hinreichender Homogenisierung, deutlich geringere Scherkräfte auf die Fasern wirken. Eine Analyse der Faserlängen ergab, dass dann die Fasern im Verbund im Mittel drei Mal länger sind, als bei der konventionellen Methode (Fig. 1). Die mechanischen Eigenschaften derartiger Materialien zeichnen sich durch ein deutlich erhöhtes Schlag- ( $a_c$ ) bzw. Kerbschlagzähigkeitsniveau ( $a_{cN}$ ) aus (Fig. 2).

## Literatur Literature

- [1] J. Ganster, H.-P. Fink, M. Pinnow: *High-tenacity man-made Cellulose fibre reinforced thermoplastics – Injection moulding compounds with polypropylene and alternative matrices*, Comp A 37, p. 1796–1804 (2006)
- [2] J. Ganster, H.-P. Fink, K. Uihlein, B. Zimmerer: *Cellulose man-made fibre reinforced polypropylene – correlation between fibre and composite properties*, Cellulose 15, p. 561–569 (2008)
- [3] J. Erdmann, J. Ganster: *Kompositzusammensetzung, Verfahren zu deren Herstellung, Formteil und Verwendung*, angemeldetes Patent DE 10 2010 008 780 A1, WO2011/101163 A2 (2009)
- [4] J. Erdmann, J. Ganster: *Einfluss des Faserdurchmessers auf die Struktur und Mechanik Cellulosefaser verstärkter PLA-Komposite*, Lenzing Berichte 89, p. 91–102 (2011)
- [5] J. Ganster, J. Erdmann, H.-P. Fink: *Natürlich maßgeschneidert verstärkt*, Kunststoffe 12, p. 73–76 (2011)
- [6] J. L. Thomason, M. A. Vluc: *Influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene: 4*, Impact properties, Comp A 28, p. 277–288 (1997)



2

$E_{zug}, \sigma_{max}$	Stiffness, Strength (tensile test)
$a_{cN}, a_{cN}$	Notched impact strength (Charpy) at 23°C and -18°C
$a_c, a_c$	Impact strength (Charpy) at 23°C and -18°C
PP, PE	Polypropylene, Polyethylene
PLA, PHA	Poly lactide, Polyhydroxyalkanoate
PBS, PBAT	Polybutylene Succinate, Polybutylene Adipate Terephthalate

3

## Bio-based polyamide composites – gentle processing techniques improve properties

Cellulose fibers are enjoying a renaissance as highly efficient reinforcing components in bio-based plastics. On account of their particular structure, they are able to improve three partially conflicting properties at the same time: strength, stiffness and impact strength. Compared with conventional glass fiber reinforcement they also offer benefits for compounders and users in terms of reduced weight, lower abrasiveness of compounding equipment, recyclability and energy recovery. The concept – combining bio-based plastics and cellulose fibers – produces a material which is completely based on renewable resources and has excellent mechanical and thermo-mechanical properties.

Since the 1960s, cellulose fibers have been mainly used as reinforcing components in high-speed tires and, later, also in run-flat tires. The cellulose fiber material known as rayon tire cord yarn reinforces the tire carcass in the form of a flat woven fabric. The idea of introducing these cellulose fibers as short cut fibers into polymer matrices via a melt mixing process was adopted by our group 10 years ago and since then this has systematically continued. In many projects, for example with partners from industry, extensive research has been carried out on the reinforcing effect of cellulose fibers in different polymeric matrices. In addition to the conventional commodity plastics of PE and PP, focus has been recently placed on the (partially) bio-based plastics such as PLA, PHA, PBS, PBAT and other polyesters. The experience we have gained over many years has produced a comprehensive understanding of the relationships between micro and macroscopic material structure, fiber-matrix interaction, processing conditions and the properties resulting from the composite materials [1–5]. This success story has paved the way for the commercialization (Cordenka GmbH, PP-Rayon composites) of these types of materials.

Currently, the partially bio-based polyamides (PA) are being tested for their suitability as a polymeric matrix. Initial tests have shown that specific interactions occur between cellulose fiber and PA matrix. A mutual molecular degradation of both components during processing is accompanied by a significant reduction in the mechanical properties. Solutions for this are the subject of ongoing research.

Another way to optimize these composite materials is based on minimizing the processing-related fiber length degradation which has a negative effect on composite impact strength [6]. To achieve this, the screw configuration of the extruder was optimized so that, with sufficient homogenization, significantly lowered shear forces are transferred to the fibers during processing. An analysis of the fiber lengths in low-shear-processed composites revealed that the average fiber is three times longer (Fig. 1) than when the conventional method is used. The mechanical properties of such materials (Fig. 2) are characterized by a significant increase in impact ( $a_c$ ) and notched impact strength levels ( $a_{cN}$ ).

## Kontakt Contact



### Dipl.-Ing. Jens Erdmann

Telefon +49 331 568-1252  
 Fax +49 331 568-3000  
 jens.erdmann@iap.fraunhofer.de

### Dr. Johannes Ganster

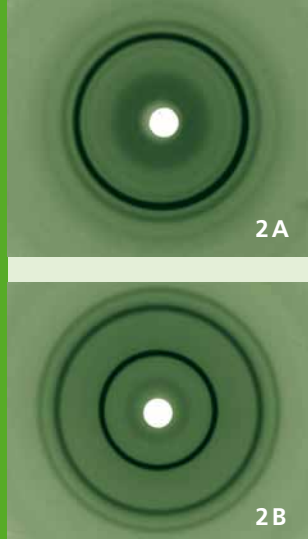
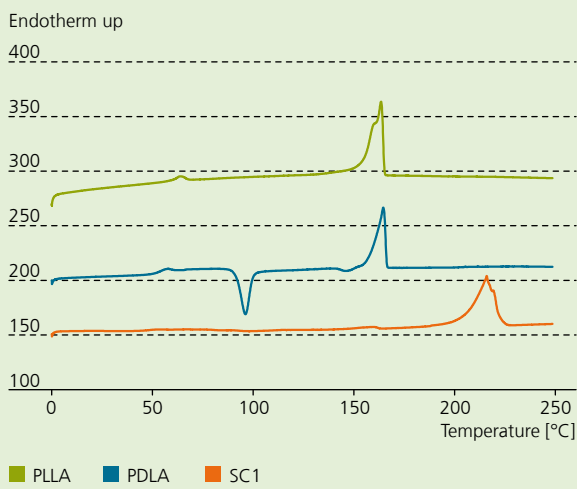
Telefon +49 331 568-1706  
 Fax +49 331 568-3000  
 johannes.ganster@iap.fraunhofer.de

### Förderung Funding

– Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, BMELV  
 – Fachagentur für Nachwuchsende Rohstoffe e.V., FNR

### Kooperation Collaboration

– Cordenka GmbH



- 1 DSC heating runs of samples PLLA, PDLA, and test bar SC1.
- 2 X-ray flat film photographs of sample PLLA (A) and sample SC1 (B).
- 3 Strain of the outer fiber as a function of temperature in the HDT-B bending experiment.
- 4 HDT-B-values of test bars from starting PLLA, PDLA and stereo-complexed SC1 to SC4.

## Herstellung und Charakterisierung von Stereokomplexen aus Polymilchsäure

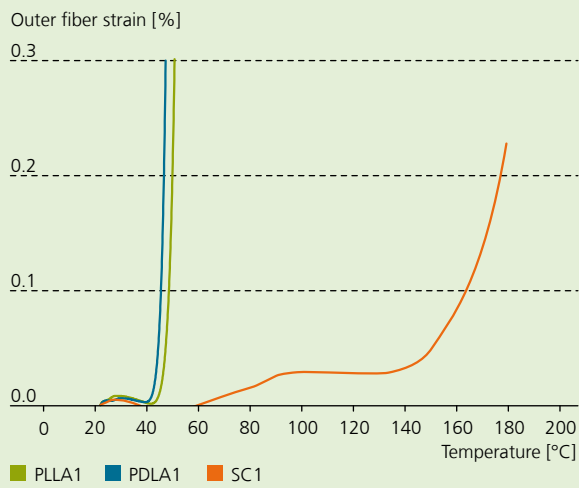
Polymilchsäure (PLA) ist ein thermoplastischer, linearer aliphatischer Polyester, der sich durch Extrusion und Spritzguss zu Formkörpern verarbeiten lässt. Die Herstellung der chiralen Moleküle des Poly- (L- und D-) Lactids hat heute eine hohe technische und ökonomische Reife erlangt. Ein Schwachpunkt von PLA ist die geringe Wärmeformbeständigkeit hergestellter Formkörper. Durch das äquimolare Mischen von L- und D-Lactid können sog. Stereokomplexe erzeugt werden, deren Kristalle etwa 50 K höher schmelzen, als die Kristalle der Einzelkomponenten (ca. 160 °C). Auswirkungen auf die Wärmeformbeständigkeit werden im Folgenden gezeigt.

Die betrachteten Stereokomplexe bestehen aus gleichen Teilen PLLA und PDLA. Das Komposit der Probe SC1 wurde durch Homogenisieren von PLLA und PDLA in einem Haake Mini-Lab-Extruder hergestellt und im Haake Mini-Jet zu Prüfstäben verspritzt. Die Werkzeugtemperatur betrug 130 °C und die Verweildauer im Werkzeug betrug drei Minuten. Verwendete Ausgangsmaterialien stammen von der Firma Uhde Inventa Fischer (UIF). Durch das Verspritzen von Pulvermischungen aus PLLA (UIF) und PDLA (Purac) wurden weitere Proben hergestellt, die ebenfalls im Haake Mini-Jet zu Prüfstäben verspritzt wurden. Es werden drei Proben betrachtet, die sich in der Verweildauer im 130 °C warmen Werkzeug unterscheiden. Probe SC2 war eine Minute, Probe SC3 zwei Minuten und Probe SC4 fünf Minuten im Werkzeug.

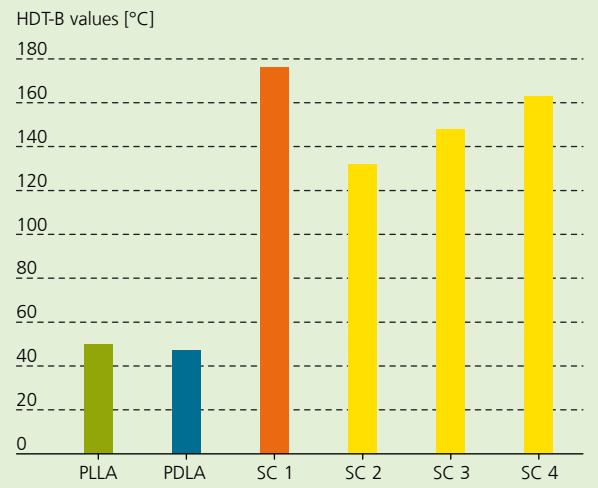
Fig. 1 zeigt die DSC-Aufheizkurven der Ausgangsmaterialien PLLA und PDLA sowie die eines Prüfstabs der Probe SC1. PLLA und PDLA zeigen neben den Glasübergängen bei etwa 60 °C jeweils Schmelzpeaks bei 155 °C bzw. 165 °C. Das nicht vorkristallisierte PDLA weist darüber hinaus einen Nachkristallisationspeak bei 95 °C auf. Im Gegensatz dazu ist bei der Probe SC1 lediglich der Schmelzpeak der Stereokristalle zwischen 200 °C und 220 °C zu sehen. Die deutlich unterschiedliche Struktur dieser Kristalle ist klar aus den Röntgen-Planfilmaufnahmen in Fig. 2A (PLLA) und 2B (Stereokomplex, SC1) zu entnehmen.

Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit der Randfaserdehnung im HDT-B-Biegeversuch als Funktion der Temperatur. Stäbe aus PLLA und PDLA beginnen sich bereits bei ca. 40 °C deutlich durchzubiegen, während der Stab SC1 wesentlich formstabiler ist. Die Temperatur, bei der die Randfaserdehnung 0,2 Prozent erreicht, entspricht dem HDT-B-Wert.

In Fig. 4 sind die HDT-B-Werte ausgewählter Stäbe wiedergegeben. Es wird deutlich, dass die Stäbe aus den hergestellten Stereokomplexen wesentlich wärmeformstabiler sind, als die aus den nativen Materialien, die, wie SC1, bei 130 °C drei Minuten im Werkzeug verblieben. Für den Stab SC1 aus dem extrudierten Material wurde mit 176 °C der höchste HDT-B-Wert ermittelt. Die HDT-B-Werte der Stäbe SC2, SC3 und SC4 liegen zwischen 132 °C und 163 °C. Es zeigt sich, dass mit steigender Verweildauer im Werkzeug die Wärmeformbeständigkeit zunimmt (Kristallisation). Weiterhin kann geschlossen werden, dass bereits eine einfache Mischung der Komponenten unmittelbar vor dem Spritzguss zu den gewünschten Effekten führt.



3



4

## The manufacture and characterization of stereo complexes of poly(lactic acid)

Poly(lactic acid) (PLA) is a thermoplastic, linear aliphatic polyester which can be shaped by extrusion and injection molding. The production of the chiral molecules of L and (to a lesser extent) D-lactide and their polymers has become a mature technology both technically as well as economically. A weak point in the PLA property profile is the low thermal stability of the shaped bodies. By equimolar mixing of poly(L and D)lactide, so-called stereo complexes can be produced which display crystalline melting points that are more than 50K higher than those of PLLA and PDLA which are approx. 160°C. The consequences of the thermal stability (heat distortion temperature, HDT) are discussed below for equimolar PLLA/PDLA mixtures.

Sample SC1 was produced through twin screw extrusion on a Haake Mini-Lab and subsequent injection molding with a Haake Mini-Jet. Mold temperature was 130°C and residence time in the mold (annealing time) was 3 minutes. Starting materials were provided by Uhde Inventa Fischer Co. (UIF), Germany. Further samples were produced through the dry powder mixing of PLLA (UIF) and PDLA (Purac) and direct injection molding (Mini-Jet) without extrusion. Three samples were considered here: SC2 with a 1 minute, SC3 with a 2 minute, and SC3 with 3 minute residence time respectively. The mold temperature for each was 130°C.

Fig.1 shows the DSC heating runs of the starting materials PLLA and PDLA and the thermogram of a SC1 test bar. PLLA and PDLA exhibit melting peaks at 155°C and 165°C respectively, in addition to glass transitions at about 60°C. PDLA, which was not pre-crystallized, has a cold crystallization peak at 95°. In contrast, for the SC1 sample, only the melting peak of the stereo complexes between 200°C and 220°C is visible. The clearly different crystal structure of the stereo complex crystals can be seen in the X-ray flat film photographs in Fig. 2A (PLLA) and 2B (stereo complex, SC1).

The strain of the outer fiber as a function of temperature in the HDT-B bending experiment is shown in Fig. 3. While the test bars from PLLA and PDLA already display a severe deformation at 40°C, the thermal stability of SC1 is considerably higher. The HDT-B value (temperature) is reached, by definition, at 0.2 percent strain.

HDT-B values of selected samples are presented in Fig. 4. It is clear that stereo complex samples reach considerably higher values than the PLLA or PDLA test bars, which were annealed for 3 minutes in the mold in the same way as SC1. The highest HDT-B value was found at 176°C for SC1, while for SC2, SC3, and SC4, the values were in the range of 132°C to 163°C. Obviously higher annealing times, and thus enhanced crystallization, lead to increased thermal stability. Moreover it becomes clear that in fact a simple premix without extrusion prior to injection molding does produce the desired effects.

## Kontakt Contact



**Dr. Rainer Rihm**

Telefon +49 331 568-1811

Fax +49 331 568-3000

rainer.rihm@iap.fraunhofer.de

**Dr. Johannes Ganster**

Telefon +49 331 568-1706

Fax +49 331 568-2565

johannes.ganster@iap.fraunhofer.de

## Kooperation Collaboration

– Uhde Inventa Fischer GmbH, Berlin



- 1 Melt spinning machine.
- 2 Dependence of tenacity and E-Modulus on TDR.
- 3 Electron microscopy photo of lengthwise view of spun fiber.

### Schmelzspinnereinrichtungen am Fraunhofer IAP

Ein wichtiger Schritt für die Erweiterung der Rohstoffbasis der chemischen Industrie ist die Verwendung nachwachsender Rohstoffe. Polymilchsäure (PLA) – ein biogenes Polymer – hat innerhalb der letzten Dekade ein enormes Interesse erhalten. Die Kombination aus biologischer Abbaubarkeit sowie Thermoplastizität eröffnet PLA den Markt für Anwendungen in Verpackungs- sowie Faserapplikationen [1].

Die Umformung von PLA zu Fasern nach dem Schmelzspinnverfahren bietet, im Gegensatz zum Lösungsspinnen, zwei große Vorteile: Eine Rückgewinnung des Lösungsmittels wird nicht benötigt und gleichzeitig lassen sich sehr hohe Spinnengeschwindigkeiten realisieren [2]. Mit den am Fraunhofer IAP zur Verfügung stehenden Ausrüstungen für das Schmelzspinnen wurden Prozessparameter zur Verspinnung von PLA hinsichtlich der Reckverhältnisse auf die mechanischen Eigenschaften von PLA untersucht.

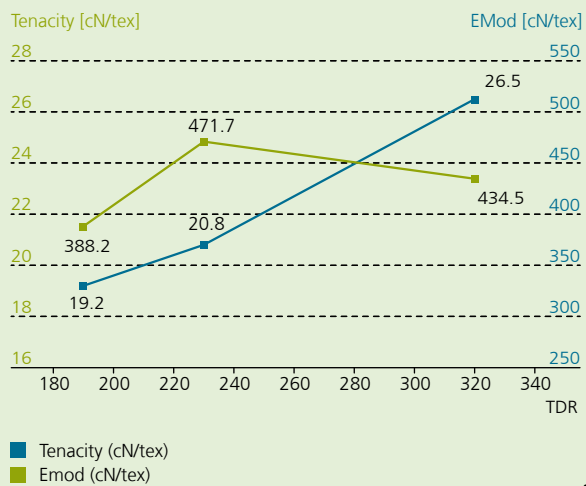
**Schmelzspinnanlage** | Die Fadenbildung erfolgte auf einer Schmelzspinnanlage der Firma Fourné, welche für Mono- als auch Bikomponentenfasern ausgelegt ist. Dabei stehen Spinn­düsen mit einer Lochzahl bis 7 Loch für Bikomponentenfasern sowie Spinn­düsen mit einer Lochzahl von bis zu 48 Loch zur Verfügung. Zwei Extruder mit L/D 25 stehen für den Schmelze­transport zur Verfügung und können bis max. 400 °C aufgeheizt werden. Der Durchsatz der Extruder beträgt dabei 3 kg/h (Monofilamente bzw. Kernstruktur bei Bikomponentenfilamenten) als auch 1 kg/h (Mantelstruktur bei Bikomponentenfilamenten). Über drei heizbare Galetten (max. 210 °C), welche mit einer Geschwindigkeit bis zu 1800 m/min betrieben werden können, kann der Abzug sowie die Reckung kontrolliert werden und somit POY- bzw. FDY-Garne erzeugt werden. Die Schmelzspinnanlage ist softwaregesteuert und ermöglicht so alle Spinnparameter genauestens anzusteuern (Fig. 1).

**Schmelzspinnen von PLA** | Die Versuche wurden mit einem kommerziellen PLA bei 240 °C bei verschiedenen Lochdurchsätzen in Korrelation mit der Abzugsgeschwindigkeit durchgeführt, um verschiedene Verzüge zu realisieren. Garne mit 32 sowie 48 Filamenten wurden ersponnen. Die Temperatur der Galetten wurde von 50 °C bis 90 °C und die Geschwindigkeiten der einzelnen Galetten von 1000–1800 m/min variiert. Es konnten so Filamente mit einem Titer von 1 dtex erfolgreich bei einem Abzugsverhältnis von 320 hergestellt werden. Ein erhöhtes Endabzugsverhältnis bewirkt sowohl einen Anstieg der Reißfestigkeit als auch des E-Moduls (Fig. 2). Neben dem Endabzugsverhältnis ist das Reckverhältnis zwischen den einzelnen Galetten mit von großer Bedeutung für die mechanischen Eigenschaften der Fasern. Die Abhängigkeit der mechanischen Kennwerte der Einzelfilamente vom Endabzugsverhältnis ist in Fig. 3 dargestellt.

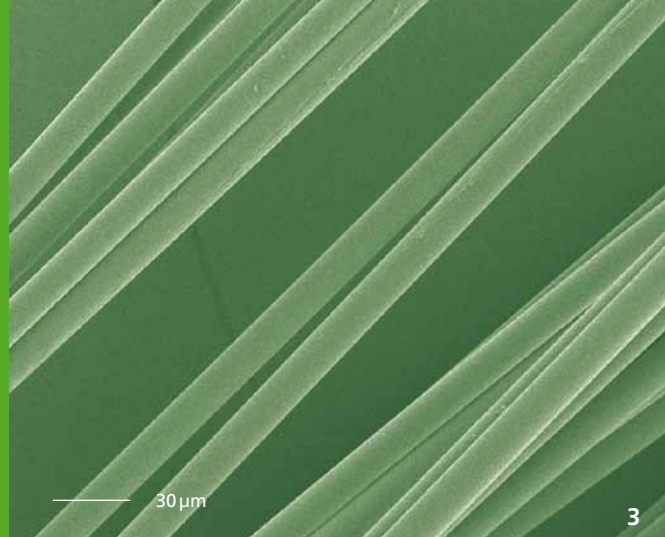
### Literatur Literature

- [1] L.-T. Lim, R. Auras, M. Rubino: *Processing technologies for poly(lactic acid)*, Progress in polymer science 33, p. 820–852 (2008)
- [2] D. M. Shin, J. S. Lee, H. W. Jung, J. C. Hyun: *High-speed fiber spinning process with spinline flow-induced crystallization and neck-like deformation*, Rheol Acta 45, p. 575–582 (2006)





2



3

## Melt-spinning facilities at Fraunhofer IAP

One important step for the expansion of the chemical industry's raw material base is the use of renewable resources. In the last decade there has been a great deal of interest in polylactide acid (PLA), a biogenic polymer. Its combination of biodegradability and thermoplasticity, as well as the fact that it is a renewable resource, opens the market for PLA in the packaging industry and in fiber applications [1].

Molding PLA into fibers using melt-spinning offers two large advantages over solution spinning. It eliminates the need for a solvent recovery plant and the loss of solvent during recovery and offers high spinning speeds [2].

A study was carried out to define the processing conditions and to investigate the effect of different draw ratio conditions on the mechanical properties of melt spun PLA.

**Melt-spinning machine** | The fibers were spun with a Fourné pilot-plant spinning device designed for mono and bi-component fiber threads. Spinnerets with up to 7 holes for bi-component fibers and spinnerets with up to 48 holes for mono-component fibers were used. Two extruders with an L/D of 25 offered the possibility of a bi-component mode that could be electrically heated up to 400 °C. The extruder was designed, in bi-component mode, to supply the core part with a throughput rate of 3 kg/h. It was also the extruder used in mono-mode operation. The shell-extruder had a throughput of 1 kg/h. The device had three godet rolls with a speed of up to 1800 m/min which could run at varying speeds to produce fully drawn yarn (FDY) or partially oriented yarn (POY). The godet rollers could be heated up to 210 °C for different draw ratio conditions. The melt-spinning machine was equipped with powerful control software that allowed all of the spinning parameters to be controlled accurately (Fig.1). Commercially available melt spinning grade PLA was used in this study.

**Melt-spinning of PLA** | Melt-spinning trials were performed at 240 °C with different mass throughput of the spinning pump in correlation to the take-up velocity in order to achieve different draw ratios. Yarns with 32 and 48 filaments were spun. The temperature of the godets was increased from 50 °C to 90 °C and the filaments were taken up with a winder at a rate of 1000–1800 m/min.

Very fine fibers with a titer of 1 dtex were successfully produced in this study and a total draw ratio (TDR) of 320 was achieved. Mechanical properties indicate that increasing the TDR leads to higher a tensile strength and e-modulus (Fig. 2). In addition to the TDR, the velocities of the godet also have a significant effect on the mechanical properties of the spun fibers. Applying different velocities to the godets at the same TDR resulted in a variety of properties because of the variation in orientation. In one case, optimizing the godet's drawing ability but using a similar take-up velocity resulted in better tensile strength and e-modulus by as much as 45 percent and 65 percent respectively.

## Kontakt Contact



### Dr. Mehdi Hassan Nejad

Telefon +49 331 568-1826

Fax +49 331 568-3000

mehdi.hassan.nejad@iap.fraunhofer.de

### Dr. André Lehmann

Telefon +49 331 568-1510

Fax +49 331 568-3000

andre.lehmann@iap.fraunhofer.de

# FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME

## FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

- 44 Funktionsmaterialien werden Nano**  
Functional materials are going nano
- 48 Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 50 Polymere als Sicherheitsmerkmale**  
Polymers as security features
- 52 Bioinspirierte Versorgungssysteme –  
neue Materialien für Rapid Prototyping**  
Bioinspired supply systems –  
new materials for rapid prototyping
- 54 Piezochromer Sensor**  
Piezochromic sensors
- 56 Elektrisch einstellbare diffraktiv-optische Elemente  
auf Basis von Flüssigkristall-Kompositen**  
Electrically adjustable diffractive optical elements  
based on liquid crystal composites
- 58 Entwicklung in-situ-polymerisierbarer  
lichtemittierender Reaktivmesogene**  
Development of light-emitting reactive mesogens  
that can be polymerized in situ
- 60 Ortsaufgelöste optische Sauerstoffmessungen mit  
phosphoreszierenden Mikrosonden**  
Spatially resolved optical oxygen measurements  
using phosphorescent microprobes



pioneers in polymers



# FUNKTIONSMATERIALIEN WERDEN NANO

## **Nanopartikel erobern die Anwendungen**

Nanopartikel bieten vielseitige Perspektiven und werden bereits erfolgreich als Leuchtstoffe, elektrische Schaltelemente, magnetische Flüssigkeiten, zur Veredelung von Werkstoffoberflächen und in der Sensorik angewandt. Die Herstellung qualitativ hochwertiger Nanopartikel erfordert technisches Know-how bezüglich der verschiedenen Einflussgrößen. Das Fraunhofer IAP entwickelt Nanopartikel und damit kundenspezifische Anwendungen im Bereich der organischen Leuchtdioden (OLED), der organischen Elektronik und der Sensorik. Die Entwicklung dieser Anwendungen erfordert Nanomaterialien mit berechenbaren und reproduzierbaren Eigenschaften. Es ist eine Herausforderung, Variationen und Optimierungen vorzunehmen, um die angestrebten Leistungsparameter mit diesen Hybridmaterialien in den Anwendungen zu erreichen.

## **Materialentwicklung für die organische Elektronik**

Die organische Synthesechemie eröffnet ein weites Spektrum an Möglichkeiten, um diesen Prozess 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 abgeschiedene dünne Schicht zu stabilisieren und weitere Prozessschritte vorzunehmen. Für die organischen Feldeffekttransistoren (OFET) sind neue halbleitende Polymere mit hohen Ladungsträgermobilitäten und dünne spannungsfeste Dielektrika Schwerpunkte der Entwicklung, die zu luftstabilen Bauelementen führen. Spezielle konjugierte angepasste Absorberpolymere werden für den Einsatz in der organischen Photovoltaik (OPV) entwickelt.

## **Technologieentwicklung für die organische Elektronik**

Bei der Realisierung von integrierten Systemen, die Bauelemente wie OPV, OLED, organische Elektronik, Sensorik und Energiespeichertechnologien enthalten, existieren bislang folgende Probleme: Derzeit beherrscht man die Herstellung der einzelnen Elemente sehr gut, jedoch kann man mit einer Laborfertigung keinen Markteintritt solcher Anwendungen vorbereiten. Die Herausforderung besteht in der Entwicklung

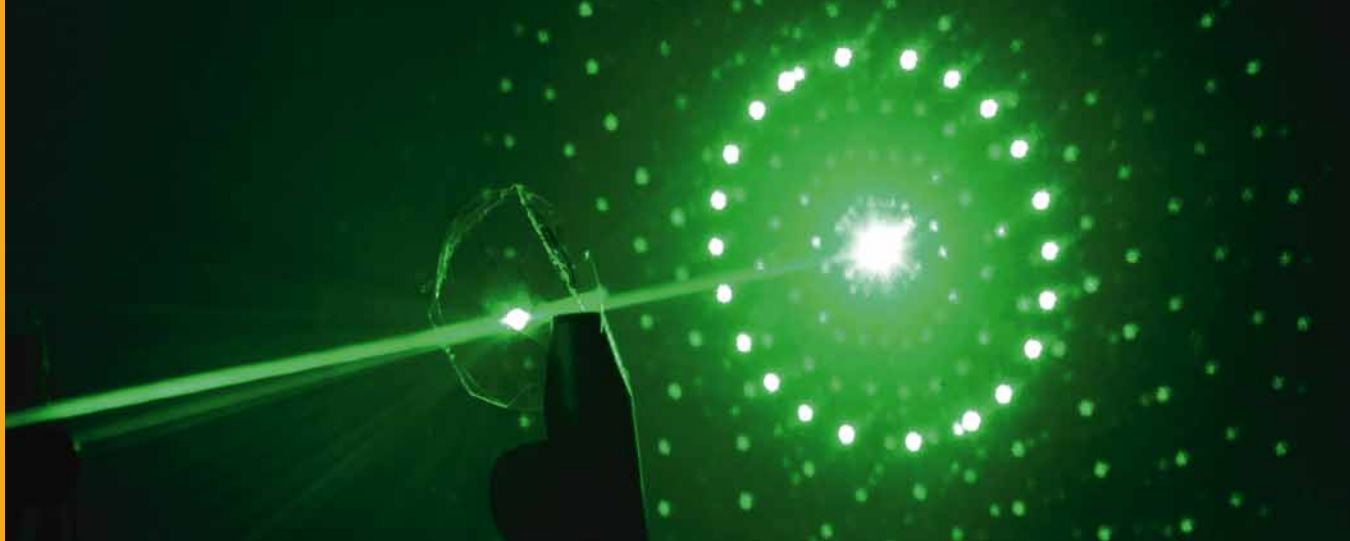
produktionstauglicher Prozesse. Ein Vorteil der Materialien besteht darin, dass sich diese aus Lösung verarbeiten lassen. Damit können die Materialien über Druckprozesse, wie Ink-jet-Druck oder Schlitzdüse strukturiert abgeschieden werden – aufwendige photolithographische Schritte werden nicht mehr benötigt.

## **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 energieeffiziente 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 neue Materialklasse von Nanomaterialien, in denen die Absorptions- und Emissionseigenschaften durch die Einstellung der Partikelgröße und Passivierung der Partikeloberfläche beeinflusst werden können. Nahezu der gesamte Spektralbereich 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, konventionelle Cadmiumselenid-QDs und infrarot-aktive QDs im Gramm-Maßstab herzustellen. Darüber hinaus werden auch cadmiumfreie Synthesen entwickelt, um umweltfreundliche Indiumphosphid-QDs für die LED/OLED- und Displaytechnologie sowie infrarot-aktive 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 Nanocomposite 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 supramolekularer oder lichtinduzierter Ordnungszustände und in Perspektive in zunehmenden Maße auch Drucktechniken entscheidende Bedeutung zu.

### **Rapid Prototyping durch Laserstrukturierung**

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 Stereolithografie 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**

Polymere und Polymerkomposite haben die Anwendungen in der Sensorik und Aktorik vorgebracht. Zu diesen Anwendungen zählen taktile Sensorarrays, Ultraschallwandler und elektromechanische Stellglieder. Bei den piezoelektrischen Materialien werden klassische Ferroelektrika wie Polyvinylidenfluorid und dessen Copolymere, neuartige poröse bzw. zelluläre Raumladungselektrete – sogenannte Ferroelektrete – sowie Polymer-Keramik-Komposite erforscht und den Anwendungen angepasst. Die Entwicklung von Materialien mit großer aktorischer Ausdehnung wird mit dem Ziel verfolgt, neue dielektrische Elastomere mit deutlich höherer Permittivität zu entwickeln, um die erforderliche Schaltspannung von sogenannten dielektrischen Elastomeraktoren (DEA) abzusinken. Die Prozessentwicklung konzentriert sich auf die Herstellung möglichst dünner Folien mit angepassten dehnbaren Elektroden.

### **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. Nanoskalige Funktionsschichten sind dreidimensionale Wirtstrukturen für Proteine in der biologischen und medizinischen Diagnostik. Sie wirken als Diffusionsbarriere, sind effiziente antimikrobielle Ausrüstung oder robuster Träger weiterer Funktionen auf nahezu beliebigen Materialien. Mikrometer dicke Funktionsschichten schalten ihre Eigenschaften unter Einfluss von Licht. Mikrostrukturierte Oberflächen können vielfältige optische und mechanische Funktionen ausüben. Die Technologieentwicklung auf diesem Gebiet wird durch eine leistungsfähige Analytik von Oberflächen und Dünnschichten unterstützt.

# FUNCTIONAL MATERIALS ARE GOING NANO

## **Nanoparticles are taking over applications**

Nanoparticles provide a host of opportunities and are already being successfully used as luminescent materials, electrical switching elements, magnetic fluids, for refining material surfaces, and in sensor technology. Producing high-quality nanoparticles requires technical know-how about the various influencing parameters. Fraunhofer IAP develops nanoparticles and, in so doing, customer-specific applications in the field of organic light diodes (OLEDs), organic electronics and sensor technology. The development of these applications requires nanomaterials with predictable and reproducible properties. It is a challenge to develop variations and to optimize these hybrid materials so that they achieve the intended performance parameters in the applications.

## **Material development for organic electronics**

Organic synthetic chemistry opens up a wide range of opportunities to support this process with customized solutions. In the case of OLEDs, new material systems are being developed that contain structurally optimized, electron, hole, transport and emitter molecules in the main polymer chain. By using suitable functionalized polymers, these can also be crosslinked through thermal and photochemical initiation in order to stabilize the deposited thin film and to undergo further process steps. Focus is on new semi-conductive polymers for organic field-effect transistors (OFET). Their high charge carrier mobility and thin voltage-resistant dielectrics enable oxygen-stable components to be produced. Special conjugated adapted absorber polymers are being developed for use in organic photovoltaics (OPV).

## **Development of technology for organic electronics**

There are issues when it comes to producing integrated systems that contain OPVs, OLEDs, organic electronics, and sensor and energy storage technology components. Currently individual elements can be produced very well, however lab-scale production means the applications are not market-ready. The challenge is to develop production-ready processes. One advantage of these materials is that they can be processed from solvents. This enables the materials to be structurally deposited through printing processes like ink-jet printing or with slot die. Time-consuming photolithographic steps are then no longer required.

## **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 rapid changes in color based on changes in temperature. These changes can either be reversible or non-reversible and open up new applications, for instance, in safety technology. With thermochromic polymer materials both the intensity of the color and the intended color can be controlled by temperature. Thus thermochromic color change between two signal colors (blue–red or yellow–black) or interval changes (transparent–red–yellow–green) are possible in a set temperature profile. Development work is focusing on color-selective thermochromism in thermosets, thermoplastics, paints (including casting resin systems), and highly transparent hydrogels.

In addition to being used as visual temperature sensors, thermochromic and thermotropic polymers are increasingly being used as energy efficient materials in solar technology. Key areas of application are active solar protection for buildings and to prevent overheating in solar collectors.

## **Quantum dots**

Quantum dots (QD) are a new material class of nanomaterials in which absorption and emission properties can be influenced by adjusting particle size and passivation of particle surfaces. Virtually the entire spectral range is accessible. Their unique properties allow them to be used in diverse areas of application, for example, as luminescent materials, in display technology, for photovoltaic up-conversion or as a security feature on banknotes. The functionalization of the particle surface makes QDs attractive for analytics, bioanalytics and therapeutic applications. New methods are being tested for producing conventional cadmium selenide QDs and infrared active QDs on a gram-scale. In addition to this, cadmium-free syntheses are being developed in order to provide environmentally-friendly indium phosphide QDs for LED/OLED and display technology, and infrared active copper indium sulfide QDs that would increase solar cell efficiency.

### **Optical functional elements**

Liquid crystals, in the form of 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 contributed to this groundbreaking development. Material development concentrates 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 that have diverse optical functionality. In addition to material development, the coordinated development of polymer-typical processing and structuring technologies is of crucial importance. This includes innovative film preparation techniques, orientation methods, the permanent setting of supramolecular or light-induced arrangements and, to an increasing extent, printing techniques.

### **Rapid Prototyping through laser structuring**

With the aid of various technologies, three-dimensional structures can be inscribed using photo-crosslinking. In principle, laser-supported multiphoton polymerization and stereolithographic methods are suitable for this. The material development needed for this is currently focusing on the synthesis of acrylate-based reactive resins which can be used to produce artificial blood vessel systems by means of spatially-resolved stereolithography. The material combinations furthermore provide the opportunity to adjust the mechanical properties from flexibly elastic to rigid depending on the degree of crosslinking. Other application fields for these materials and technologies are found in microsystems technology.

### **Organic and hybrid sensors and actuators**

Polymers and polymer composites have moved applications forward in sensor and actuator technology. These applications include tactile sensor arrays, ultrasonic transducers and electro-mechanical actuators. In piezoelectric materials, traditional ferroelectrics such as polyvinylidene fluoride and its copolymers, innovative porous and cellular space charge electrets (so-called ferroelectrets) and polymer-ceramic composites are being studied and tailored to the applications. Materials with a high degree of actuator expansion are being studied with the aim of developing new dielectric elastomers with a much higher permittivity so that the switching voltage needed for so-called dielectric elastomer actuators (DEA) can be lowered. Process development is concentrating on producing the thinnest films possible with customized stretchable electrodes.

### **Surface functionalization and analysis**

Tailoring the surface properties of polymers opens up many new application areas for polymer materials. Activating (= oxidation) the surface makes it possible to print onto polyethylene films (shopping bags), to adhesively bond polypropylene (smart cards) and to coat polymer surfaces. The chemical make-up of the nanometer-thin surface layer is responsible for these properties. Nanoscale functional layers are three dimensional host structures for proteins used in biological and medical diagnostics. They act as diffusion barriers, are an efficient anti-microbial shield or are a robust carrier of additional functions on nearly any material. Micrometer thin functional layers switch their properties when exposed to light. Microstructured surfaces can carry out many types of optical and mechanical functions. The development of technology in this field is supported by an effective chemical analysis of 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
- polymere Elektrete für Sensoren und Aktoren
- polymere Elektrete als Ladungsspeicher
- spektrale Lichtwandler zum Nachweis von UV-Licht

## 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
- OPV (Organische Photovoltaik Zellen) und Module
- OLED-Signage-Displays
- piezoelektrische Sensoren und Aktoren
- pyroelektrische Sensoren

## Weitere Beispiele

- biozide Oberflächen für Folien oder Textilien
- Charakterisierung der chemischen Struktur, der Topographie und makroskopischer Eigenschaften
- fälschungssichere Markierung von Polymermaterialien
- Fluoreszenzschichten für die Sensortechnik
- photobiozide Beschichtungen für den Pflanzenschutz
- Photolithographielinie zur Strukturierung
- strukturierte Aktivierung von Oberflächen
- wasserabweisende Textilien
- Tintenstrahldruck von OLEDs

## Oberflächentechnik

- funktionale Beschichtungen
- hydrophile oder hydrophobe Oberflächen
- Immobilisierung von biologisch aktiven Substanzen auf polymeren Oberflächen
- klebstofffreies Verbinden
- Oberflächen- und Dünnschichtanalytik
- Rolle-zu-Rolle-Verarbeitung von Polymerfolien



# 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
- polymer electrets for sensors and actuators
- polymer electrets for charge storage
- spectral light converter for the detection of UV-light

## 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
- 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
- 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
- fluorescent layers for sensor technology
- ink-jet printing of OLEDs
- 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



## Polymere als Sicherheitsmerkmale

Die eindeutige Kennzeichnung von Produkten ist unerlässlich, um wirtschaftliche Schäden aufgrund von Produktpiraterie zu bekämpfen. Solche Kennzeichnungen müssen neben der eindeutigen Identifizierbarkeit auch eine hohe Fälschungssicherheit gewährleisten. Derartige Markierungen werden sowohl im Laufe der Produktion als auch für Transport, Vertrieb und Anwendung eingesetzt. Barcodes und RFID-Tags sind heute weit verbreitet. Auch Hologramm-Label – wie man sie aus der Kennzeichnung von Geldscheinen oder Personalausweisen kennt – und Farbkodierungen, die über einfache Detektoren auslesbar sind, werden eingesetzt.

Eine neue Möglichkeit zur Einführung eines Sicherheitsmerkmals basiert auf der Integration einer organischen Leuchtdiode (OLED) in ein Produkt [1]. OLEDs enthalten dünne Schichten bestimmter organischer Materialien, die beim Anlegen einer Spannung leuchten und damit zur Informationsdarstellung eingesetzt werden können. Dafür werden am Fraunhofer IAP lösungsprozessierbare Polymere eingesetzt. In konventionellen OLEDs wird die Information dadurch eingeschrieben, dass die Elektroden entweder eine fixierte Struktur aufweisen oder aufgrund ihres Aufbaus über eine Pixeladressierung Bilder oder Informationsdarstellungen erzeugt werden können. Bei dem am Fraunhofer IAP entwickelten Verfahren wird die Informationsdarstellung durch einen Mehrfachdruck mit einem Tintenstrahldrucker erzeugt. Zunächst wird die Leuchtschicht gleichmäßig auf der gesamten Fläche aufgetragen. In einem zweiten Schritt wird dann ein Muster gedruckt. Die dadurch erzeugten Schichtdickenvariationen werden im Display als Helligkeitsstufen sichtbar (Fig. 1) und ergeben so das Bild. Dieses Verfahren ermöglicht sowohl die Darstellung von Zeichen als auch von Bildern. Die Information ist nur bei angelegter Spannung sichtbar und kann damit als elektronisches Wasserzeichen verwendet werden.

Eine andere Möglichkeit der Kennzeichnung von Waren besteht darin, einem Werkstoff oder einer Beschichtung Fluoreszenzfarbstoffe zuzusetzen [2]. Bei einigen dieser Verbindungen wird die Art der Fluoreszenz von der Umgebung beeinflusst, in der sich die Moleküle befinden: pH-Wert, Ionenstärke, Viskosität u. a. Diese Eigenschaften kann man ausnutzen, um Werkstoffe spezifisch zu markieren. Die Fluoreszenz eines in ppm-Mengen zugesetzten Farbstoffes wird von den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Materials bestimmt, die z. B. vom Mischungsverhältnis verschiedener Komponenten bei der Herstellung abhängen. Auch der Aushärtungs- oder Vernetzungsgrad von Kunststoffen kann einen Einfluss auf die optischen Eigenschaften des Werkstoffes haben. Werden zwei oder mehr Farbstoffe zugesetzt, entsteht ein System, dessen optische Eigenschaften extrem schwer zu imitieren sind. Da Fluoreszenz sehr empfindlich nachweisbar ist, genügen ausgesprochen kleine Konzentrationen für eine Identifizierung. Mit Konzentrationen in Bereich weniger ppm können selbst sub-Mikrometerschichten identifiziert werden.

## Literatur Literature

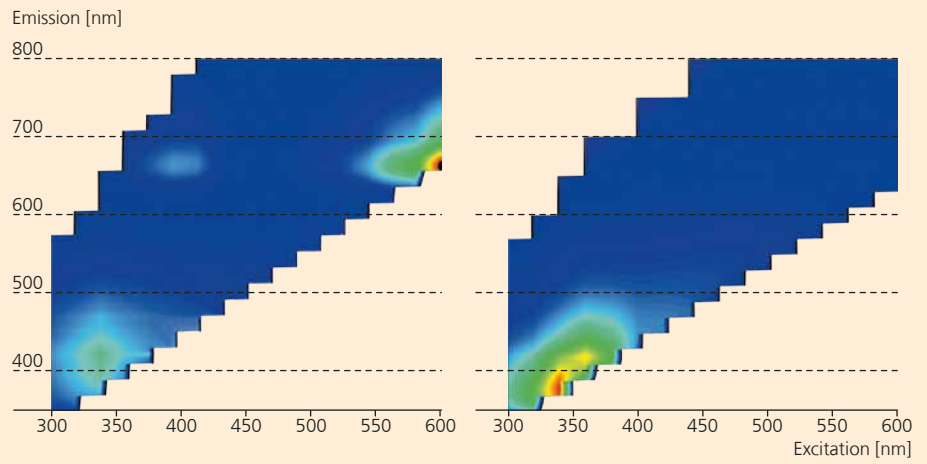
[1] S. Kreissl, B. Fischer, A. Wedel: *Verfahren zur Herstellung von strukturierten organischen Leuchtdioden und deren Verwendung*, DE 10 2009 053 955

B. Fischer, S. Kreissl, C. Boeffel, A. Wedel: *Multi-layer printing of OLEDs as a tool for the creation of security features*, OPTICS EXPRESS 20/S2, p. A219–A223 (2012)

[2] A. Holländer, H. Holeczek, S. Amberg-Schwab: *Verfahren zur fälschungssicheren Kennzeichnung und Identifizierung von Werkstoffen*, DE 10 2009 008 172

1 Multilayer printed displays of the Institutes initials (right) and a grayscale picture (left), which could, for example, serve as user identification in a smart card.

2 2D fluorescence of two dyes.



2

## Polymers as security features

Distinct product labeling is essential in order to prevent economic loss through the pirating of merchandise. In addition to being clearly identifiable, such labels should not be forgeable and be usable during production, transport, distribution and application. Bar codes and RFID tags are widely used today. Holograms, a familiar sight on banknotes or ID cards, as well as non-complex color codes that are readable with simple detectors are also widely used.

A new way to introduce security features is based on the integration of organic light emitting diodes (OLED) into a product [1]. OLEDs consist of thin layers of organic materials which emit light when an electrical field is applied and thus can be used to display information. At Fraunhofer IAP solution processable polymers are used in the fabrication of such displays. In conventional OLEDs the information is displayed by either a fixed electrode structure or through pixel addressing to create pictures or symbols. The features presented here are generated through a multilayer coating process using an inkjet printer. First a homogenous layer of one of the active materials is printed then, in the next step, the pattern is printed. This introduces thickness variations in the active layer which eventually are visible as a grayscale pattern in the display (Fig.1). There are no limitations to the layout of the printed solutions and any symbol or picture may be displayed. The information is only visible when an electrical field is applied and thus it can be used as an electronic watermark.

Another possibility for the labeling of products lies in adding fluorescent dyes to materials or coatings [2]. Often the fluorescence of these systems is influenced by the environment of the molecules: pH-value, ionic strength and viscosity etc. These properties can be exploited to specifically label materials. The fluorescence of a dye in the ppm range depends on the chemical and physical properties of the material, for example on the mixture ratio of the individual components during the production process. Also the amount of curing and degree of crosslinking of the polymers may influence its optical properties. If two or more dyes are added to the system, the optical properties are almost impossible to imitate. Since fluorescence is highly sensitive and easy to detect, very low concentrations are sufficient for identification. Sub-micrometer layers can even be identified with concentrations in the ppm range.

## Kontakt Contact



### Dr. Christine Boeffel

Telefon +49 331 568-1915

Fax +49 331 568-3910

christine.boeffel@iap.fraunhofer.de

### Dr. Andreas Holländer

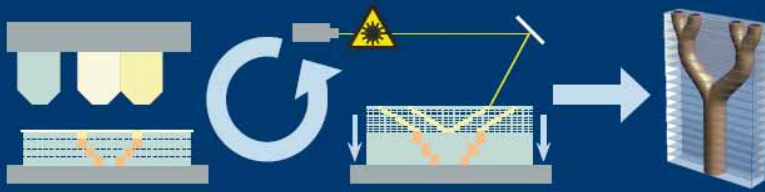
Telefon +49 331 568-1404

Fax +49 331 568-3000

andreas.hollaender@iap.fraunhofer.de

### Förderung Funding

– Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Länder Berlin und Brandenburg im Rahmen des Innovationsclusters »Sichere Identität«



1

1 Combination of a 3D inkjet process with multi-photon polymerization technique to construct capillary blood supply systems. © Fraunhofer ILT/Fraunhofer IPA, 2012.

2 Modulus of elasticity and tensile strength of PTHF polyacrylates, depending on the molecular weights of the prepolymers.

3 Branched tubular systems with an inside diameter of 2 mm produced using stereolithography. © Fraunhofer ILT, 2011.

4 Endothelialization of IAP inkjet materials.

## Bioinspirierte Versorgungssysteme – neue Materialien für Rapid Prototyping

**Kombination zweier Rapid-Prototyping-Verfahren** | Rapid Prototyping (RP) beschreibt schnelle, generative Fertigungsmethoden von komplex geformten Bauteilen. In wenigen Minuten bis Stunden werden neuste, komplexe Strukturen generiert. Ein Konsortium von Fraunhofer-Instituten kombiniert die 3D-Inkjet-Technik mit der lasergestützten Multiphotonenpolymerisation (MPP) und erreicht so eine Auflösungsverbesserung von 50 µm bis auf 1 µm. Diese Auflösung wird erreicht, wenn fokussiertes Laserlicht mikrometergenau den Inkjet-Tropfen aushärtet (Fig. 1).

**MAVO BioRAP** | Ein künstliches Kapillarsystem zur Versorgung einer 3D-Gewebekultur muss technisch nachgebildet werden. Dafür sollen die neue Fertigungstechnik Röhrensysteme in der erforderlichen geometrischen Dimension und Struktur generieren. Materialdesign und Biofunktionalisierung sollen den Gefäßwänden Eigenschaften verleihen, die denen natürlicher Gefäße entsprechen. Ausgehend von mechanischen Simulationen von Gefäßstrukturen und deren Permeabilität, erfolgt eine Technologieentwicklung zur 3D-Herstellung der Versorgungs- und Stoffaustauschsysteme [1].

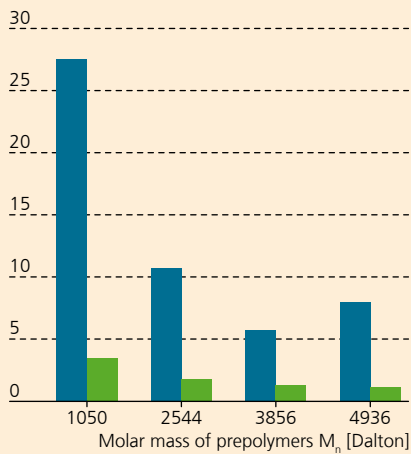
**Photovernetzbare Materialien für RP** | Das Fraunhofer IAP entwickelt Materialklassen, die den Ansprüchen des RP, der Verwendung als Blutgefäßsysteme und der biologischen Kompatibilität sowie der Langzeitstabilität gerecht werden. Acrylatbasierte Materialien haben sich in der Medizintechnik bewährt und spiegeln in ihrem Anwendungsbereich von Zahnfüllungen bis hin zu Kontaktlinsen die mechanische Bandbreite wieder, die sich durch Wahl der Einzelkomponenten und ihrer Zusammensetzung einstellen lassen. Das Fraunhofer IAP entwickelt neue photovernetzbare Materialien, die den prozessbedingten Randbedingungen einer Inkjet-Tinte genügen. Dazu gehören die Einhaltung der Viskositätsgrenzen der einzustellenden Tinte sowie die Fähigkeit zur lichtinduzierten Vernetzung. Das strukturierte und flexible Material muss sich in ausreichender Weise biofunktionalisieren lassen, um die Röhreninnenwände mit Endothelzellen besiedeln zu können.

**Ergebnisse** | Photovernetzbare Diacrylate mit Molmassen oberhalb 1000 g/mol zeigen Aushärtungsprodukte mit hinreichend kleinem Elastizitätsmodul (Fig. 2) [4] mit transparenten Materialeigenschaften. Formuliert Grundmaterialien lassen sich mittels Inkjet verdrucken oder mit Stereolithographie-Verfahren strukturieren (Fig. 3). Die chemische Funktionalisierung der Materialien beeinflusst das Zellwachstum auf den Oberflächen [3]. Grundmaterialien auf Basis von acrylatfunktionalisierten PEG, PPG oder PTHF wurden synthetisiert und stehen als 3D-Inkjet-Druck formulierte Tinten zur Verfügung, die nach dem Aushärten einen E-Modul von 1–20 MPa aufweisen und damit ähnliche mechanische Eigenschaften, wie natürliche Adern besitzen. Die Synthese von einem effizienten Photoinitiator (EPI) erlaubt ein um den Faktor 100 höhere Prozessgeschwindigkeit der MPP gegenüber kommerziell erhältlichen UV-Absorbern [2]. Toxizitätstests der Materialien zeigen nach definierten Waschprotokollen Biokompatibilität und zelladhärentes Verhalten (Fig. 4).

## Literatur Literature

- [1] E. C. Novosel, C. Kleinhans, P. J. Kluger: *Vascularization is the key challenge in tissue engineering*, *Advanced Drug Delivery Reviews* 63/4–5, p. 300–311 (2011)
- [2] S. Engelhardt, Y. Hu, N. Seiler, D. Riestler, W. Meyer, H. Krüger, M. Wehner, E. Bremer-Koebberling, A. Gillner: *3D-Microfabrication of Polymer-Protein Hybrid Structures with a Q-Switched Microlaser*, *JLMN* 6/1, p. 54–58 (2011)
- S. Engelhardt, E. Hoch, K. Borchers, W. Meyer, H. Krüger, G. Tovar, A. Gillner: *Fabrication of 2D protein microstructures and 3D polymer-protein hybrid microstructures by two-photon polymerization*, *Biofabrication* Volume 3/2, 3:025003 (2011)
- [3] E. Novosel, W. Meyer, M. Wegener, H. Krueger, K. Borchers, P. Kluger, G. Tovar, H. Walles, T. Hirth: *Characterization of endothelial cell-biomaterial interaction on newly developed 3D-printable polymer surfaces for vascular grafts*, *Tissue Eng. Part A* 17/3–4, p. 568–568 (2011)
- [4] W. Meyer, S. Engelhardt, E. Novosel, M. Wegener, B. Elling, H. Krueger: *Soft polymers for building up small and smallest blood supplying systems by stereolithography*, *JFB* 2012 accepted

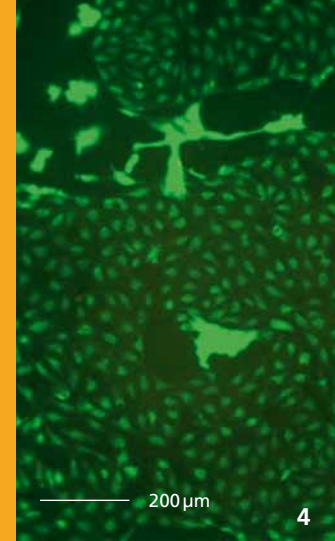
E-Modul [MPa]



2



3



4

## Bioinspired supply systems – new materials for rapid prototyping

**Combination of two rapid prototyping (RP) processes** | The term rapid prototyping is used to describe rapid manufacturing methods employed to create complex structures that can be generated in only a few minutes to a few hours. A consortium of Fraunhofer Institutes combined 3D inkjet technology with laser-assisted multiphoton polymerization (MPP) to improve resolution from 50 microns to 1 micron. Such resolution is achievable when the droplet is cured with micrometer precision using a focused laser light (Fig.1).

**MAVO BioRAP** | An artificial capillary system has to be technically reproduced to supply a 3D tissue culture. Material design and post-processed bio-functionalization bestow properties to the artificial vessel walls that are similar to those of natural blood vessels. Mechanical simulation of vascular structures and their permeability results in a technology that can be used in the 3D production of supply and mass transfer systems. Being able to produce such supply systems is the “missing link” in tissue engineering [1].

**Photocrosslinkable material for RP** | Fraunhofer IAP focuses on developing classes of materials that meet RP biological compatibility demands and long-term stability requirements. Photocrosslinkable acrylate-based materials are an inexpensive class of materials used in RP sector. Compounds of these generate products with relevant chemical and physical properties. Acrylate-based materials have been proven in medical technology and their wide range of mechanical properties are reflected in their many areas of application, from dental fillings to contact lenses. Fraunhofer IAP develops new photocrosslinkable materials that fulfill the process-related constraints for inkjet ink. This includes complying with the viscosity limits of the set materials and being able to produce light-induced cross-linking. Furthermore, the polymers have to correspond to the diverse properties of a vein graft, e. g. elastic properties of natural arteries and veins, and they should be able to be biofunctionalized sufficiently to support a subsequent endothelialization of the tube's inner walls.

**Results** | Photocrosslinkable linear diacrylates with molecular weights above 1000 g/mol generate products with a sufficiently small modulus of elasticity (Fig. 2) [4]. Transparent and amorphous material properties are created. Basic materials can be formulated using inkjet or stereo lithography processes (Fig. 3). The chemical functionalization of the materials affects the surface properties and cell growth of such materials [3]. Several basic materials based on acrylate/methacrylate-functionalized PEG, PPG or PTHF have been synthesized and are available as 3D inkjet printing formulated inks. Post-processed inks obtain an elastic modulus of 10–20 MPa, and thus possess mechanical properties similar to those of natural veins. The synthesis of an efficient photo initiator (EPI) enables a processing speed for MPP that is one to 100 times faster than commercially available UV absorbers [2]. Thus, tiny fluid supply systems with an internal diameter of millimeters to a few micrometers are processable using RP. Toxicity tests reveal, after adapted washing protocols, biocompatible materials and even adherence for endothelial cells (Fig. 4).

## Kontakt Contact



### Dr. Wolfdietrich Meyer

Telefon +49 331 568-1442

Fax +49 331 568-3910

wolfdietrich.meyer@iap.fraunhofer.de

### Dr. habil. Hartmut Krüger

Telefon +49 331 568-1920

Fax +49 331 568-3910

hartmut.krueger@iap.fraunhofer.de

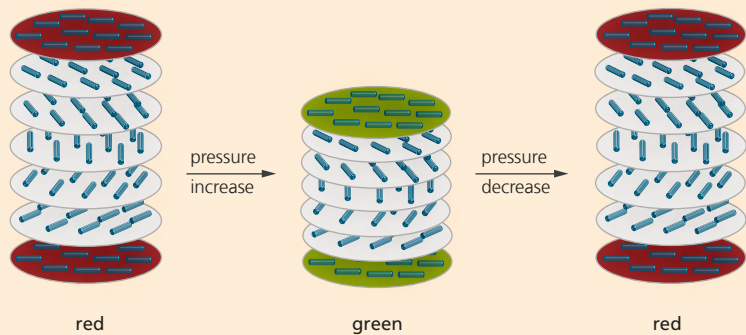
### Förderung Funding

– Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen der MAVO BioRap

### Kooperation Collaboration

– Dr. Michael Wegener, Fraunhofer IAP

– Dr. Burkhard Elling, Fraunhofer IAP



1 Schematic diagram of the elastic deformation of the helical cholesteric structure and the resulting color change.

2 Piezochromic polymer material sandwiched between two glass panes. A local color change from red to green/blue occurs under pressure.

1

## Piezochromer Sensor

Piezochrome Effekte basierend auf Modifikationsänderungen in anorganischen Kristallen – etwa bei LiF- oder NaCl-Einkristallen – sind seit Jahrzehnten bekannte Phänomene. Die erforderlichen hohen Druckänderungen eröffnen keine Perspektive zum Einsatz als Drucksensoren in alltäglichen Lebensbereichen. So ist für den Übergang der grünen  $\alpha$ -Modifikation von  $\text{Cu-MoO}_4$  in die rote  $\gamma$ -Modifikation ein Druck von 2,5 kbar erforderlich oder für Palladiumkomplexe 1,4 bis 6,5 GPa.

Hinweise zur Schaltung der Wellenlänge durch Druckänderung in organischen Polymerstrukturen sind bislang in der Fachliteratur nicht systematisch beschrieben. Für Poly(3-dodecylthiophen) wird bei einer Druckänderung von 8 kbar eine bathochrome Verschiebung beobachtet und eine ebenfalls bathochrome Verschiebung von 605 nm nach 672 nm ( $\Delta\lambda = 67 \text{ nm}$ ) in Poly(3-(1-dodecyl)thiophen-2,5-diyl) bei einer Druckänderung von 10,71 GPa.

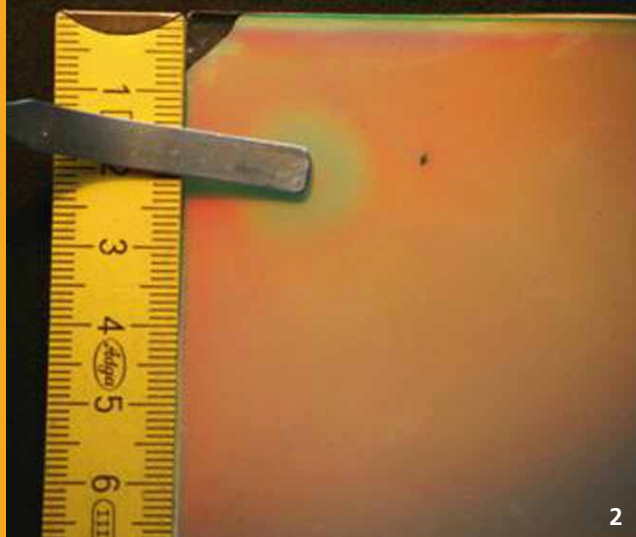
Ziel der Forschungsarbeit war es, piezochrome Materialien mit einer um Größenordnungen verbesserten Druckempfindlichkeit zu entwickeln. Diese piezochromen Materialien sollen es ermöglichen, bereits Druckänderungen unter 1 bar zu detektieren.

Projektstrategie war es, eine cholesterische Mesophase in eine vernetzte Polymermatrix zu integrieren. Dies wurde durch die Kombination von chiraler Komponente und Monomeren mit flüssigkristallem Charakter, sowie deren Photopolymerisation zu einem hochgeordneten Polymersystem erreicht. Die Farbe der so erhaltenen polymerstabilisierten flüssigkristallinen Mesophase wird nicht durch Farbstoffe, sondern durch die periodische helikale Überstruktur der cholesterischen Phase erzeugt, an der Bragg-Reflexion stattfindet. Elastische Deformationen des Materials führen zu einer Änderung der Helixganghöhe und somit zu einer von der Stärke der Deformation abhängigen Wellenlängenverschiebung der Bragg-Reflexion. Mit zunehmendem Druck ändert ein im drucklosen Zustand rotes Material seine Farbe über grün nach blau. Das Schaltprinzip dieses reversiblen Effektes ist in Fig.1 gezeigt.

Die entwickelten piezochromen, cholesterischen Materialien konnten, wie in Fig.2 gezeigt, in großflächigen Sandwich-Konstruktionen sowohl zwischen Glas- als auch zwischen flexiblen Polymersubstraten hergestellt werden. Dabei lassen sich die mechanischen Eigenschaften der resultierenden piezochromen Polymermaterialien und somit deren Druckempfindlichkeit über den Vernetzungsgrad einstellen. Die so hergestellten piezochromen Materialien sind langzeitstabil, lichtecht und ermöglichen es Druckänderungen unter 1 bar mit dem bloßen Auge zu detektieren.

## Literatur Literature

[1] A. Seeboth, R. Ruhmann, O. Mühlhling: *Thermotropic and Thermochromic Polymer Based Materials for Adaptive Solar Control*, Materials 3/12, p. 143–5168 (2010)



## Piezochromic sensors

For decades we have known about piezochromic effects based on modification changes in inorganic crystals, for example in LiF or NaCl monocrystals. The high pressure changes that are required do not open up any opportunities for their application as pressure sensors in areas of everyday life. For example the transition from the green  $\alpha$ -modification to the red  $\gamma$ -modification of  $\text{CuMoO}_4$  requires a pressure of 2.5 kbar and piezochromic palladium complexes require pressures ranging from 1.4 to 6.5 GPa for their modification changes.

Systematic investigations of piezochromic organic polymers have not been reported so far in scientific literature. Only a few particular examples have been described. This includes a bathochromic shift of the absorption of poly (3-dodecylthiophene) under an applied pressure of 8 kbar as well as a bathochromic shift of 67 nm from 605 nm to 672 nm for the absorption of poly [3-(1-dodecyl)thiophene-2,5-diyl] under an applied pressure of 10.71 GPa.

The aim of the present research work was to develop piezochromic materials with improved pressure sensitivity by several orders of magnitude. These piezochromic materials should even allow pressure changes of < 1 bar to be detected.

The project strategy was to incorporate a cholesteric mesophase into a cross-linked polymer matrix. This target was achieved through photo-polymerization of a chiral compound and monomers with liquid crystalline properties resulting in the formation of a highly ordered polymer system. The coloration of the polymer stabilized liquid crystalline mesophase that was obtained was not caused by a dye but was due to the periodic helical structure of the cholesteric phase which gives rise to the occurrence of Bragg reflection. Elastic deformations of the material led to changes of the pitch of the helical structure and thus to shifts in the Bragg reflection wavelength. The magnitude of the shift depended on the degree of deformation. Such a piezochromic material, which is originally red, changes color to green then blue with the increase in applied pressure. The reversible switching mechanism is shown in Fig.1.

The piezochromic cholesteric materials that were developed were manufactured in large areas and sandwiched either between glass or flexible polymer substrates (Fig. 2).

Mechanical properties of the resulting piezochromic polymer materials, and thus their pressure sensitivity, could be adjusted by the degree of cross-linking. The piezochromic materials that were developed have long-term stability and are lightfast. They enable pressure changes of < 1 bar to be easily detected with the naked eye.

## Kontakt Contact



### Dr. Detlef Löttsch

Telefon +49 30 6392 - 2064  
 Fax +49 30 6392 - 2065  
 detlef.loetzsch@iap.fraunhofer.de

### Dr. Ralf Ruhmann

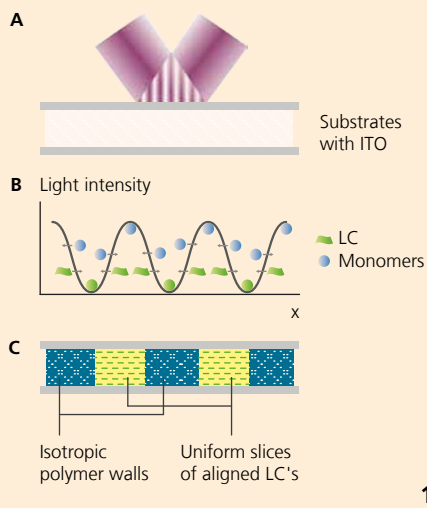
Telefon +49 30 6392 - 2034  
 Fax +49 30 6392 - 2065  
 ralf.ruhmann@iap.fraunhofer.de

### 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 »Thermotrope  
Hochleistungsfüllstoffe«,  
FKZ 0329820H



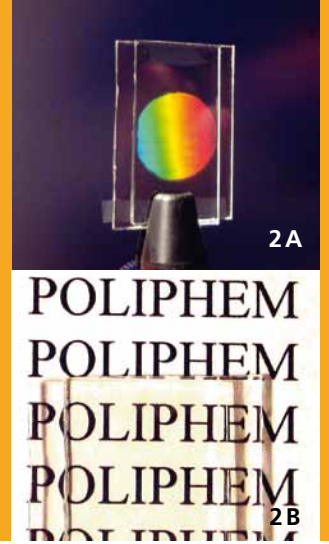
1

### 1 Holographic recording of volume diffractive gratings in polymer-LC material:

(A) Exposure of an initial mixture to UV or vis interference pattern.

(B) Photopolymerization induced phase separation of polymer and nematic LCs and planar alignment of LCs.

(C) Uniform polymer-LC grating: Sequence of aligned LC layers separated by isotropic polymer walls.



## Elektrisch einstellbare diffraktiv-optische Elemente auf Basis von Flüssigkristall-Kompositen

Schaltbare bzw. einstellbare Diffraktionsgitter auf Flüssigkristallbasis sind Schlüsselemente elektro-optischer Dünnschichtkomponenten in Spektroskopie, Licht-Management und optischen Kommunikationsnetzen. Um die Nachteile elektrisch schaltbarer h-PDLC (holographic Polymer Dispersed Liquid Crystal) Elemente zu überwinden, deren Anwendung durch die Lichtstreuung mikrometergroßer LC-Droplets eingeschränkt ist, wurde am Fraunhofer IAP ein neuer Typ elektrisch schaltbarer Gitter entwickelt, der sich durch eine dropletfreie Morphologie auszeichnet [1,2]. Das dafür entwickelte Kompositmaterial besteht aus reaktiven Monomeren, die durch verschiedenartige Photopolymerisationsreaktionen vernetzt werden, nematischen Flüssigkristallen und einem Photoinitiator. Die Bestrahlung der zunächst homogenen Filme bewirkt eine durch Photopolymerisation induzierte Phasenseparation in vernetzte Polymer- und Flüssigkristallbereiche. Durch Interferenzbelichtung entsteht bei Raumtemperatur in einem Schritt eine periodische Gitterstruktur alternierender Polymerwälle und Kanäle planar orientierter Flüssigkristalle. Die Lichtintensität bestimmt dabei die Balance zwischen Photopolymerisation und gegenläufiger Diffusion, wobei die Vernetzung der reaktiven Monomere in den belichteten Regionen erfolgt, während die Flüssigkristalle in die dunklen Areale diffundieren und planar orientiert werden.

Im Gegensatz zu h-PDLC-Gittern führt die einheitliche dropletfreie Morphologie zu Beugungseffizienzen bis zu 99 Prozent bei hoher Transparenz im OFF- und ON-Schaltzustand. Da die Flüssigkristalle keine Droplets, sondern orientierte Flüssigkristall-Kanäle ausbilden, bewirkt bereits das Anlegen einer Spannung von einiger  $V/\mu\text{m}$  eine Umorientierung des LC-Direktors und damit ein Ein-/Ausschalten des diffraktiven Gitters. Die neuen, sich durch Phasenseparation selbst verstärkenden holographischen Materialien führen zu:

- Volumengittern mit Beugungseffizienzen bis 99 Prozent im Bereich von 330 bis 850 nm bei einer Schichtstärke von 10–20  $\mu\text{m}$
- voll-optischer Strukturierung durch UV- oder VIS-Licht in einem Schritt bei Raumtemperatur
- senkrechten oder geneigten, 1D-Gittern
- Gitterperioden von 250 nm–10  $\mu\text{m}$
- exzellenter optischer Qualität, starker Polarisationsabhängigkeit, Brechzahlkontrast bis 0,06
- elektrischen ON/OFF-Schaltzeiten von einigen zig  $\mu\text{s}$  bis ms bei Spannungen von einigen  $V/\mu\text{m}$ .

Ziel des gegenwärtigen ZIM-Projektes ELSTER ist die Anwendung dieser elektrisch schaltbaren diffraktiven Elemente in verschiedenen Feldern optischer Technologien, so als Schaltelement, Beamsplitter, Koppler oder Polarisationselement für die Spektroskopie, Wellenleiter-, Display- oder Lasertechnologie. Auf Basis farbstoffdotierter Polymer-LC Gitter wurden DFB-Laser mit Laserschwelen von 1  $\mu\text{J}/\text{Puls}$  bei 532 nm und einer Linienbreite von 1 nm entwickelt. Bei Variation der Gitterperiode von 370 nm zu 405 nm konnte die Laserwellenlänge um 50 nm verschoben werden [3]. Derartige diffraktive oder photonische Dünnschichtelemente sind zur weiteren Miniaturisierung und Systemintegration in optischen Technologien von großem Interesse.

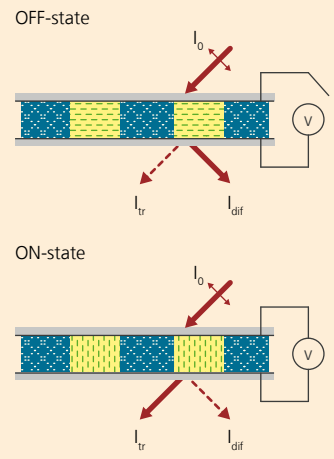
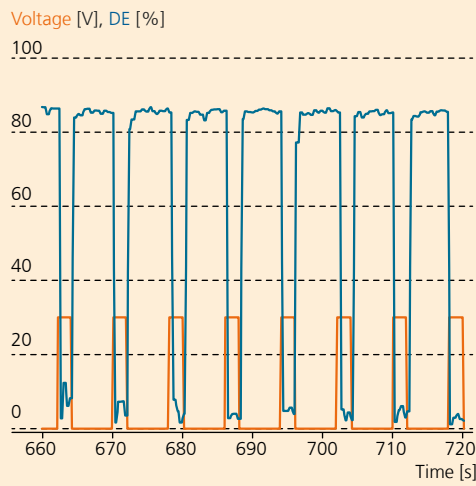
### Literatur Literature

- [1] O. Sakhno, S. Slussarenko, J. Stumpe: *POLIPHEM – new type of nanoscale polymer-LC switchable photonic devices*, Proc. SPIE 5521, p. 38–44 (2004)
- [2] G. Abbate, F. Vita, A. Marino, V. Tkachenko, S. Slussarenko, O. Sakhno, J. Stumpe: *New generation of holographic gratings based on polymer-LC composites: POLICRYPS and POLIPHEM*, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 453, p. 1–13 (2006)
- [3] S. Slussarenko, M. Vasnetsov, G. Abbate, J. Stumpe, O. Sakhno: *POLIPHEM gratings based DFB laser on the second order Bragg diffraction*, In L. M. Blinov, (ed): Liquid crystal microlasers, Kerala: Transworld Research Network, p. 107–127 (2010)



2 High efficiency (A) and non-scattering morphology (B) of new polymer-LC gratings.

3 ON/OFF electrical switching upon application of an electrical field and dependence of diffraction efficiency on applied electric pulses.



3

## Electrically adjustable diffractive optical elements based on liquid crystal composites

Liquid crystal-based switchable or tuneable diffraction gratings are key components in electro-optical thin film devices used in spectroscopy, light-management and optical communication networks. The use of conventional electrically switchable h-PDLC gratings (holographic polymer dispersed liquid crystals) is restricted because  $\mu\text{m}$  sized LC droplets produce light-scattering. In order to overcome this drawback, a new type of switchable holographic grating has been developed at Fraunhofer IAP that is characterized by a droplet-free morphology [1,2]. New photo-curable composites consist of monomers, which undergo different photopolymerization reactions, nematic LCs and photo-initiators. This allows proper holographic structuring conditions to be developed. The combination of the optimized material formulation and pattern-wise one-step interference exposure results in photopolymerization-induced phase separation that forms a stripe-like periodic structure of polymer walls alternating with channels of neat LCs at room temperature. The exposure intensity determines the balance between photopolymerization and diffusion rates so that the crosslinking of the monomers in the bright regions does not prevent LCs from diffusing into the dark regions. Furthermore their planar alignment forms continuous anisotropic LC planes without the formation of LC droplets.

In contrast to h-PDLCs the uniform droplet-free morphology provides a diffraction efficiency of about 99 percent in the whole spectral range from UV up to NIR combined with excellent optical transparency in both electrical OFF and ON field states. Due to the fact that the LCs molecules are 2D-confined and well aligned in uniform stripes rather than in small droplets, the application of an electric field of only a few  $\text{V}/\mu\text{m}$  is enough to reorient the LC director. This switches the grating to a  $\mu\text{s}$  timescale. The new holographic materials are self-amplifying as a result of phase separation and lead to:

- volume Bragg gratings with diffraction efficiencies up to 99 percent in the range of 330–850 nm at a thickness of 10–20  $\mu\text{m}$
- all-optical patterning in one step at room temperature using UV or vis light
- a periodicity of the structures of 250 nm–10  $\mu\text{m}$
- non-slanted and slanted 1D or 2D gratings
- excellent optical quality, strong polarization dependence, refractive index contrast up to 0.06
- ON/OFF switching times that are tens of  $\mu\text{s}/\text{ms}$  at voltages of a few  $\text{V}/\mu\text{m}$ .

The aim of the ongoing ZIM project ELSTER focuses on the industrial application of these electrically switchable diffractive elements in different optical technology fields. This includes beam switchers, splitters and steering elements, light in/out couplers, polarization valves for spectroscopy, wave guiding, displays and laser technologies. Moreover, based on dye doped gratings, distributed feedback lasers were developed with a threshold of 1  $\mu\text{J}/\text{pump pulse}$  at 532 nm and a line width of 1 nm. By varying the grating period, a spectral tuning of the laser output of about 50 nm was achieved [3].

## 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

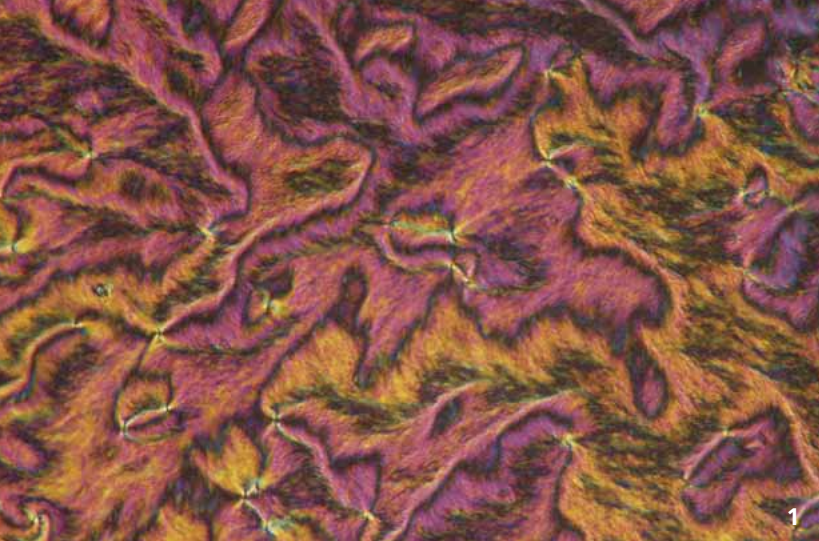
Telefon +49 331 568-1259  
 Fax +49 331 568-3259  
 joachim.stumpe@iap.fraunhofer.de

## Förderung Funding

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, ZIM Kooperationsprojekt ELSTER, FKZ 2302403AB9

## Kooperation Collaboration

- Technische Hochschule (FH) Wildau
- Xetos AG, Hohenbrunn
- LTB Lasertechnik Berlin GmbH, Berlin
- Ray Technologies International GmbH, Valley
- Frank Optic Products GmbH, Berlin



1 Optical texture of the smectic C phase of a fluorescent benzopyranon derivative with regions of broken fan-shaped and Schlieren textures (only 4-point disclinations can be observed).

2 Normalized photoluminescence spectra of selected benzopyranon compounds.

3 Photomicrograph of the nematic phase of a mesomorphic benzopyranon between crossed polarizers with typical marbled and Schlieren textures.

## Entwicklung in-situ-polymerisierbarer lichtemittierender Reaktivmesogene

Die Erzeugung linear polarisierten Lichts erfordert die uniaxiale Orientierung des chromophoren Kerns eines Farbstoffs gemeinsam mit einer Orientierungsmatrix, wie beispielsweise verreckter Polymere oder reaktiver (photovernetzbarer) Flüssigkristalle. Organische Materialien, die co-orientiert werden können, sind dichroitische Farbstoffe. Ein wesentlicher Nachteil ist jedoch die sehr geringe Mischbarkeit dichroitischer Farbstoffe mit Reaktivmesogenen, wodurch die Effizienz der Lichtemission stark limitiert ist. Um die Mischbarkeit zu verbessern, sollten die Farbstoffe ebenfalls flüssigkristalline Eigenschaften aufweisen.

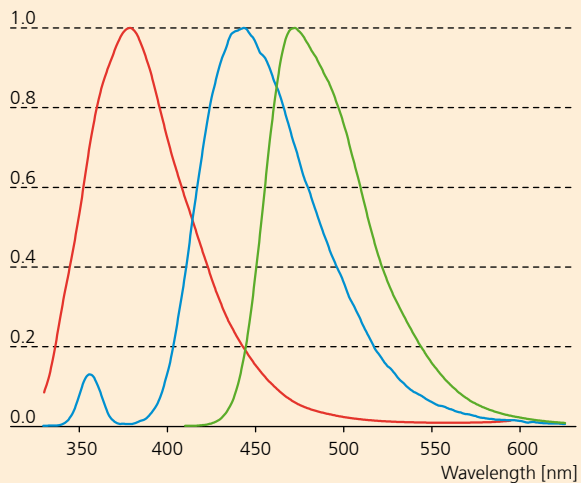
Ein weiteres Problem bei Mischsystemen bestehend aus einer Polymermatrix vernetzter Reaktivmesogene mit niedermolekularen dichroitischen Farbstoffen liegt darin, dass die niedermolekulare Komponente zur Kristallisation tendiert, wodurch es zur Eintrübung der Filme kommt. Weiterhin sind die niedermolekularen Bestandteile nicht wasser- oder lösungsmittelbeständig und werden ausgewaschen. Dadurch erfolgt Ausbleichen oder Verringerung der Leuchtintensität.

Gemeinsam mit einem Industriepartner wurden am Fraunhofer IAP neue flüssigkristalline Fluoreszenzfarbstoffe auf der Basis von Benzopyranon-Chromophoren entwickelt. Charakteristisches Merkmal ist die Anbindung vernetzbarer funktioneller Gruppen am Chromophorgerüst, um dünne Filme der Farbstoffe mit einer co-vernetzbarer LC-Matrix durch in-situ-Photopolymerisation zu stabilisieren.

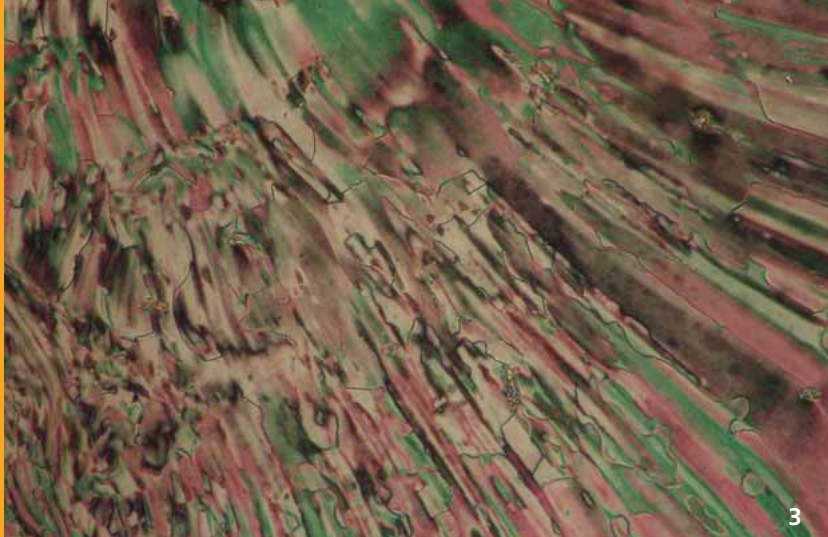
Das thermische Verhalten der Verbindungen wird maßgeblich durch das terminale Substituentenmuster bestimmt. Vertreter mit langer terminaler Alkoxykette zeigen polymorphes Verhalten mit der Phasensequenz  $SmC-SmA-N$  (Fig. 1). Der Einbau eines lateralen Substituenten führt zur Ausbildung ausschließlich einer nematischen Phase (Fig. 3). Weiterhin ist hier eine deutlich ausgeprägte gehinderte Rekristallisationstendenz charakteristisch. Abkühlend bleibt die nematische Phase stabil und kann im Glaszustand eingefroren werden. Die Anbindung verzweigter terminaler Alkylsubstituenten führt zum Verlust flüssigkristalliner Eigenschaften. Hier wird bei Verlängerung des rigiden Kern wieder die Ausbildung einer nematischen Phase beobachtet.

Die Verbindungen zeigen Fluoreszenz im blauen-violetten bis grünen Spektralbereich (Fig. 2). Das Emissionsmaximum kann durch die Konjugationslänge des rigiden Kerns und durch das terminale Substituentenmuster eingestellt werden.

Binäre Mischsysteme mit nematischen Reaktivmesogenen zeigen unbegrenzte Mischbarkeit, sofern die Phasenumwandlungstemperaturen nicht zu stark voneinander abweichen und beide Komponenten eine nematische Phase ausbilden. Für dialkylaminosubstituierte Vertreter wurde auch bei nicht vorhandenen LC-Eigenschaften Mischbarkeit mit Reaktivmesogenen bis zu ca. 10 Gewichtsprozent gefunden. Dieser Wert ist deutlich größer als im Fall kommerzieller dichroitischer Farbstoffe.



2



3

## Development of light-emitting reactive mesogens that can be polymerized in situ

Generating linear polarized light requires a uniaxial orientation of the chromophoric core of a dye and an orientation matrix such as stretched polymers or reactive (photo cross-linkable) liquid crystals. Dichroic dyes are organic materials suitable for co-orientation. However, a major disadvantage of dichroic dyes is their very low miscibility with reactive mesogens, something which strongly limits the efficiency of light emission. In order to improve miscibility, the dyes should exhibit mesomorphic properties as well.

A further problem with mixed systems that are composed of a polymeric matrix of cross-linked reactive mesogens and low molar mass dichroic dyes is the crystallization tendency of the monomeric component. This leads to turbidity of the films. Moreover, the low molar mass components are not water and solvent resistant. The dye is eluted resulting in bleaching and a decrease in the intensity of the light emission.

Fraunhofer IAP developed new liquid crystalline fluorescent dyes based on benzopyranon chromophores in collaboration with an industrial partner. A characteristic feature is a crosslinkable functional group attached to the chromophoric core to stabilize, through in situ photopolymerization, thin films of the dyes in mixtures with a co-crosslinkable LC-matrix.

The thermal properties of the compounds are mainly determined by the terminal substitution pattern. Members with a long terminal alkoxy chain show polymorphic behavior with the phase sequence SmC–SmA–N (Fig.1). The incorporation of a lateral substituent leads to the exclusive formation of a nematic phase (Fig.3). Here, a further feature is the strongly inhibited tendency towards recrystallization. After cooling the nematic phase remains stable and can be quenched in a glassy state. The incorporation of branched terminal alkyl groups leads to the loss of liquid crystalline properties. A nematic phase reappears with elongation of the rigid core.

The compounds show photoluminescence in the blue-violet to green spectral range (Fig.2). The emission maximum can be set by adjusting the conjugation length of the rigid core and the terminal substitution pattern.

Binary mixtures with reactive mesogens exhibit complete miscibility provided that the phase transition temperatures do not deviate much from one another and that both components display a nematic phase. Even non-mesomorphic dialkylamino substituted members are miscible with reactive mesogens up to 10 percent by weight which clearly exceeds the miscibility of commercial dichroic dyes.

## Kontakt Contact



### Priv.-Doz. Dr. Dietmar Janietz

Telefon +49 331 568-1150

Fax +49 331 568-3910

dietmar.janietz@iap.fraunhofer.de

### Förderung Funding

- SYNTHON Chemical GmbH, Wolfen
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, The Netherlands, FKZ PIP 09002

### Kooperation Collaboration

- SYNTHON Chemical GmbH, Wolfen
- Validus Technologies BV, Eindhoven
- Fontys Hogescholen, Eindhoven
- Technische Universiteit Eindhoven



1 Collagen cell carrier with orange phosphorescing microprobes.

2 3D-plot of the oxygen distribution in a cell culture of chondrocytes after 4 days of growth. Every sphere represents one microprobe located within the sample.

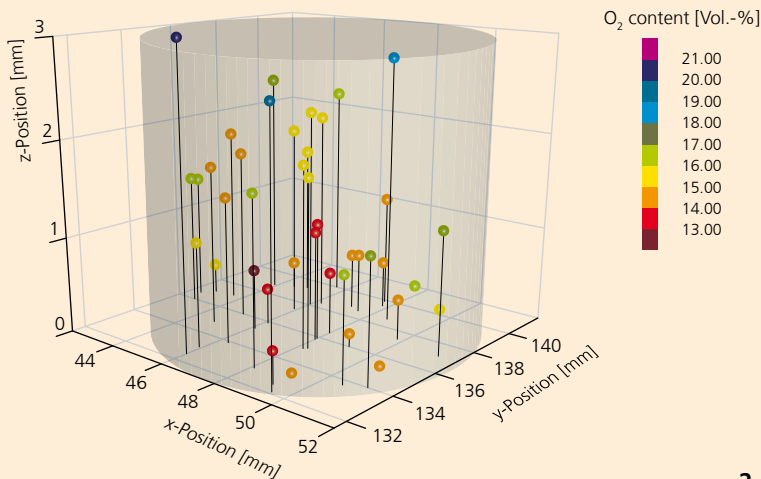
## Ortsaufgelöste optische Sauerstoffmessungen mit phosphoreszierenden Mikrosonden

Als »Gas des Lebens« spielt molekularer Sauerstoff eine überragende Rolle bei allen biologischen Stoffwechselfvorgängen. Ein entscheidender Faktor für die Vermehrung und Differenzierung von (Stamm-)Zellen in Gewebezüchtbioreaktoren ist der Sauerstoffgehalt in ihrer unmittelbaren Umgebung. So bevorzugen Knorpelzellen Sauerstoffarmut, Hautzellen dagegen bevorzugen viel Sauerstoff. Mit der Beobachtung der Konzentration des Sauerstoffs lässt sich das Zellwachstum überwachen und steuern. Bisher wird in bestehenden Reaktoren nur die Sauerstoffkonzentration im Nährmedium überwacht, was allerdings erfahrungsgemäß keine Rückschlüsse auf die Situation im Zellgewebe zulässt. Deshalb ist es sinnvoll, moderne Messverfahren und Sonden zu entwickeln, die den Sauerstoffgehalt im Inneren des Zellträgers erfassen. Um die Strömungsverhältnisse und das Zellwachstum nicht zu beeinflussen, sind nichtinvasive oder zumindest minimalinvasive Messmethoden zu wählen.

Ein Ausführungsbeispiel ist die Verwendung optischer O<sub>2</sub>-Sonden in Form von gefärbten Polymer-Mikrokügelchen, die dem Zellträgermaterial beigemischt werden können (Fig. 1). Sauerstoff wirkt als Phosphoreszenzlöcher, was bedeutet, dass die Signalintensität und die Abklingzeit mit zunehmender Konzentration an Sauerstoff sinken. Eine eigens entwickelte Zwei-Frequenz-Phasenmodulationstechnik ermöglicht eine akkurate Erfassung der Phosphoreszenzabklingzeit in Echtzeit unter Ausblendung störender Untergrundfluoreszenz und restlichen Anregungslichts. Diese Technik erlaubt den Einsatz der Mikrosonden bei wechselnden Signalverhältnissen und in Proben, die streuen und fluoreszieren, beispielsweise in Zellgewebe. Damit ist es möglich, die Sauerstoffkonzentration direkt im Zellträger, nichtinvasiv und aus der Ferne, durch Fenster in Bioreaktoren zu überwachen. Störungen, wie Pilzinfektionen, die ungewöhnliche Änderungen der Sauerstoffkonzentration zur Folge haben, werden dadurch rechtzeitig erkannt. Die Messmethode kann auch verwendet werden, um grundlegende Fragestellungen zur Verteilung des Sauerstoffs in Zellgewebe zu klären. Erstmals wurde die räumliche Sauerstoffverteilung in einem Kollagenzellträger mit Knorpelzellen und darin verteilten kugelförmigen Mikrosonden bestimmt. Unter dem Konfokalmikroskop wurde jede Mikrosonde einzeln fokussiert und ihre sauerstoffabhängige Abklingzeit gemessen. Sind die Position der Mikrokugeln bekannt, lässt sich ein dreidimensionales Bild der Sauerstoffverteilung erstellen (Fig. 2) [1].

### Literatur Literature

[1] D. Steinbrück, E. Schmälzlin, F. Peinemann, M. U. Kumke: *An Innovative Laser-Based Sensing Platform For Realtime Optical Monitoring Of Oxygen*, Proceedings of Joint International IMEKO TC1 + TC7 + TC13 Symposium, Jena (2011)



2

## Spatially resolved optical oxygen measurements using phosphorescent microprobes

Known as the "gas of life", molecular oxygen plays a crucial role in all metabolic processes. The content of ambient oxygen is a decisive factor in the proliferation and differentiation of (stem) cells. Therefore, it is essential to monitor and control oxygen concentrations in bioreactors for three-dimensional tissue engineering. Chondrocytes, for example, prefer low oxygen conditions, whereas skin cells need oxygen-rich environments. The oxygen content is an important parameter for monitoring and controlling the tissue growth in bioreactors. From experience, the oxygen content of the culture medium does not reflect the circumstances within the cell tissue. Hence, it is important to develop advanced measurement techniques and probes which reveal the oxygen concentration within the cell carrier. To avoid interfering with flow conditions and cell growth, non-invasive or at least minimally invasive detection techniques are strongly preferred.

One way of carrying this out is to use optical oxygen probes in the form of dye-doped polymer microspheres which can be added to a cell carrier (Fig.1). Oxygen quenches the phosphorescence of these probes which means that their signal intensities as well as their decay times are reduced if ambient oxygen content increases. A specially developed two frequency phase modulation technique masks interfering fluorescence and residual excitation light and allows the microprobes' phosphorescence decay times to be measured accurately and in real-time. Varying signal intensities, scattering and fluorescence, which may arise from the cell tissue or the medium, will not interfere with the result. In bioreactors, this technique enables non-invasive remote measurements within the cell carriers through windows inserted in the reactor shell. Dysfunction such as fungal infections, which result in abnormal changes in the oxygen concentration, are observed in time. The measuring technique can also be used to study more basic scientific questions about oxygen distribution. For the first time, the spatial distribution of oxygen within a collagen cell carrier containing chondrocytes and spherical microprobes could be determined. A confocal microscope was used to focus every single microprobe to measure its individual decay time. Because the spatial positions of the single probes are known, a three-dimensional pattern of the oxygen concentration can be assembled (Fig. 2) [1].

## Kontakt Contact



**Dr. Elmar Schmäzlin**

Telefon +49 331 58187-540

elmar.schmaelzlin@iap.fraunhofer.de

### Förderung Funding

– Colibri Photonics GmbH, Potsdam

### Kooperation Collaboration

– Universität Potsdam

– Biotechnologisch-Biomedizinisches Zentrum der Universität Leipzig

– Medizinische Hochschule Hannover

# SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK

## SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

- 64** **Synthese und Polymertechnik**  
Synthesis and polymer technology
- 68** **Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 70** **Optimierte HPLC-Methode zur Bestimmung  
des Restmonomer-Gehaltes von Polylactid**  
Optimized HPLC method for determination  
of residual monomer content in polylactide
- 72** **Polylactid der zweiten Generation: Ein alternativer  
Weg zur Synthese von Stereoblock-Polylactid**  
Second generation polylactide: An alternative route  
for the synthesis of stereoblock-type polylactide



pioneers in polymers



# SYNTHESE UND POLYMERTECHNIK

## Entwicklung der FuE-Strategie des Forschungsbereichs

Das Gleichmaß an stofforientierter und technologiegetriebener Forschung ist seit der Neuprofilierung des Forschungsbereiches in 2007 Grundlage der strategischen Ausrichtung. Neben Forschungsarbeiten zur Entwicklung von biobasierten Kunststoffen steht die Synthese neuer erdölbasierter Polymersysteme für spezifische Anwendungen genauso im Fokus wie Entwicklungsarbeiten zu klassischen Polymersystemen mit dem Ziel einer umweltfreundlicheren Performance. Parallel werden neue Polymersyntheseprozesse mit Blick auf Effizienz entwickelt, oder klassische Syntheseprozesse analysiert und optimiert. Und, mit gleichem Stellenwert beschäftigen wir uns mit der Entwicklung und Einführung neuartiger Technologien im Bereich Polymerpartikelbildung. Neben der Fortschreibung dieser erfolgreichen FuE-Ziele sind 2011 neue Arbeitsrichtungen, die das Forschungsportfolio des Forschungsbereichs in sinnvoller Weise ergänzen, identifiziert worden. Als neues Forschungsgebiet wird deshalb die Membrantechnologie im Forschungsbereich etabliert und mit Blick auf Marktnähe werden wir eine Projektgruppe »Biopolymeranwendungen« am BASF-Standort Schwarzheide entwickeln. Für die Entwicklung dieser Projektgruppe sind von der BASF entsprechende Räumlichkeiten auf Mietbasis bereitgestellt worden, und die Realisierung der apparativen Ausstattung erfolgte über eine Zuwendung von Fördermitteln durch das Land Brandenburg.

## Biobasierte Polymersysteme

Durch Biokonversion von Agrarrohstoffen, chemisch-katalytische Prozesse oder durch Kombination beider Verfahren sind Ausgangsstoffe für die Herstellung biobasierter Kunststoffe zugänglich. Dabei ist unter unterschiedlichen Gesichtspunkten für die Synthese der Monomerbausteine die biotechnologische/chemische Konversion von Polysacchariden (und hier speziell Holz als Rohstoff) der bevorzugte Darstellungspfad. Einerseits ist Holz hinsichtlich der Nutzbarkeit einer breiten Artenvielfalt und seiner mengenmäßig extrem hohen Verfügbarkeit praktisch die einzig reelle Ressource für den Rohstoffersatz in Massenkunststoffen und andererseits ist es ein Rohstoff, der sich in keiner Konfliktsituation zur Nahrungsgüterwirtschaft befindet.

Die industrielle Einführung biotechnologischer Rohstoffe für die Synthese von Kunststoffen ist heute am weitesten bei der Herstellung und Verarbeitung von Poly-L-Lactid (PLA) fortgeschritten. Mit einer Jahresproduktion von etwa 150kT beherrscht NatureWorks (USA) nach wie vor allein den Markt mit thermoplastisch verformbaren und biologisch abbaubaren Kunststoffen insbesondere für den Verpackungsbereich. In den vergangenen Jahren sind jedoch mit der Inbetriebnahme von Pilot- oder Demonstrationsanlagen weltweit bemerkenswerte Aktivitäten auf diesem Gebiet vorangebracht worden (PURAC (NL), Galactic (BE), Teijin (JP), oder HiSun (CN)). Beachtenswert ist hierbei auch, dass mit der beginnenden Industrialisierung einer effizienten biotechnologischen Herstellung von D-Milchsäure gegenwärtig entscheidende Voraussetzungen geschaffen werden, um die Materialeigenschaften von PLA deutlich verbessern und daneben variabler gestalten zu können.

Die Uhde Inventa-Fischer GmbH (UIF) hat die 2010 am Standort Guben errichtete PLA-Demonstrationsanlage in 2011 erfolgreich in Betrieb genommen. In Kooperation mit UIF wurden und werden eigene FuE-Arbeiten schwerpunktmäßig auf Fragestellungen fokussiert, die auf attraktive Applikationsrichtungen von PLA-Typen der zweiten Generation mit verbesserten Gebrauchseigenschaften zielen. Im Mittelpunkt stehen dabei Untersuchungen zur Steuerung der Polymerstruktur, beispielsweise über die Synthese maßgeschneiderter sc- und sb-PLA-Typen oder Hybride mit synthetischen Polymeren. Mit Hilfe einer Investitionsfördermaßnahme durch das Land Brandenburg konnte im Fraunhofer IAP eine diskontinuierliche Miniplant-Syntheselinie für entsprechende Entwicklungsziele errichtet werden, deren technologische Schritte im wesentlichen an die UIF-Technologie angepasst sind. Mit einer Schmelzekristallisationseinheit und einer Dünnschichtverdampferanlage sind darüber hinaus innovative Technologien in den Prozess implementiert worden, die die Grundlage für die angestrebten neuartigen Materialeigenschaften bilden.





### **Partikelanwendungen**

Die im Forschungsbereich verfügbaren Kompetenzen im Bereich der Partikeltechnologie – Mikroverkapselung von Wirkstoffen und Additiven sowie Synthese und Design funktionaler Latexpartikel – konnte auch im Jahr 2011 vielfältig genutzt werden. Dabei zeigte sich einmal mehr das nach wie vor hohe Potenzial von Kapseln und Partikeln vom  $\mu\text{m}$ - bis in den nm-Bereich in den verschiedensten Anwendungen. In den Bereichen Mikroverkapselung von Geruchs- und Geschmacksstoffen für Anwendungen im Life Science Bereich wurden laufende Projekte ebenso fortgesetzt wie die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur aktuellen Thematik »Selbstheilung von Oberflächen bzw. Oberflächen mit reduziertem Reibungskoeffizienten«. Weitere Projekte beinhalteten die Entwicklung eines neuen Klebstoffsystems für Papieranwendungen, die Mikroverkapselung einer thermochromen Farbstoffformulierung, die Mikroverkapselung von Pestiziden für Anwendungen in der Land- und Forstwirtschaft sowie die Mikroverkapselung von Enzymen für Anwendungen in Wasch- und Reinigungsmitteln.

Die im Jahr 2009 in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAO gegründete Technologieplattform Mikroverkapselung zur Verbesserung des Technologietransfers von Verkapselungsverfahren und Kapselapplikationen in die Wirtschaft konnte etabliert und durch die Gewinnung neuer Teilnehmer verstärkt werden. Die aktuell 15 teilnehmenden Unternehmen erhalten im Rahmen der Plattform einen kompakten Einblick in neueste Entwicklungen auf diesem Gebiet. Ergänzend hierzu fand im Oktober 2011 in Berlin ein zweitägiger Kongress unter dem Motto »The Industrial Partnering Event in Microencapsulation TECHNOLOGIES« (IPEMTECH) statt. Ziel des Kongresses war ein branchenübergreifender Wissenstransfer im Bereich Mikroverkapselung. Die Vorträge beinhalteten aktuelle Entwicklungen im Bereich der Mikroverkapselung, den Transfer der Forschungsergebnisse vom Labor- in den technischen Maßstab sowie Open-Innovation-Themen. Klein- bzw. mittelständische Unternehmen hatten die Möglichkeit, neue Technologien im Bereich der Mikroverkapselung vorzustellen. Ergänzt wurde die Veranstaltung durch vorab vereinbarte persönliche Gespräche zwischen den Teilnehmern.

Die ca. 100 überwiegend in Industrieunternehmen tätigen Teilnehmerinnen und Teilnehmer bewerteten die Konferenz als sehr gelungen und würdigten insbesondere die guten Möglichkeiten zur Knüpfung neuer Kontakte und Netzwerkbildung.

### **Membrantechnologie**

Membranen und Membrantrennverfahren werden mit jährlichen Zuwachsraten von ca. 9 Prozent immer stärker in der Industrie eingesetzt. Neue, in Fluss, Selektivität, Beständigkeit verbesserte Membranen werden Trennprozesse kostengünstiger oder überhaupt ökonomisch und damit im Industriemaßstab durchführbar machen. 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, die im Herbst 2011 mit der Planung der notwendigen technischen Ausrüstungen gestartet wurden. Aus der Vielzahl von Membrantrennverfahren werden Anwendungen ausgewählt, für die einerseits das Membranangebot noch nicht ausreichend, andererseits aber ein überdurchschnittliches Wachstumspotential zu erwarten ist. Deshalb fokussieren die Forschungsarbeiten der Membrangruppe zunächst auf die Entwicklung neuartiger Flachmembranen für Nanofiltration und Gastrennung.

Flachmembranen können als integral-asymmetrisch Membranen oder als Kompositmembranen ausgeführt werden. Integral-asymmetrische Membranen bestehen aus einem Material, das durch den Herstellungsprozess in einem Verfahrensschritt produziert wird. Die Asymmetrie besteht in der Zunahme der Porosität von der Oberseite (trennaktive Schicht) zur Unterseite der Membran. Die Oberseite kann dabei porös sein oder aus einer nicht-porösen, dichten Schicht der gleichen Polymere bestehen. Bei Kompositmembranen wird in einem ersten Schritt eine geeignete, meist poröse Membran als Träger für die Trennschicht hergestellt. Diese wird in einem zweiten Schritt mit dem in der Regel porenfreien, eigentlichen Trennmaterial beschichtet.

Die zukunftssträchtigen Applikationsrichtungen verlangen die Lösung sehr unterschiedlicher, anspruchsvoller polymerchemischer und verarbeitungstechnischer Aufgabenstellungen, um den jeweiligen Leistungsanforderungen gerecht zu werden.

# SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

## **Development of the research division's R&D strategy**

A balance between material research and technology research forms the basis of our division's strategy since its re-profiling in 2007. In addition to developing bio-based plastics, we are focusing on the synthesis of new petroleum-based polymer systems for special applications, as well as on the development of classic polymer systems that are more environmentally friendly. At the same time, new efficient polymer synthesis processes are being developed and classic synthesis processes are being analyzed and optimized. We are placing just as much emphasis on developing and rolling out innovative technologies in the field of polymer particle formation. In addition to continuing to work towards these successful R&D goals, new fields of activity were identified in 2011 that fit well into our research division's portfolio. Membrane technology is one such area of research which is currently being established and, in light of market proximity, we are developing a project group entitled "Biopolymer Applications" at the BASF site in Schwarzheide. To develop the project group, BASF has provided rented space and equipment has been acquired through funding granted by the state of Brandenburg.

## **Bio-based polymer systems**

The raw materials used to produce bio-based plastics can be obtained through the bio-conversion of agricultural raw materials, chemical-catalytic processes or a combination of both. The biotechnological/chemical conversion of polysaccharides (in particular the use of wood as a raw material) is favored for the synthesis of monomer building blocks for several reasons. For one thing, wood is practically the only real resource that can act as a substitute raw material in mass-produced plastics because of its biodiversity and because it is so widely available. For another, it is a raw material which is not in conflict with the food industry.

The use of biotech raw materials on an industrial scale for the synthesis of plastics is most advanced in the area of poly-L-lactide (PLA) production and processing. With an annual production volume of around 150kT, NatureWorks (USA) still has control of the market with moldable thermoplastics and biodegradable plastics used primarily for packaging. However, in the past few years, with the start-up of pilot and demonstration plants around the world, notable progress has been made in this area (PURAC in the Netherlands, Galactic in Belgium, Teijin in Japan, and HiSun in China). Remarkably, since the start of efficient biotech production of D-lactide on an industrial scale, key prerequisites are being established that can greatly improve the material properties of PLA and make them more variable.

In 2011 Uhde Inventa-Fischer commenced operation of its PLA demo-plant which was constructed at its site in Guben in 2010. In partnership with UIF, we have been concentrating on attractive areas of application for second generation PLA types that have better performance characteristics. At the heart of our research is our investigation into controlling the polymer structure, for instance, through the synthesis of customized sc- and sb-PLA types or hybrids with synthetic polymers. With the support of funding measures from the state of Brandenburg, Fraunhofer IAP was able to set up an intermittent mini plant synthesis line to meet these development objectives. Its technological steps are largely adapted to UIF technologies. In addition, innovative technologies have been implemented in the process which include a melt-crystallization unit and a thin-film evaporator. These technologies form the basis of the new sought-after material properties.

### Particle applications

In 2011 the research division was able to take advantage of its know-how of particle technology which includes the micro-encapsulation of active ingredients and additives and the synthesis and design of functional latex particles. Once again the great potential of capsules and particles in the  $\mu\text{m}$  to nm range for various applications was apparent. Projects continued in the area of microencapsulation of odor and flavor substances for life science applications as well as research and development work on the current topic "Self-healing surfaces and surfaces with reduced coefficients of friction". Other projects looked into the development of new adhesive systems for paper applications, the microencapsulation of a thermochromic dye formula, the microencapsulation of pesticides for agricultural and forestry applications and the microencapsulation of enzymes for detergents and cleaning products.

The technology platform "Microencapsulation" aiming at improving the technology transfer of encapsulation processes and capsule applications in industry and founded in 2009 together with Fraunhofer IAO, has taken root and has been strengthened by new participants. This platform gives the 15 companies currently taking part a compact overview of the latest developments in this field. This was supplemented by a two-day conference in Berlin in October 2011 entitled "The Industrial Partnering Event in Microencapsulation TECHNOLOGIES" (IPEMTECH). The aim of the conference was a pan-industry transfer of knowledge in the area of microencapsulation. Lectures dealt with current developments in the area of microencapsulation, transfer of research findings from lab to technical scale and open innovation topics. SMEs had the opportunity to present new technologies in the area of microencapsulation. The event was supplemented by pre-arranged talks between participants. The 100 or so participants, primarily from industry, found the conference to be very successful and highly valued the opportunities it offered for making new contacts and forming networks.

### Membrane technology

Membranes and membrane separation processes are growing at rate of 9 percent annually and are being used more and more by industry. New membranes that have improved flow, selectivity and stability will make separation processes cheaper and more cost-effective so that they can be conducted on an industrial scale. The positive market development in the past decade, and most importantly, the accepted research and development potential of membrane technology were the driving force behind the establishment of research activities in this field. These began with the planning of the necessary technical equipment in the autumn of 2011. From the numerous membrane separation processes, applications were selected for which there are insufficient membranes or for which an above-average growth is expected. Therefore the membrane group's research work has focused first on developing innovative flat membranes for nanofiltration and gas separation.

Flat membranes can be designed as integral asymmetric membranes or composite membranes. Integral asymmetric membranes consist of a material that is produced in a one-step process as part of the manufacturing process. The asymmetry is achieved by an increasing porosity from the upper surface (active separation layer) to the bottom surface of the membrane. The surface can be porous or consists of a non-porous, dense layer of the same polymers. With composite membranes, the first step is to produce a suitable, mostly porous membrane as a carrier for the separating layer. This is coated in a second step with the actual, usually pore-free, separation material.

These seminal applications require finding solutions to different and challenging polymer and processing problems in order to satisfy the respective performance requirements.

# 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
- 

## 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

## Particle applications

### Particle synthesis

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

### Characterization

- degradation and dissolution 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 mikroporosity (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

Microencapsulation

### 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

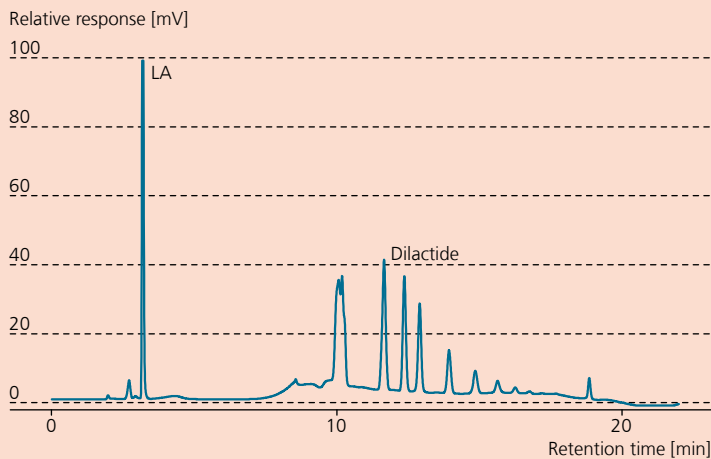
Telefon +49 331 568-1515  
Fax +49 331 568-3000  
detlev.fritsch@iap.fraunhofer.de

### Anwendungszentrum Biopolymere

Application Center Biopolymers

### Dr. Mathias Hahn

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



1 Chromatogram of a sample containing lactic acid (LA), dilactide and lactic acid oligomers.

2 Autosampler tray with sample vials .

1

## Optimierte HPLC-Methode zur Bestimmung des Restmonomer-Gehaltes von Polylactid

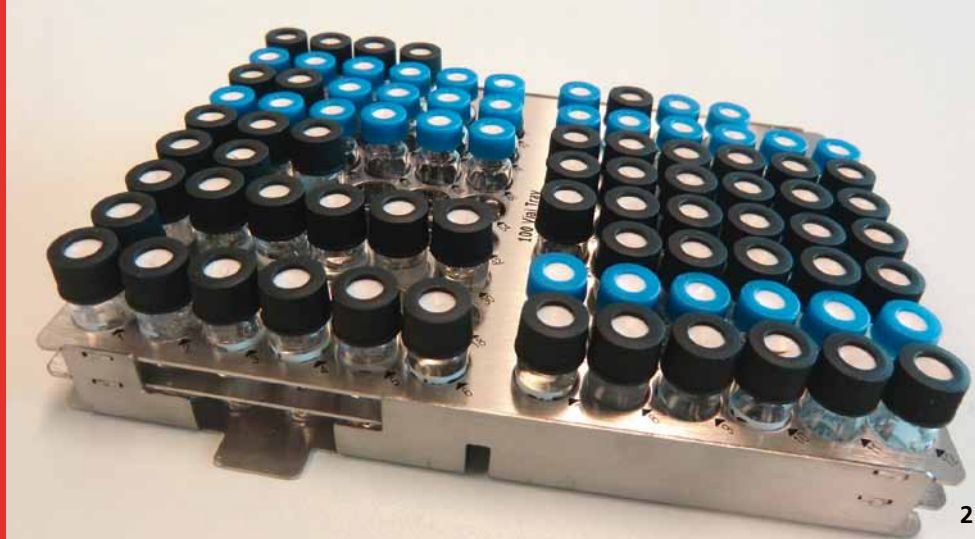
Im Polylactid (PLA) verbleibende Monomerreste – insbesondere Dilactid – können einen negativen Einfluss auf die Eigenschaften des Polymers haben. So ändern sich etwa die mechanischen Eigenschaften sowie die Geschwindigkeit des durch Hydrolyse bedingten Abbaus. Die Stabilität der Polymere nimmt im Vergleich zu monomerfreien Polymeren ab, da die Monomere als Weichmacher fungieren. Ebenso findet man eine erhöhte Abbaurate. Außerdem ist ein Einfluss auf die thermische Stabilität des PLA feststellbar. Bei der Weiterverarbeitung in der Schmelze, z. B. mittels Schmelzspinnverfahren, kann dies negative Auswirkungen haben. So kann es zu einem frühzeitigen Abbau des Polymers schon während der Verarbeitung sowie zu einer verkürzten Lebensdauer der daraus hergestellten Endprodukte kommen.

Für einen gezielten Einsatz und eine genaue Aussage zur Stabilität von PLA-Produkten ist es daher von großem Interesse, den Gehalt an Restmonomeren in den verwendeten Polymeren zu kennen. Hierfür stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Für eine Bestimmung mittels HPLC muss zunächst das Monomer isoliert werden. Zu diesem Zweck werden die PLA-Proben in Chloroform gelöst und mit Ethanol gefällt. Die resultierende Probenlösung wird abgetrennt und der Rückstand mit Ethanol nachgewaschen. Die so gewonnene Lösung von Oligomeren der Milchsäure wird am Rotationsverdampfer eingedunstet und der verbleibende Rückstand in Acetonitril aufgenommen. Die erhaltene Probenlösung wird über einen Spritzenfilter gereinigt und abschließend mittels HPLC analysiert.

Die entwickelte HPLC-Methode zeichnet sich im Vergleich zu anderen in der Literatur beschriebenen Methoden durch eine gute Auftrennung der einzelnen Probenbestandteile (wasserlösliche Komponenten des PLA) bei einer kurzen Analysenzeit (22 min) aus. Auf diese Weise kann eine optimale Ausnutzung aller erforderlichen Ressourcen erreicht werden.

Die optimierte Methode hat eine Nachweisgrenze von 0,005 g Dilactid/L in der Probenlösung. Für die Bestimmungsgrenze ergab sich ein Wert von 0,02 g Dilactid/L.

Die Messergebnisse der HPLC-Methode wurden mit denen der GC-MS verglichen. Bei der GC-MS gestaltet sich die Probenvorbereitung (Isolierung der Monomeren) weniger aufwendig. Nachteilig ist hingegen, dass mit einer Messung nicht alle Bestandteile der Probe analysiert werden können. Die HPLC-Analyse ermöglicht mit einer Messung die Bestimmung des Gehalts an Dilactid sowie Aussagen zu enthaltener Milchsäure und Milchsäure-Oligomeren. Ein Vergleich der Messwerte beider Methoden zeigt, dass es bei Dilactid-Gehalten über 1,5 Prozent eine gute Übereinstimmung gibt. Bei niedrigeren Dilactid-Gehalten ist der Fehler bei der HPLC-Methode größer. Die Ursache hierfür ist vermutlich in der erforderlichen Probenaufarbeitung zu suchen, bei der es noch Optimierungsbedarf gibt.



## Optimized HPLC method for determination of residual monomer content in polylactide

Residual monomer content in polylactide (in particular dilactide) can have a negative impact on a polymer's properties. For instance, the mechanical properties may decrease and the rate of degradation caused by hydrolysis may accelerate. There may be a reduction in the stability of the polymer compared to monomer free polymers because the monomers act as softening agents. Furthermore, effects on the thermal stability of PLA can be observed. This can have a negative impact on further melt processing technologies, for example melt spinning. There may be premature degradation of the polymer, even in the processing stage, as well as a shortened lifetime of end products that are based on PLA. It is important to know the residual monomer content in polymers in order to determine their specific application purpose and to predict the stability of the PLA-based products.

Different methods are available to determine the residual monomer content of PLA including HPLC and GC-MS. HPLC requires the monomers to be isolated prior to analysis. To do this, the PLA samples are dissolved in chloroform and precipitated by ethanol. The resulting sample solution is separated from the precipitate and washed with ethanol. The solvent of the extracted solution has to be removed, e. g. by a rotary evaporator. The remaining material (lactic acid, dilactide and lactic acid oligomers) is dissolved in acetonitrile. The resulting sample solution is purified in a syringe filter and then analysed using HPLC.

In comparison to other methods described in literature, the HPLC method that has been developed reveals an excellent separation of the individual sample components (water-soluble components of PLA) within a short analysis time (22 min). This enables there to be an optimal utilization of all the necessary resources.

The optimized method has a detection limit of 0.005 g lactide/L in the sample solution. The limit of quantitation was estimated at 0.02 g lactide/L.

The results of the HPLC method were compared to the results of the GC-MS measurements. GC-MS is less complex in terms of sample preparation (isolation of the monomers). On the other hand, the disadvantage is that not all of the monomer components can be analysed in one reading. By applying HPLC, it is possible to determine in one step not only the concentration of lactide but also the lactic acid and lactic acid oligomer content.

A comparison of the results from both methods shows that there is a good correlation between the two methods if the content of lactide is > 1.5 percent. If the lactide content is < 1.5 percent the HPLC method exhibits deviations from the expected findings. This may be the result of the monomers having to be isolated from the polymer samples before the measurement, something which needs further optimization.

## Kontakt Contact



### Dipl.-Chem. Jeanett Köhn

Telefon +49 331 568-1211

Fax +49 331 568-3000

jeanett.koehn@iap.fraunhofer.de

### Dipl.-Ing. Monika Jobmann

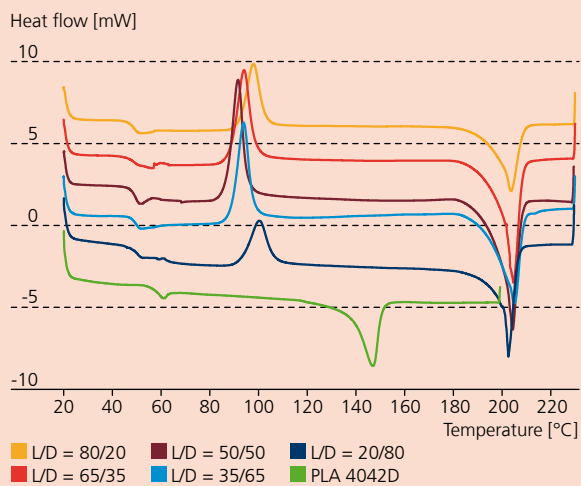
Telefon +49 331 568-1213

Fax +49 331 568-3000

monika.jobmann@iap.fraunhofer.de

### Kooperation Collaboration

– Dr. Hendrik Wetzel, Fraunhofer IAP



**1** DSC traces of copolymers with variable composition synthesized by reactive extrusion at 215 °C in comparison with NatureWorks PLA 4042D; heating phase of 1<sup>st</sup> run.

**2** DSC traces of blends with variable composition synthesized at 215 °C; heating phase of 1<sup>st</sup> run.

**3** Mechanical properties and heat distortion temperature of selected samples after tempering at 115 °C.

## Poly lactid der zweiten Generation:

### Ein alternativer Weg zur Synthese von Stereoblock-Poly lactid

Die Erhöhung der Wärmeformbeständigkeit des biobasierten Kunststoffes Poly lactid (PLA) ist eine grundlegende Voraussetzung für die Erweiterung des Applikationspotentials auf neue Felder neben dem medizinischen, pharmazeutischen und Verpackungssektor. Bekannt ist, dass Wärmeformbeständigkeit und Schmelztemperatur in Stereokomplex-PLA (sc-PLA), das in Blends aus beiden enantiomeren Formen (PLLA und PDLA) gebildet wird, deutlich erhöht sind. Im Falle hochmolekularer Blend-Komponenten ist die Ausbildung von sc-Kristallen jedoch durch die Bildung von Homokristallen behindert. In Stereoblock-PLA (sb-PLA), die durch schrittweise Ringöffnungspolymerisation oder Festphasen-Polykondensation hergestellt wurden, werden aufgrund der kovalent verknüpften kürzeren Enantiomerenblöcke bevorzugt sc-Kristalle gebildet.

Als alternative Route zur Synthese von sb-PLA wurde die Bildung von Blockcopolymeren durch Verknüpfung von PLLA- und PDLA-Diolen mit einem Diisocyanat in der Schmelze in einem reaktiven Extrusionsprozess untersucht. Es gelang auf diesem Weg, sb-Copolymere mit variabler Zusammensetzung ausgehend von PLA-Diolen mit einer Molmasse von ca. 20.000 g/mol zu synthetisieren.

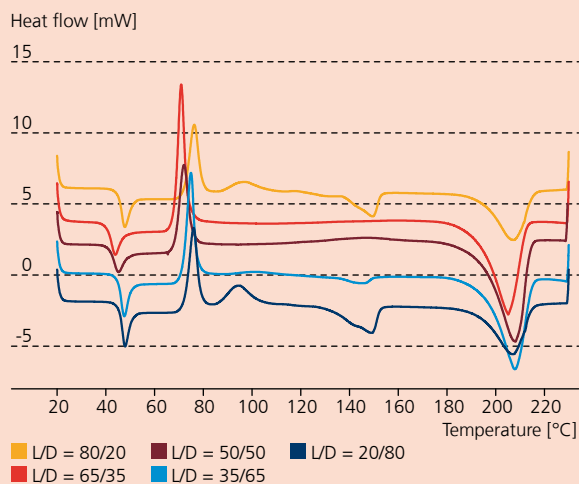
Aus Fig. 1 ist ersichtlich, dass alle sb-Copolymere die Schmelztemperatur von sc-Kristallen (200–210 °C) zeigen, die im Vergleich zu kommerziellem PLLA (hier 147 °C) signifikant erhöht ist. Bei keinem der sb-PLA wurden Homokristalle – die an einem Schmelzpeak bei 140–160 °C detektierbar wären – gebildet. Mit zunehmender Entfernung vom äquimolaren Verhältnis sinkt der Kristallisationsgrad, was sich in der sinkenden Schmelzenthalpie ausdrückt. Das Vorliegen von sc-Kristallen wurde durch WAXS-Untersuchungen bestätigt.

Die thermophysikalischen Eigenschaften der sb-PLA wurden mit denen von Blends (sc-PLA) verglichen, die aus denselben PLA-Diolen durch nichtreaktive Extrusion bei 215 °C hergestellt wurden. Fig. 2 zeigt, dass die Schmelztemperaturen im gleichen Bereich liegen. Auffällig ist, dass bei sc-Blends mit der Zusammensetzung 80:20 bzw. 20:80, im Gegensatz zu entsprechenden sb-PLA, Homokristallisation auftritt.

Die mechanischen Eigenschaften und die Wärmeformbeständigkeit (HDT-B) eines sb-Copolymeren und eines sc-Blends, jeweils mit der Zusammensetzung 50:50, sind in der Tabelle mit denen des kommerziellen NatureWorks-PLA 4042D verglichen. Gegenüber nicht modifiziertem PLLA weisen sowohl sb- als auch sc-PLA eine signifikant höhere Wärmeformbeständigkeit auf. Zugfestigkeit und Bruchdehnung sind verringert, und zwar für sc-PLA erheblich stärker als für sb-PLA. Es ist anzunehmen, dass diese schlechteren mechanischen Eigenschaften für beide Polymere, zumindest teilweise, auf deren deutlich geringere Molmassen im Vergleich zu der des PLA 4042D zurückzuführen sind.

Aufgrund der technisch einfach umsetzbaren Syntheseroute und des erhaltenen Eigenschaftsprofils sehen wir ein erhebliches Anwendungspotential für Stereoblock-PLA wenn es in weiteren Arbeiten gelingt, die Molmasse durch Optimierung des Extrusionsprozesses zu steigern.





2

	$M_n$ [g/mol]	$\delta_{max}$ [MPa]	$\epsilon_{Bruch}$ [%]	E [GPa]	HDT-B [°C]
NatureWorks PLA 4042D	156,300	68.4	5.6	2.41	60
sc-PLA 50:50	*	13.9	0.5	2.48	140
sb-PLA 50:50	64,100	30.8	1.7	2.20	143

\* PLLA:  $M_n = 50,000$  g/mol, PDLA:  $M_n = 20,000$  g/mol

3

## Second generation polylactide: An alternative route for the synthesis of stereoblock-type polylactide

Enhancing the heat distortion temperature of the bio-based plastic polylactide (PLA) is one of the essential requirements for its application in fields other than the medical, pharmaceutical and packaging sectors. Heat resistance and melting temperature are known to be significantly enhanced in stereocomplex type PLA (sc-PLA) formed in blends from a mixture of both of the enantiomeric PLA forms. However, the formation of sc-crystals is hindered by homo crystallization (hc) if the blend-forming components have high molecular weights. In stereoblock type PLA (sb-PLA), synthesized by two-stage ring opening polymerization or solid-state polycondensation, sc-crystallization is favored due to covalently linked shorter enantiomeric PLA blocks.

As an alternative route of synthesizing sb-PLA we explored the formation of block copolymers by coupling PLLA and PDLA diols with a diisocyanate in the melt using a reactive extrusion process. This method enabled us to synthesize sb-copolymers with variable compositions based on PLA diols with a molecular weight of approx. 20,000 g/mol.

As can be seen in Fig.1 all of the sb-copolymers have the melting temperature of sc-crystals (200–210 °C) which is significantly higher than that of commercial PLLA (here  $T_m = 147$  °C). Homo crystals formed in none of the sb-PLA; these would have been detectable at a melting peak of 140–160 °C. As is evident from the decrease in melting enthalpy the degree of crystallization decreases with increasing distance from the equimolar ratio. The existence of sc-crystals was verified by WAXS investigations.

Thermo-physical properties of sb-PLA were compared with those of corresponding blends (sc-PLA) prepared from the same PLA diols using non-reactive extrusion at 215 °C. Fig. 2 shows the melting temperatures of sc-PLA appearing in the same temperature range as that of sb-PLA. It is particularly striking that sc-blends with enantiomeric ratios of 80:20 and 20:80 respectively exhibit homo crystallization in contrast to the corresponding sb-PLA.

The table compares the mechanical properties and heat distortion temperature (HDT-B) of a sb-copolymer and a sc-blend, both with a 50:50 ratio, with those of the commercial PLA 4042D from NatureWorks. Both sb- and sc-PLA show a significantly higher heat deflection than the non-modified PLLA. On the other hand, tensile strength and elongation at break have lower values, especially for sc-PLA. It can be assumed that the poorer mechanical properties are the result, at least in part, of their substantially lower molecular weights compared to that of PLA 4042D.

Due to the technical feasibility of the synthesis route and the property profile obtained, we believe there is a high application potential for stereoblock type PLA if its molecular weight can be increased through optimization of the extrusion process.

## Kontakt Contact



**Dr. Elke Mitzner**

Telefon +49 331 568 - 1214  
Fax +49 331 568 - 3000  
elke.mitzner@iap.fraunhofer.de

**Dr. Antje Lieske**

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

## Förderung Funding

– Fachagentur Nachwachsende  
Rohstoffe e.V., FNR, FKZ 22015007

## Kooperation Collaboration

– Uhde Inventa-Fischer GmbH, Berlin

# **WASSERBASIERENDE POLYMERSYSTEME WATER-BASED POLYMER SYSTEMS**

- 76 Polymere und Wasser –  
ein fruchtbares Spannungsfeld**  
Polymers and water –  
a successful combination
- 80 Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 82 Anti-Graffiti-Beschichtungen für Baudenkmäler**  
Anti-graffiti coating for historic monuments
- 84 Biomaterialien für die Medizintechnik**  
Biomaterials for medical engineering
- 86 Neue Flockungsmittel für »schwere Fälle«**  
New flocculants for special applications



pioneers in polymers



# POLYMERE UND WASSER – EIN FRUCHTBARES SPANNUNGSFELD

Mit Polymeren assoziieren wir in der Regel moderne Werkstoffe und Anwendungen als Festkörper. Aber auch im Zusammenspiel mit einer Flüssigkeit wie Wasser haben Polymere nicht nur Vieles, sondern auch Besonderes zu bieten. Ein Großteil der biologischen Materie besteht aus Polymeren und entsprechend spielen Polymere in den Bereichen Bio- und Lebensmitteltechnologie, Haushalt, Körperpflege und Kosmetik, Pharmazie wie auch in der Medizintechnik eine wichtige Rolle. Das gilt gleichermaßen für Polymere natürlicher oder biomimetischer wie auch rein synthetischer Herkunft. Auch im Wassermanagement, dessen Bedeutung zunehmend wichtiger wird, fällt Polymeren eine Schlüsselrolle zu, sei es zur Reinigung und Aufbereitung, sei es zum Transport und zur Auf- bzw. Abgabe von Wasser. Umgekehrt ist Wasser wegen seiner speziellen Eigenschaften ein unverzichtbares Löse- und Dispergiermittel für viele technische Prozesse und Produkte. Sowohl sicherheitstechnisch als auch ökologisch und ökonomisch sind wässrige Systeme gleich vorteilhaft für die Herstellung, Verarbeitung und Anwendung von Polymeren. Denn Wasser vereint eine Reihe günstiger Eigenschaften in sich, wie Ungiftigkeit, Unbrennbarkeit, Recyclingfähigkeit, große Ressourcen und niedriger Preis. Weit über die Bereiche, zu denen es wegen des spezifischen Eigenschaftsprofils zu Wasser ohnehin keine Alternativen gibt, etablieren sich deshalb wasserbasierende Polymersysteme immer mehr als vorteilhafter Ersatz von Systemen, die organische Lösemittel enthalten.

## **Spektrum wasserbasierende Polymersysteme**

Der Forschungsbereich beschäftigt sich mit dem Gebiet der wasserbasierenden Polymersysteme in großer Breite. Sie bieten zusätzlich zu den inhärenten Systemen, die in wässriger Lösung angewandt werden, eine ganze Palette weiterer Möglichkeiten. Neben Polymeren, die aus Wasser appliziert werden, deren Endverbleib aber nicht-wässrig ist, hat sich Wasser in vielen an sich wasserunlöslichen Systemen als temporäres Verarbeitungs- oder Dispergiermittel bewährt. So steht neben Anwendungen wie z. B. als Hydrogele, Flockungsmittel, Viskositätsregler, Löslichkeitsvermittler, Emulgatoren, Waschhilfsstoffe, Entschäumer, Ionenaustauscher oder Wasser-

enthärter auch der Einsatz wasserbasierender Polymersysteme als Papierchemikalien, Haarpflegemittel, Lacke, Klebstoffe, Photoresists, oder Betonhilfsmittel sowie als Polymerkolloide und Latices oder Depot- und Verkapselungsmaterialien. Das weite Feld der wasserbasierenden Polymersysteme wird durch die vielen Systeme erweitert, die in Kontakt mit Wasser eingesetzt werden. Hier sind vor allem Polymersysteme zu nennen wie Beschichtungen, bakterizide Oberflächen, medizinische Materialien oder Membranen.

Unsere Kompetenzen und Aktivitäten erstrecken sich von Monomer- und Polymersynthese über Synthesemethodik, Verfahrensentwicklung, Analytik und Charakterisierung in wässrigen Systemen bis zu diversen Anwendungen auch außerhalb von Wasser. Als Arbeitsschwerpunkte sind Stoffentwicklung, molekular gelöste und kolloidale Systeme sowie Hydrogele und Grenz- bzw. Oberflächen zu nennen, sowohl im Kontext der Material- als auch der Lebenswissenschaften.

## **Spezielle Anforderungen**

Für die meisten Substanzen ist Wasser ein schlechtes Lösemittel und chemisch nicht inert. Dies gilt auch für viele Polymere und muss bei der Herstellung, Lagerung und Anwendung wasserbasierender Systeme berücksichtigt werden. Zusätzlich zu den chemischen Komplikationen zeigt Wasser eine Reihe besonderer physikalischer Eigenschaften. Um eine hohe Affinität zu Wasser zu gewährleisten, tragen wasserbasierende Polymere typischerweise ionische oder hochpolare Gruppen. Dies führt zu komplexen Wechselwirkungen der Polymere bereits untereinander und erst recht mit dem Lösemittel Wasser. Daher ist das Verhalten wasserbasierender Polymere oft sehr kompliziert und verlangt nicht nur besondere Herstellungs- sondern auch spezielle Analyse- und Untersuchungsmethoden. Parallel zu unserer großen Syntheseerfahrung haben wir entsprechend auch die Analytik und Untersuchung wässriger bzw. wasserbasierender Systeme entwickelt. Somit können wir neue Produkte und Verfahren unter sehr unterschiedlichen Gesichtspunkten und auch ganzheitlich angehen.



### **Polymerisationsmethoden**

Naturgemäß bilden radikalische Polymerisationen einen besonderen Schwerpunkt unserer Entwicklungsarbeiten, da sie in Wasser weitgehend ungestört ablaufen. Dazu kommen chemische Modifizierungen von Polymeren, wie sie in besonderem Maß für Polymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe anfallen. Unsere Arbeiten umfassen natürlich auch nicht-wässrige Systeme und beschäftigen sich sowohl mit der Stoff- als auch der methodischen und der verfahrenstechnischen Seite. Neben der eigentlichen Polymersynthese beinhaltet die Stoffseite auch die Synthese neuer Monomere, Initiatoren, Kettenregler und Inhibitoren sowie von Additiven, beispielsweise neuen UV-Stabilisatoren oder Verträglichkeitsvermittlern. Wir haben u. a. auch diverse Techniken der kontrollierten radikalischen Polymerisation entwickelt, mit besonderem Blick auf den Einsatz in wässrigen und vergleichbaren Systemen wie ionischen Flüssigkeiten. Diese Methoden bieten einen relativ einfachen Zugang zu Polymeren mit besser definierten molekularen Parametern und besonderer Architektur. So lassen sich z. B. relativ einfach funktionale Stern- oder Block-Copolymere herstellen, die attraktive Möglichkeiten für die Entwicklung neuer Emulgatoren und Dispergiermittel, aber auch nanostrukturierter Polymermaterialien eröffnen.

Auf der Verfahrensseite haben bei uns Polymerisationen in Dispersion und in dünnen Schichten ein besonderes Gewicht. Darunter fallen vor allem normale oder inverse Emulsionspolymerisation, Mikroemulsionspolymerisation, Suspensionspolymerisation oder Fällungspolymerisation. In allen Fällen erlaubt die geschickte Wahl des Verfahrens nicht nur eine Optimierung der Herstellung und der etablierten Produkteigenschaften, sondern kann auch zu ganz neuen Eigenschaftsprofilen der Produkte führen.

### **Neue wasserbasierende Polymere**

Wir entwickeln neue Stoffe und Produkte je nach beabsichtigtem Einsatzgebiet und Anforderungsprofil auf Grundlage synthetischer – z. B. Polyacrylate – und natürlicher Polymere – z. B. Polysaccharide. Unser Spektrum umfasst sowohl geladene

Systeme, also Polyelektrolyte und Ionomere, als auch ungeladene («nicht-ionische») Polymere. Dazu kommen Spezialprodukte wie die Polyampholyte, die gleichzeitig positiv und negativ geladene Gruppen tragen und in ihrem Verhalten einerseits oft Proteinen ähneln, andererseits sich durch Biokompatibilität und Antifouling-Anwendungen auszeichnen. Hand in Hand mit einer intensiven Erforschung der Grundlagen haben uns langjährige Erfahrung in der Herstellung, Charakterisierung und Anwendung zu einer internationalen Spitzenstellung verholfen. Die Anwendungsgebiete von kationischen Polymeren demonstrieren sehr gut das Nebeneinander des Einsatzes von wasserlöslichen Polymeren in traditionellen wie auch in innovativen Produkten und Verfahren. Das breite Spektrum traditioneller Anwendungen reicht von Abwasserreinigung, Flockungsmitteln, Papierherstellung und Textilveredelung bis zu Haarfestigern und Weichspülern in Waschmitteln. Neue Entwicklungen finden sich in Bereichen wie bakterizide Oberflächen, kontrollierter Transport und Freigabe von Arzneistoffen oder der Gentherapie.

### **Polymere Hydrogele**

Hydrogele zeichnen sich durch vielfältige Anwendungen aus. Sie finden Verwendung in Lebensmitteln, Hygieneprodukten, Körperpflege, Kosmetik, Pharmazie und Medizin. Hier zählen nicht nur Quellverhalten der Polymere und die Kontrolle des Wasserhaushalts. Sie dienen auch als Barriere-, Puffer-, Schutz-, Verträglichkeits-, Adhäsions-, Absorptions-, Depot- oder Sensorschichten oder sind die Basis für Schäume oder Trennprozesse. In Analogie zu den wasserlöslichen Systemen, denen sie oft nahe stehen, unterscheiden sich chemische Struktur und physikalisches Verhalten der Polymere je nach Einsatzzweck deutlich. Besonderes Interesse finden derzeit dünne Hydrogelschichten, die die stoffliche Grundlage für eine neue Generation biokompatibler Materialien bildet.

# POLYMERS AND WATER – A SUCCESSFUL COMBINATION

We generally associate polymers with modern materials and solid-state applications. However polymers also play a key role in many applications when they are used in combination with liquids, most notably water. Biological matter is, to a large extent, composed of polymers, and thus it is not surprising that polymers are essential in the areas of biotechnology, food technology, household products, cosmetics, personal hygiene products, pharmaceuticals and medical technology. This is equally true for natural, biomimetic and purely synthetic polymers. Furthermore, polymers fulfill crucial tasks in water management, a field that is becoming ever more important. In this area, for instance, they are used in the purification, transport, storage, capture and release of water. Moreover, by virtue of its unique property profile, water is an indispensable solvent and dispersing medium for numerous technical processes and products. Aqueous systems are not only safe, but ecological and economical as well, and are equally attractive in the production, processing and application of polymers. In particular, water combines several favorable properties such as being non-toxic, inflammable, easy to recycle, abundant and inexpensive. Thus, even in areas of application far beyond those in which there is no alternative to using water, water-based polymer systems are increasingly exploited as advantageous substitutes for systems that rely on organic solvents.

## **The range of water-based polymer systems**

Our research activities span the entire field of water-based polymer systems in all of their various facets. They offer a wide range of possibilities in addition to the inherent systems employed in water. In many systems polymers are applied from water, though their final use is in the solid state. In other cases, polymers encounter water as a temporary dispersing medium only during processing. Therefore, applications include not only hydrogels, flocculating agents, rheology modifiers, solubilizing agents, compatibilizers, emulsifiers,

detergent auxiliaries, defoamers, ion exchangers or water softeners, but also paper chemicals, hair conditioners, lacquers, glues, photoresists and concrete additives such as superplasticizers. The field of water-based polymer systems is further broadened by the gradual transition to materials where polymers are used in permanent contact with water. Typical examples are most coatings, membranes and medical materials.

Our competency and activities include the synthesis of monomers and polymers, as well as polymerization methods, process development, molecular analysis and physico-chemical characterization in and out of water. Focus is on the development of new or improved materials including molecularly dissolved and colloidal systems, hydrogels and polymer surfaces for both materials science and life sciences.

## **Special features of water-based systems**

Water is in most cases a poor solvent and, from a chemical point of view, it is a rather aggressive medium for most compounds, including polymers. This must be taken into account when synthesizing, storing and applying water-based systems. In addition to the chemical difficulties, water exhibits several special physical properties. In order to ensure a good affinity to the solvent, water-soluble polymers must have a high number of ionic or highly polar moieties. This typically results in a complex set of interactions between the polymer molecules themselves, but even more so between the polymer and water molecules. Moreover, this implies the need for special methods in terms of molecular analysis and physico-chemical characterization. In order to cope with these difficulties, we possess not only long-standing know-how in polymer synthesis, but also a wide range of specialized equipment to meet the various requirements for analyzing and characterizing water-based polymer systems. Accordingly, we are able to conduct holistic research into new products and processes that have very different objectives.

### **Polymerization Methods**

Inevitably, much of our research is linked to free radical polymerization, as radical processes are virtually unaffected by the presence of water. In addition, we specialize in post-polymerization modifications, which are particularly important when it comes to polymers based on sustainable resources. Our activities also cover non-aqueous systems and look at materials, methodology and processing aspects. In addition to polymer synthesis, we also develop monomers, initiators, chain transfer agents, inhibitors and additives such as UV stabilizers or compatibilizers.

As part of our activities, we have, for instance, perfected the diverse methods of controlled free radical polymerization for use in water or in related media such as ionic liquids. These methods offer relatively easy access to polymers with better defined molecular parameters and special architectures. For example, star and block copolymers can be made relatively easily now, thus providing access to new functional polymers ranging from improved emulsifiers and dispersants to novel nanostructured polymer materials. In terms of polymerization methodology, thin films and dispersions play a particularly important role. This includes normal and inverse emulsion polymerizations, microemulsion polymerization as well as suspension or precipitation polymerization. For all these methods the right protocols enable products to be optimized and their properties customized.

### **New water-based polymers**

We specially develop new materials and products for specific uses and application profiles. These may be based on synthetic polymers, e. g. polyacrylates, and on natural polymers, e. g. polysaccharides. We specialize in charged systems such as polyelectrolytes and ionomers, as well as uncharged, non-ionic systems. Moreover, our expertise includes specialty polymers such as polyampholytes which simultaneously have

positively and negatively charged groups. Polyampholytes have a lot in common with proteins, but are also well-known for their excellent anti-fouling and biocompatibility properties. Profiting from extensive fundamental research studies, our long-standing activities in polymer synthesis, characterization and application have made us one of the leaders in our field worldwide. The various applications of cationic polymers illustrate the importance of such water-soluble polymers in traditional and innovative products. Traditional uses include, for example, waste water treatment, flocculating aids, paper and textile chemicals, and conditioners and softeners in personal hygiene products and detergents. New developments can be found in the areas of bactericidal surfaces and controlled transport and release in drug delivery and gene therapy applications.

### **Polymer hydrogels**

Hydrogels have many different applications. They are used in food, personal hygiene products, cosmetics, pharmaceuticals and medical products. Like the closely related water-soluble polymer systems, the chemical and physical structure of hydrogels vary greatly depending on what they are used for. While water uptake and release, low friction and the mechanical properties of these soft solids define how they are normally used, hydrogels are also employed as barrier, buffer and protective films, as well as in sensor and deposit coatings. They are also employed in foams and separation processes. Moreover, thin hydrogel films are attracting increasing interest for their role in tailoring the surfaces of innovative biocompatible materials.

# 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
-



# 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

## 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

Polymere Nanotechnologie  
für Life-Science  
Polymer nanotechnology  
for life science

### Dr. Erik Wischerhoff

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



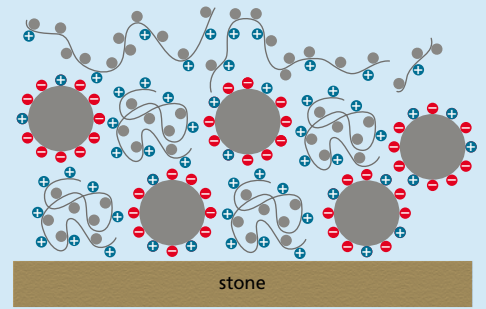
1 Historical buildings are not immune from graffiti attacks.

2 Mode of action of the new anti-graffiti paint:

2A. The polymeric components are held together by electrostatic interactions and form a film on the surface, which is stable in environmental conditions (acid rain, cleaning after graffiti attack), but still permeable to water vapor.

2B. When rinsing with an appropriate aqueous solution, triggered decomposition of the film occurs.

3 Effect of the anti-graffiti paint: removal of graffiti is facilitated and improved (© CMPWi PAN).



2A

## Anti-Graffiti-Beschichtungen für Baudenkmäler

Schäden durch Graffiti und der anfallende Reinigungsbedarf verursachen in Europa in jedem Jahr Kosten von vielen Millionen Euro. Leider sind auch historische Gebäude nicht immun gegen dieses Problem, und daher werden geeignete Anti-Graffiti-Produkte dringend benötigt. Jedoch müssen Maßnahmen an historischen Gebäuden strengen Richtlinien genügen und vor allen Dingen rückgängig zu machen sein. Außerdem ist der Tatsache Rechnung zu tragen, dass historische Monumente nicht wie moderne Gebäude behandelt werden können, da sie häufig aus empfindlicheren und porösen Materialien wie Natur- oder Backsteinen bestehen.

Daher fehlen bis heute am Markt geeignete Anti-Graffiti-Produkte, die den Anforderungen des Denkmalschutzes genügen. Wir haben in dem von der europäischen Union geförderten Vorläuferprojekt GRAFFITAGE dieses Problem aufgenommen und erfolgreich ein neues Materialkonzept entwickelt [1, 2]. Ein spezielles Zwei-Komponenten-Polymersystem bildet einen stabilen, permanenten Schutzfilm bei umwelttypischen Bedingungen, der trotzdem für Wasserdampf durchlässig ist. Dies ist für historische Gebäude besonders wichtig. Eine weitere besondere Anforderung an das System ist die Möglichkeit zur einfachen und rückstandlosen Entfernung ohne Beschädigung des Untergrunds. Dies wird in dem neuen Material erreicht, indem die Wechselwirkung zwischen den Komponenten unter spezifischen Konditionen aufgehoben wird. Insbesondere lässt sich dies mit wässrigen Medien und ohne Einsatz von organischen Lösungsmitteln bewerkstelligen. Allerdings waren die in GRAFFITAGE entwickelten Laborverfahren zur Synthese, Nachbearbeitung und Aufreinigung der neuen Polymersysteme kaum für eine industrielle Umsetzung geeignet.

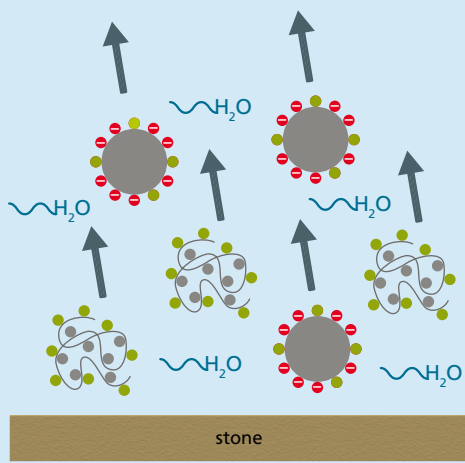
Das EU-Projekt EFFACEUR hat jetzt die Entwicklung einer produktionsfähigen und markt-gerechten Anti-Graffiti-Formulierung speziell für Baudenkmäler zum Ziel, deren Herstellung allen Anforderungen an einen industriellen Prozess genügt. Dazu wurden alle SyntheseprozEDUREN und Verfahrensschritte analysiert und so modifiziert, dass sie den Bedürfnissen einer technischen Umsetzung Rechnung tragen und gleichzeitig die praktischen Eigenschaften weiter verbessern. Dabei wurden für das Hochskalieren typische Fragestellungen wie Durchmischung, Kontrolle der Reaktionsgeschwindigkeit und Wärmeabfuhr betrachtet, aber auch die Inhaltsstoffe wurden unter Berücksichtigung von Wirkung, Verfügbarkeit und Preis-/Leistungsverhältnis optimiert.

Verschiedene angepasste Herstellprozeduren wurden für beide Komponenten in umfangreichen Versuchsreihen getestet. Die Charakterisierung und Testung der Reaktionsprodukte und Formulierungsarbeiten mit unserem Kooperationspartner CMPWi PAN in Gliwice (Polen) ebneten den Weg zu technischen Ansatzgrößen. Die Anwendungseigenschaften und Haltbarkeit des formulierten Produkts, seine Kompatibilität mit historischen Gebäuden sowie seine Entfernsbarkeit werden jetzt in Anwendungsstudien an historischen Bauwerken in verschiedenen europäischen Ländern getestet.

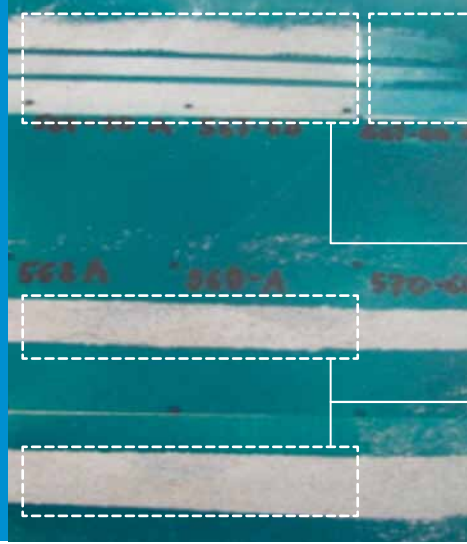
## Literatur Literature

[1] A. Dworak, A. Laschewsky, K. Manczyk, B.-R. Paulke: *Formula for semi-permanent protection of surfaces and its use*, EP2 107091 B1

[2] B.-R. Paulke, O. G. Mercero, K. Manczyk: *Beschützte Baudenkmäler EU-Projektgruppe entwickelt neuartige Schutzbeschichtung gegen Graffiti*, Farbe und Lack 117/4, p. 119-123, (2011)



2B



Areas without antigraffiti coating after cleaning

Areas after two coating/cleaning cycles

Areas with antigraffiti coating after cleaning

3

## Anti-graffiti coating for historic monuments

Damage inflicted by graffiti and its corresponding removal costs Europe millions every year. Unfortunately, cultural heritage buildings are also not immune from attack and suitable anti-graffiti products are urgently needed. However, treatments applied to cultural heritage buildings must follow strict conservation guidelines and, most importantly, need to be removable on demand. Furthermore, historical buildings frequently require special techniques because they are made of sensitive materials such as porous natural stones or bricks.

Therefore, anti-graffiti products suitable for the protection of historic monuments are not available on the market today. This problem was tackled by the EU-funded project GRAFFITAGE. A material concept based on two polymeric components was developed and successfully put into practice [1, 2]. The system forms a permanent protective film which is stable in typical environmental conditions but can still be permeated by water vapor. This is particularly important for materials typically used in cultural heritage buildings. Another key requirement is the ability to remove the anti-graffiti coating when needed without leaving behind residues or inflicting damage to the underlying material (stone, brick, etc.). The residue-free removal of the coating is possible through the triggered decomposition of the film. This can be achieved without using organic solvents by applying an aqueous solution. However, the laboratory procedures for synthesizing, purifying and post-processing the new polymer systems developed in GRAFFITAGE were hardly suited for production on an industrial scale.

Now the EU project EFFACEUR strives for an anti-graffiti formula tailor-made for historic monuments which meets the demand and fulfills the prerequisites for production on an industrial scale. All synthetic procedures and process steps were analyzed and redesigned to allow for technical feasibility and to improve the properties. The general problems encountered during large scaling up steps, such as controlling reaction rates and heat as well as mixing issues and the right reactor configuration, were taken into consideration. The ingredients were optimized with respect to availability and price/performance ratio.

For both components, various production procedures were tested in comprehensive test runs. An assessment of the synthetic procedures and products was performed based on the basic characterization results and initial formulation experiments performed by our cooperation partner CMPWi PAN in Gliwice (Poland). This enabled us to reach batch sizes on a technical scale. Durability, reversibility and compatibility of the final formulated product will be tested in real case studies on historic monuments all over Europe.

## Kontakt Contact



### Dr. Erik Wischerhoff

Telefon +49 331 568-1508

Fax +49 331 568-3000

erik.wischerhoff@iap.fraunhofer.de

### Prof. Dr. André Laschewsky

Telefon +49 331 568-1327

Fax +49 331 568-3000

andre.laschewsky@iap.fraunhofer.de

### Dr. Bernd-Reiner Paulke

Telefon +49 331 568-1159

Fax +49 331 568-3000

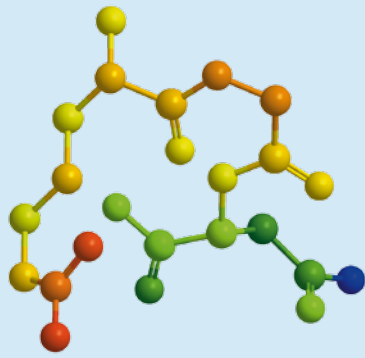
bernd-reiner.paulke@iap.fraunhofer.de

## Förderung Funding

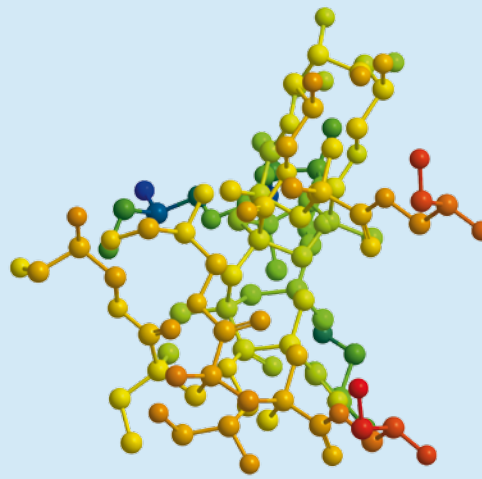
– 7<sup>th</sup> Framework Programme European Union, Grant no: 262486

## Kooperation Collaboration

- Centrum Materialow Polimerowych Iwglowych Polska Akademia Nauk, CMPWi PAN, Gliwice (Poland)
- Tecnalía, Derio-Bizkaia (Spain)
- COO.BE.C Cooperativa Beni Culturali, Spoleto (Italy)
- Eura Conservation Ltd., Telford (United Kingdom)
- Nortech GmbH, Springe (Germany)
- Technochem Italiana SPA, Barzana (Italy)
- Fraunhofer PAZ



1



2

## Biomaterialien für die Medizintechnik

**Was sind Biomaterialien?** | Biomaterialien sind synthetische oder nicht-lebende Materialien, die Anwendung in Diagnose oder Therapie finden. Sie sind in direktem Kontakt mit dem lebenden Gewebe und treten somit in physikalische, chemische und biologische Interaktion mit dem Organismus. Biopolymere dagegen werden von lebendigen Organismen produziert – sind aber nicht zwangsläufig Biomaterialien. Werden sie zu therapeutischen oder diagnostischen Zwecken im Körper eingesetzt, können Biopolymere als Biomaterialien bezeichnet werden. Die meisten Biomaterialien sind künstlichen Ursprungs, sind also keine Biopolymere. Je nach Material kann man sie in zwei Gruppen unterteilen: die anorganischen (z. B. Metalle wie Titan, Gold, Legierungen, auch Verbindungen wie Hydroxylapatit, etc.) und die organischen Biomaterialien (Poly(meth)acrylate, Polyolefine, Silicone, etc., Biopolymere wie Proteine, Kohlenhydrate, Polylactide, etc.). Oft werden Biopolymere verwendet, um Biomaterialien zu modifizieren und zu funktionalisieren.

**Ober- und Grenzflächen – der entscheidende Bereich** | Selten weisen die üblichen Polymere die erwünschte spezifische Funktion eines Biomaterials auf. Mechanische und physikalische Eigenschaften können sehr gut sein – nur mangelt es ihnen meist an der nötigen biologischen Kompatibilität, um die Anforderungen des Gewebes zu erfüllen. Der Bereich des Biomaterials, der mit dem Gewebe wechselwirkt, ist seine Oberfläche. Die Oberfläche des Materials wird an diese spezifische Funktion durch intelligente chemische und physikalisch-chemische Modifizierung angepasst. Das lebendige Gewebe kommt dann in Kontakt mit dieser »bio-adaptierten« Grenzfläche. Abstoßungsreaktionen im Körper sind häufig vorkommende Probleme von Implantaten. Daher ist die Kenntnis der Steuerung von Oberflächeneigenschaften und -funktionen ein Schlüsselfaktor für den erfolgreichen Einsatz von Biomaterialien in der Medizin.

**Kommunikation mit dem lebendigen Gewebe** | In der Ophthalmologie verwendete Implantate müssen ganz spezielle Anforderungen an physikalische, chemische und biologische Eigenschaften erfüllen. Darüber hinaus werden die Polymeroberflächen modifiziert – die Grenzfläche wechselwirkt und kommuniziert mit dem lebendigen Gewebe. Dadurch fangen die lebendigen Zellen des Gewebes an, sich mit dem künstlichen Implantat zu »unterhalten«. Die inhärenten Eigenschaften des Polymermaterials selbst beeinflussen auch die Interaktion mit dem lebenden Gewebe und können folglich für das intelligente Design von Implantaten benutzt werden.

**Organsubstitute erfordern komplexe funktionalisierte Biomaterialien** | Um verschiedene biologische Interaktionen zu ermöglichen, muss ein und dasselbe Implantat verschiedene Funktionalitäten aufweisen. Was die Natur scheinbar problemlos löst, ist für den Mensch eine wahre Herausforderung. Viele Anwendungen, Funktionen und Faktoren müssen auf einem kleinen Stück Polymermaterial umgesetzt werden, damit daraus ein »echtes« Biomaterial entsteht.

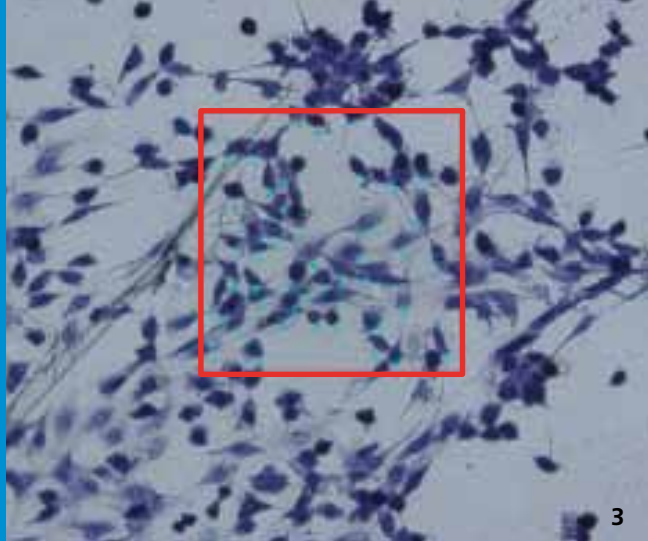
## Literatur Literature

[1] J. Storsberg, K. Kobuch, G. Duncker, S. Sel: *Künstliche Augenhornhaut: Biomaterialentwicklung eines ophthalmologischen Implantats mit biomimetischen Funktionalitäten*, Deutsche Zeitschrift für Klinische Forschung 5/6, p. 58–61 (2011)

1 Structure of a biologically active peptide sequence, promoting cell adhesion.

2 Structure of a synthetic polymer sequence, preventing cell adhesion.

3 Microscope image (200x magnification) of an *in vitro* biomaterial test with cells.



## Biomaterials for medical engineering

**What are biomaterials?** | Biomaterials are generally synthetic or non-living materials used in diagnostic or therapeutic applications in medicine. They come into direct contact with the living tissue (biological environment) and interact physically, chemically and biologically with the organism. Biopolymers are polymers produced by living organisms – they are not necessarily biomaterials. Biopolymers can become biomaterials if they are used for therapeutic or diagnostic purposes and come into direct contact with the body's biological tissue. Most biomaterials are of an artificial origin which means they are not biopolymers. Depending on the material, they are considered either organic (polymers such as poly(meth)acrylates, polyolefins, silicones and biopolymers such as proteins, carbohydrates, polylactide) or inorganic (e. g. metals such as titanium, gold, alloys, and compounds such as hydroxylapatite). Biopolymers (i. e. proteins, carbohydrates, etc.) are often used to modify biomaterials and to give them special functions.

**Surfaces and interfaces of biomaterials – the critical area** | Often common polymers do not display the specific function necessary to be used as a biomaterial. Even though their mechanical and physical properties may be very good, they may still lack the biological compatibility necessary to meet the demands of the tissue. The part of the biomaterial that interacts with the tissue is the surface. The surface of the material is adapted to the specific function through intelligent chemical and physical-chemical modification. The living tissue comes into contact with this “bio-adopted” interface. Often problem with implants is that they are rejected by the body. Understanding how to control surface properties and functions is a key factor in ensuring that biomaterials can be applied successfully in medicine.

**Biomaterials – talking with living tissue** | Implants used in ophthalmology have to meet particular requirements with respect to their physical, chemical and biological properties. In addition, the surface of the polymers are modified – the interfacial part interacting and “communicating” with the living tissue. By doing so, living cells from the tissue start to “talk” with the artificial implant. Also, the intrinsic properties of the polymer material itself influence the interaction with the living tissue and can thus be used for intelligent implant design.

**Organ substitutes require complex functionalized biomaterials** | Different functionalities on one and the same implant are required to enable the different biological interactions. What nature solves without difficulty is a challenge for mankind. Thus there are many tasks, functions and factors that have to occur on a small piece of polymer material in order for it to become a “real” biomaterial.

## Kontakt Contact



### Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-3000

joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

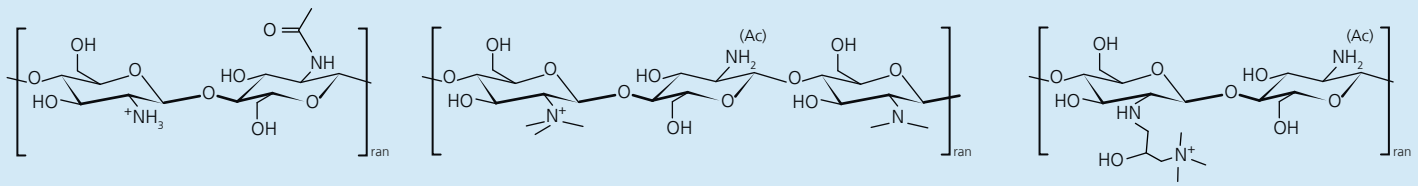
### Kooperation Collaboration

- Augenlinik der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Halle
- Augenlinik Köln-Merheim, Köln
- ACTO- Aachener Cenrum für Technologietransfer in der Ophthalmologie e. V., Aachen

CH1:  $M_w \sim 0.4$  Mio g/mol  
CH2:  $M_w \sim 2.0$  Mio g/mol

CH3: d.s. = 0.15 (N<sup>+</sup>), 0.70 (N<sub>tert</sub>)

CH4: d.s. = 0.30  
CH5: d.s. = 0.77



1

## Neue Flockungsmittel für »schwere Fälle«

Die Eignung von Chitosanen als ökologisch günstige Alternative zu synthetischen Flockungsmitteln wird seit einiger Zeit verstärkt untersucht. Ausschlaggebend für einen wirtschaftlichen Einsatz in großem Maßstab ist neben konkurrenzfähigen Kosten eine optimale Performance in der jeweiligen Anwendung. Schwierig zu behandelnde Abwässer sind beispielsweise Sägesuspensionen aus der Wafer- und Solarindustrie, Abwässer aus der Textilverarbeitung, Faserstoffsuspensionen aus der Papierherstellung und schließlich öl- und fetthaltige Schlämme. Bislang eingesetzte Produkte wie Metallsalze (schlechte Entwässerbarkeit) und synthetische Polymere (Restmonomere, Additive) erweisen sich in verschiedener Hinsicht als problematisch, wobei die Gesetzgebung insbesondere bezüglich des Einsatzes von Polyacrylamidderivaten derzeit unübersichtlich ist. Gute biogene Flockungsmittel für insbesondere öl- und fetthaltige Emulsionen sind derzeit gesucht. Im Rahmen eines AiF-Vorhabens wurden daher grundlegende Flockungsuntersuchungen sowohl nativer als auch gezielt derivatisierter Chitosane am Beispiel von Blauton durchgeführt. Blauton ist ein komplexes tonhaltiges Mineral, überwiegend bestehend aus SiO<sub>2</sub> und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Es weist im pH-Bereich 2–10 ein negatives Strömungspotenzial von etwa –10 bis –60 mV auf. Mit Blauton lassen sich sehr stabile Öl-in-Wasser-Emulsionen herstellen, die in einem weiteren Vorhaben mit Chitosanen geflockt werden sollen. Als Grundlage dafür waren hier die direkten Wechselwirkungen von Blauton mit Polykationen von Interesse.

Es wurden zunächst drei unterschiedlich kationisierte Chitosane CH3–CH5 ( $M_w \sim 300000$  g/mol) hergestellt (Fig. 1). Mit diesen und den unmodifizierten Chitosanen CH1 und CH2 der BioLog GmbH kann so der Einfluss von pH-Werten, Kationenspezies und Molmassen auf das Flockungsverhalten untersucht werden. Zuerst wurden mittels PCD (particle charge detector) Strömungspotenzial-pH-Profile der Materialien aufgenommen (Fig. 2). Diese zeigen eindrucksvoll den Einfluss der verschiedenen Kationisierungsgrade auf das Strömungspotenzial. Deutlich wird, dass native Chitosane nur im sauren und Derivate mit permanent kationischer Ladung problemlos auch im alkalischen pH-Bereich verwendbar sind. Ladungstitration der Überstände lieferte Angaben zur Stöchiometrie der Flockung. Mittels Trübungsmessungen wurde nun das Flockungsverhalten der Materialien gegenüber Blauton ermittelt. Fig. 3 zeigt die Ergebnisse der Trübungsmessungen in Abhängigkeit vom Verhältnis Chitosan zu Substrat  $C_p/C_s$ . Als Vergleich ist der Flockungsverlauf mit einem hochmolekularen leicht kationischen Polyacrylamid (PA) dargestellt. Es wird deutlich, dass hohe Molmassen und mittlere Kationisierungsgrade der Chitosane die besten Ergebnisse liefern. Zugleich kann mit niedrigeren Einsatzkonzentrationen als mit PA gearbeitet werden, was dann trotz höheren Preises für eine kommerzielle Verwendung als Alternative zu PA-basierenden Flockungsmitteln interessant ist.

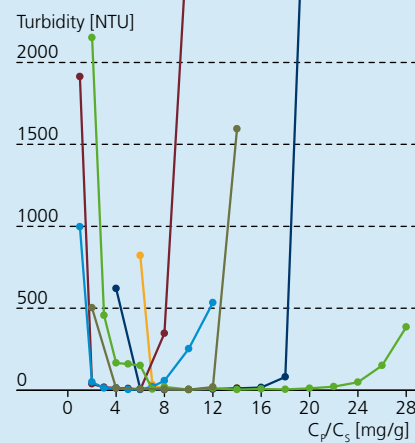
## Literatur Literature

- [1] S. Schwarz, R. Rojas, G. Petzold, J. Bohrisch, A. Hepp: *Blauton-Dispersionen: Chitosan als effektives Flockungsmittel*, Vom Wasser 107, p. 7–12 (2009)
- [2] R. Rojas, S. Schwarz, G. Heinrich, G. Petzold, S. Schütze, J. Bohrisch: *Flocculation efficiency of modified water soluble chitosan versus commonly used commercial polyelectrolytes*, Carbohydrate Polymers 81, p. 317–322 (2010)

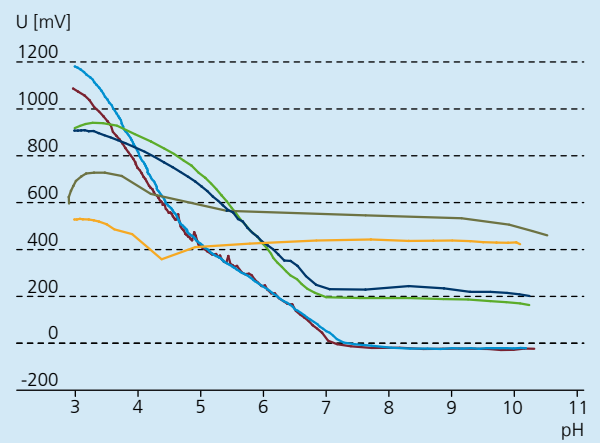
1 Structures of the chitosans used.

2 Streaming potential-pH-profile of polymers used.

3 Blue clay flocculation with chitosans and PA.



2



3

## New flocculants for special applications

The suitability of chitosans as an ecologically-effective alternative to synthetic flocculants is being studied with growing intensity at present. In addition to being cost effective, the application's excellent performance is the decisive factor in its economic large-scale use. Wastewater that is difficult to treat includes sawing slurry from the wafer and solar industries, effluents from textile processing, pulp suspensions from paper production and slurry containing oil and fat. Previously used products such as metal salts (poor dewaterability) and synthetic polymers (residual monomers, additives) are proving to be problematic in several respects. Legislation is currently unclear, particularly with respect to the use of polyacrylamide (PA) derivatives. Thus, good biogenic flocculants for emulsions containing oil and fat are increasingly being sought after. As part of an AiF project, basic flocculation experiments with clay (blue clay) were performed using both native and derivatized chitosans. Blue clay is a complex mineral that mainly consists of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . It has a negative flow potential of approximately  $-10$  to  $-60$  mV in a pH-range of 2–10. It can be used to prepare very stable oil-in-water emulsions which are flocculated with chitosans in another project. Here interest is placed on the direct interaction of polycations with blue clay.

Three differently cationized chitosans (CH3–CH5,  $M_w \sim 0.3$  Mio g/mol) were initially synthesized (Fig.1). These, together with the unmodified chitosans CH1 and CH2 from BioLog GmbH, allow the influence that pH, cation species and molecular weights have on the flocculation properties of blue clay to be examined. First, the streaming potential-pH profiles of the samples were recorded using a PCD (particle charge detector) (Fig. 2). The diagram clearly shows the influence that the different degrees of cationization have on streaming potential. As can be seen, native chitosans can only be used in the acidic pH range, while derivatives CH3–CH5 with a permanent cationic charge can be easily used at alkaline pH levels. Charge titration of each supernatant yielded information about the stoichiometry of the flocculation process. The flocculation of blue clay with chitosans and with a commercial PA sample was investigated using turbidity measurements. Fig. 3 shows the results of turbidity measurements in relation to the mass ratio of polymer to substrate  $C_p/C_s$ . In comparison we show the flocculation characteristics of a slightly cationic polyacrylamide with a high molecular weight. The results reveal that high molar masses and medium degrees of cationization of the chitosans lead to low  $C_p/C_s$  values and wide flocculation windows. Despite the higher price, these properties could enable chitosans to be used commercially as an alternative to PA-based flocculants.

## Kontakt Contact



### Dr. Jörg Bohrisch

Telefon +49 331 568-1331

Fax +49 331 568-3000

joerg.bohrisch@iap.fraunhofer.de

### Förderung Funding

– Bundesministerium für Bildung und Forschung, 15066BR

### Kooperation Collaboration

– Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. (IPF), Dresden

– BioLog Biotechnologie und Logistik GmbH, Queis

# PILOTANLAGEN- ZENTRUM SCHKOPAU PILOT PLANT CENTER SCHKOPAU

- 90** **Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum PAZ**  
Polymer Technology at the Pilot Plant Center PAZ
- 94** **Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 96** **Zweistufen-Prozesse zur  
In-situ-Polykondensation von Nano-PA6.6**  
Two-step process for  
in-situ-polycondensation of Nano-PA6.6
- 98** **Entwicklung von anwendungsspezifischen  
Polyamid-Compounds**  
Development of custom-designed  
polyamide compounds





pioneers in polymers



# POLYMERTECHNOLOGIE IM PILOTANLAGENZENTRUM PAZ

Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ in Schkopau – eine gemeinsame Initiative der Fraunhofer-Institute IAP und IWM – bearbeitet schwerpunktmäßig Fragen der Maßstabsvergrößerung von Polymersynthese- und Verarbeitungsprozessen. Sowohl die technischen Möglichkeiten als auch die Bündelung der Kompetenzen auf beiden Fachgebieten, stellen Alleinstellungsmerkmale des Pilotanlagenzentrums am FuE-Markt dar. Im Fraunhofer PAZ 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. Dabei sind Polymersynthese und -verarbeitung eng miteinander verzahnt.

## Entwicklung des Fraunhofer PAZ

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

Die Betriebsmannschaft wurde in den letzten Jahren vor allem im technischen und ingenieurwissenschaftlichen Bereich verstärkt, so dass heute auch stark technisch geprägte Forschungs- und Entwicklungsleistungen angeboten werden können. Im Bereich Synthese gibt es den Trend einer Verschiebung von der Auftragssynthese neuartiger Polymersysteme im Pilotmaßstab hin zur Verfahrensentwicklung von Polyreaktionen, während in der Verarbeitung die Bemusterung von Kunden nach wie vor einen sehr hohen Stellenwert in der Projektbearbeitung einnimmt.

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

## Polymersynthesetechnikum

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

Auch 2011 stellte Synthesekautschuk wieder ein wichtiges Arbeitsgebiet dar. So wurde für einen Industriekunden eine Versuchskampagne zur koordinativen Lösungspolymerisation von Synthesekautschuk im kontinuierlichen Dreischichtbetrieb gefahren. Für einen weiteren Kunden aus der Industrie wurde ein Projekt zur Produktentwicklung und Mitarbeiterschulung im Bereich anionische Lösungspolymerisation von Synthesekautschuken gestartet.

Das schon in den vergangenen Jahren untersuchte Verfahren zur Direktverdampfung von temperatursensitiven Elastomerlösungen wurde 2011 in einer weiteren Kundenkampagne des Verfahrensgebers hinsichtlich eines Teilaspektes weiter verfeinert.

In 2011 wurde erstmals im Polymersynthesetechnikum ein Projekt zur koordinativen Polymerisation von Olefinen umgesetzt, so wurde für einen Industriekunden eine Kampagne zur Synthese von ultrahochmolekularem Polyethylen durchgeführt.



### **Vorlauftforschung Polymersynthese**

Neben den schon genannten Projekten wurde eine Reihe weiterer Laborprojekte bearbeitet.

Im Rahmen des Fraunhofer-Innovationsclusters Polymertechnologie werden in einem von der Investitionsbank Sachsen-Anhalt geförderten Gemeinschaftsprojekt »Neue Kautschuk-Komposite für energieeffiziente Reifen« am Pilotanlagenzentrum Fragestellungen zur Einarbeitung von Füllstoffen während der Eindampfung von Polymerlösungen im Knetreaktor bearbeitet. Die Einarbeitung von Füllstoffen während der Direktverdampfung ist zum einen energieeffizient und materialschonend, zum anderen ist eine bessere Anbindung des Füllstoffs an den Kautschuk durch Reaktion in flüssiger Umgebung zu erwarten.

Ein weiteres, öffentlich gefördertes Projekt zur Einarbeitung von Nanopartikeln in Polyamide konnte in 2011 abgeschlossen werden.

Für einen Industriekunden wurden zwei technologieorientierte Laborprojekte zur Synthese von Polyamiden erfolgreich durchgeführt. Entsprechende Folgeaufträge sind derzeit in Abstimmung.

Eine aufwendige Miniplant-Versuchskampagne zur Synthese von Polycarbonaten war ebenfalls Gegenstand eines Auftrags aus der Industrie.

In Vorbereitung einer Investitionsentscheidung wurden im Rahmen einer weiteren Industriekooperation Versuche zur Herstellung und Aufarbeitung einer organischen Säure durchgeführt.

### **Polymerverarbeitung**

Die Gruppe Polymerverarbeitung widmet sich der Entwicklung anwendungsspezifischer Thermoplast-Compounds und Komposite sowie prototypischer Bauteile unter besonderer Berücksichtigung der Verarbeitungseinflüsse auf die Werkstoff- und Bauteileigenschaften.

Für Material- und Verfahrensentwicklungen stehen Compoundier-, Extrusions-, Spritzgieß- und Spritzgießcompoundieranlagen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab zur Verfügung. Eine Anlage für die industrielle Verarbeitung hochtransparenter Polyurethane inklusive Formenträger befindet sich im Aufbau. Im Zusammenhang mit dem Aufbau des Fraunhofer CSP wurde ein neuer, 8.500 qm großen Erweiterungsbau realisiert, der auch zu großen Teilen der Polymerverarbeitung zur Verfügung steht.

Die Gruppe Polymerverarbeitung des Fraunhofer PAZ steht mit seinem wissenschaftlichen Know-how und seinem hochmodernen Maschinenpark zur Unterstützung der Industrie zur Verfügung:

- Compound-Entwicklung verstärkter und gefüllter Thermoplaste
- Profilextrusion, Coextrusion
- Compoundier-Spritzgießverfahren (Direktverarbeitung, z. B. Langfaserverstärkung)
- Prozessoptimierung und -anpassung
- Fertigung von Mustermengen bis in den Tonnen-Maßstab – Durchsätze bis 400 kg/h
- Vorserien im Pilotmaßstab bis hin zur Markteinführung – Schussgewichte bis 20.000 g
- Abmusterung von Prototypen- und Serienwerkzeugen.

# POLYMER TECHNOLOGY AT THE PILOT PLANT CENTER PAZ

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

## Developing Fraunhofer PAZ

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

In the past few years the center's team has been reinforced in the areas of technology and engineering. This has enabled research and development services to be offered that have strong technical capabilities. In the field of synthesis, the trend is a shift in the custom synthesis of new polymer systems on a pilot scale process development through to polymerization reactions, while in the processing of the samples from customers is still a very high priority occupies in the project work.

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

## The polymer synthesis plant

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

In 2011 synthetic rubber was once again an important field of activity. A trial campaign for coordination solution polymerization of synthetic rubber in a continuous three shift operation was carried out for an industry client. And for another industry client, a project was initiated to develop products and train staff in the area of anionic solution polymerization of synthetic rubber.

The method involving the direct evaporation of temperature sensitive elastomer solutions, already investigated the previous year, was refined in a further customer campaign by the process licensor with respect to one aspect.

In 2011 a project on coordination polymerization of olefins was implemented for the first time in the polymer synthesis plant. Here a campaign to synthesize ultra-high molecular weight polyethylene was carried out for an industry client.

### **Preliminary research in polymer synthesis**

Work was carried out on a series of other lab projects in addition to those mentioned above.

As part of Fraunhofer's Polymer Technology Innovation Cluster, issues surrounding introducing fillers during the evaporation of polymer solutions in the kneading reactor were looked at in a joint project entitled "New rubber composites for energy efficient tires" funded by the Development Bank of Saxony-Anhalt. Introducing fillers during direct evaporation saves on both energy and materials. Furthermore it is expected that the filler can connect better to the synthetic rubber by reacting in a liquid environment.

A further publicly-funded project which introduces nanoparticles into polyamides could be completed in 2011.

Two technology-oriented lab projects on synthesizing polyamides were successfully completed for an industrial client. Corresponding follow-up orders are currently being coordinated.

An elaborate series of miniplant trials for synthesizing polycarbonates was carried out for another industry client.

Trials for manufacturing and reprocessing an organic acid were performed for a further industry client in the run up to an investment decision.

### **Polymer processing**

The polymer processing group is dedicated to developing application-specific thermoplastic compounds and composites and prototype components, taking into particular account the impact the process has on the properties of the materials and the components.

Lab to pilot plant scale compounding, extrusion, injection molding and injection molding compounding plants are available for material and process development. A plant to process highly-transparent polyurethane on an industrial scale is currently being constructed and will include mold carriers. A new 8,500 m<sup>2</sup> annex was completed as part of the Fraunhofer CSP's expansion, which will be used to a large extent for polymer processing.

The polymer processing group at Fraunhofer PAZ supports industry with its scientific know-how and state-of-the-art equipment by offering:

- Compound development of reinforced and filled thermoplastics
- Profile extrusion, co-extrusion
- Compounding injection molding processes (direct processes, e. g. long fiber reinforcement)
- Process optimization and customization
- Production of sample quantities up to ton scale – throughput up to 400 kg/h
- Preproduction on a pilot plant scale on up to market launch – shot weight up to 20,000 g
- Mold trials of prototype and series tools.

# 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 Polymerisationsreaktionen
- 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 5589-324  
Fax +49 345 5589-101  
ivonne.jahn@iwmh.fraunhofer.de

## Zweistufen-Prozesse zur in-situ-Polykondensation von Nano-PA6.6

Die Entwicklung innovativer Leichtbau-Kunststoffsysteme auf der Basis von PA6.6 mit verbesserten mechanischen und thermischen Eigenschaften durch Einsatz von Nanofüllstoffen ist unter dem Aspekt der Energieeffizienz u. a. im Bereich Automotiv ein sehr interessantes Forschungsgebiet.

Die Problematik der Einarbeitung von Nanoteilchen in die Polymermatrix ist bis jetzt allerdings noch nicht vollständig gelöst. Insbesondere durch Agglomeration kommt es zu Inhomogenitäten, welche letztlich zu einer Verschlechterung der mechanischen und auch thermischen Eigenschaften des Nanokomposites führen. Das Einbringen von Nanomaterialien in eine Polymermatrix bereits in der Polymerisationsphase (in-situ-Polymerisation) gestaltet sich aufgrund der niedrigviskosen Ausgangsmischung viel intensiver als bei einer Einarbeitung in eine hochviskose Schmelze bei der traditionellen Compoundierung. Neben dem Vorteil der deutlich längeren »Verweilzeit« des Nanofüllstoffs über den gesamten Viskositätsbereich der Polymerisationsphase wird außerdem der Füllstoff teilweise kovalent an die Polymermatrix gebunden. Beide Effekte führen zu einer verbesserten Verteilung des Füllstoffes im Polymer. Resultierend aus den erfolgreichen Laborvorversuchen waren folgende Punkte für die Maßstabsübertragung zu klären:

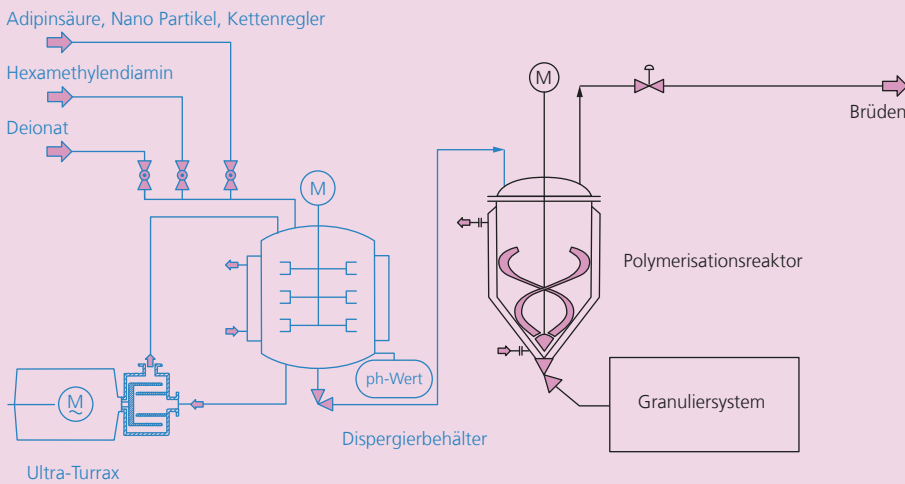
- Sicherstellung einer hinreichenden Vordispersierung
- Abschätzung von kritischen Sedimentationsphänomenen in Hochviskosrührapparaten
- Auswirkung der oberflächenaktiven Eigenschaften von modifizierten Nanofüllstoffen insbesondere während der Abkondensationsphasen

Aufgrund der Laborerfahrungen wurde entschieden, einen zusätzlichen Vordispersierapparat C2510 mit hohem mechanischen Energieeintrag zu installieren (Fig.1). Die Laborsystemen vergleichbaren Hochleistungs-Dispersiermaschinen konnten wegen der Behältergeometrie nicht »in line« (= direkt im Behälter) eingesetzt werden. Deshalb wurde ein Hochscheraggregat der Firma YSTRAL (Umfangsgeschwindigkeit bis 40m/s) in einer Loop-Anordnung installiert, um die notwendige Dispersierung zu erreichen. Das so vordispersierte System wurde mittels dreier schnelldrehender INTERMIG-Rührerorgane (bis 600 min<sup>-1</sup>) im C2510 stabil gehalten. Die Versuche zeigten, dass mit dieser Kreislauffahrweise auch im technischen Maßstab ausgezeichnete Dispersierungsergebnisse erzielbar sind.

Die Dispersion wurde in den mit einem Hochviskos-Wendelrührer versehenen Polykondensationsreaktor überführt. Während es in der Aufkonzentrations- und Abdampfphase durch die Turbulenz der Dampfblasen zu eine ausreichenden Durchmischung kam, traten in den Druckerhöhungsphasen aufgrund der Dichtunterschiede Füllstoff/Reaktionsmischung unerwünschte Sedimentationseffekte auf.

Für die weitere Optimierung des Prozesses muß daher nach der Dispersierung unter ausreichender Scherung die Polykondensation bis zu Viskositäten im einstelligen Pas-Bereich zur Vermeidung von Entmischungen geführt werden. Die entsprechende Planung in der Qualität eines Basic Engineerings wurde erstellt.





1

## Two-step process for in-situ-polycondensation of Nano-PA6.6

Developing innovative and lightweight PA6.6-based plastic systems that have improved mechanical and thermal properties as a result of nanofillers is a very interesting area of research, especially in terms of energy efficiency.

A solution to the problem of incorporating nanoparticles into the polymer matrix has not yet been fully found. In particular, inhomogeneities caused by agglomeration ultimately lead to a deterioration of the mechanical and thermal properties of nanocomposites. Introducing nanomaterials into a polymer matrix as early as the polymerization phase (in-situ-polymerization) makes the initial mixture much more intense because of its low viscosity as opposed to when the nanomaterials are added to a highly viscous melt as part of the traditional compounding process. Not only does the nanofiller have a significantly longer residence time throughout the entire viscosity range of the polymerization phase, the filler is also partially covalently bound to the polymer matrix. Both effects lead to an improved distribution of the filler in the polymer. Based on the successful laboratory trials the following points still had to be clarified for the scale-up:

- Ensuring there was sufficient predispersion
- Assessing the critical phenomena of sedimentation in high viscosity reactors
- Analyzing the effects of surface-active properties of modified nanofillers, especially during the condensation phase

Based on the experience we gained in the laboratory we decided to install an additional predispersion device – the C2510 with a high mechanical energy input (Fig.1). The laboratory system's comparably high-performance dispersers could not be installed "in line" (directly into the reactor) because of the tank geometry. Therefore a high shear unit from YSTRAL (peripheral speed up to 40 m/s) was installed in a loop configuration in order to achieve the required dispersion. The resulting predispersed system was kept stable by means of three fast rotating INTERMIG agitators (up to 600 min<sup>-1</sup>) in the C2510. The experiments showed that excellent dispersion results can be achieved with this circuit operation even on an industrial scale. The dispersion was transferred to the high viscosity reactor with a helical stirrer. The turbulence of the steam bubbles created sufficient mixing in the concentration and evaporation phases. In the phases with increased pressure, unwanted sedimentation occurred due to the density gap between filler and reaction mixture.

To further optimize the process a "pre"-polycondensation step has to be carried out under sufficient shear to viscosities in the Pas range in order to avoid sedimentation. Then the reaction mixture can be transferred into the high viscosity reactor with a low speed agitator to finish off the process. The necessary planning was of a basic engineering quality.

## Kontakt Contact



### Dipl.-Ing. Andreas Großer

Telefon +49 3461 2598-223  
 Fax +49 3461 2598-105  
 andreas.grosser@iap.fraunhofer.de

### Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke

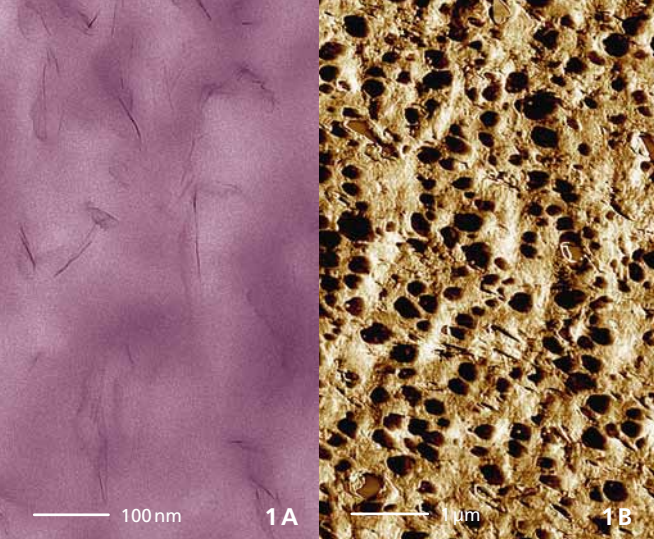
Telefon +49 3461 2598-120  
 Fax +49 3461 2598-105  
 michael.bartke@iap.fraunhofer.de

### Förderung Funding

– Investitionsbank Sachsen-Anhalt,  
 ZWB-Nr. 1004/00032

### Kooperation Collaboration

– Fraunhofer-Institut für  
 Werkstoffmechanik Halle (IWMH)



**1** Morphology of the ternary polyamide compound with 10 percent content of ASA-g-MA (A: TEM image of the exfoliated organoclay, B: AFM image of the dispersed structure of the ASA-g-MA).

**2** Young's modulus and Charpy notched impact strength of the ternary polyamide compounds as a function of ASA-g-MA content (Conditioning according to ISO 1110).

**3** Injection moulded product of a polyamide compound designed at Fraunhofer PAZ.

## Entwicklung von anwendungsspezifischen Polyamid-Compounds

Das Einsatzgebiet von technischen Kunststoffen wächst beständig. Ihr Vorteil ist, dass sich mit Hilfe verschiedener Basiskunststoffe, Füllstoffe und Additive die Eigenschaften für den jeweiligen Einsatzbereich maßschneidern lassen. Die aktuellen Entwicklungen zielen neben generell verbesserten Materialeigenschaften zunehmend auf einen verringerten Materialeinsatz und der damit verbundenen Gewichtseinsparung. Die Voraussetzung für die Entwicklung solcher Kunststoff-Compounds ist jedoch die richtige Kombination aus Materialwissenschaft und Verfahrenstechnik. Das Ergebnis sind innovative Werkstoffe, die Funktionalität mit Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit verbinden.

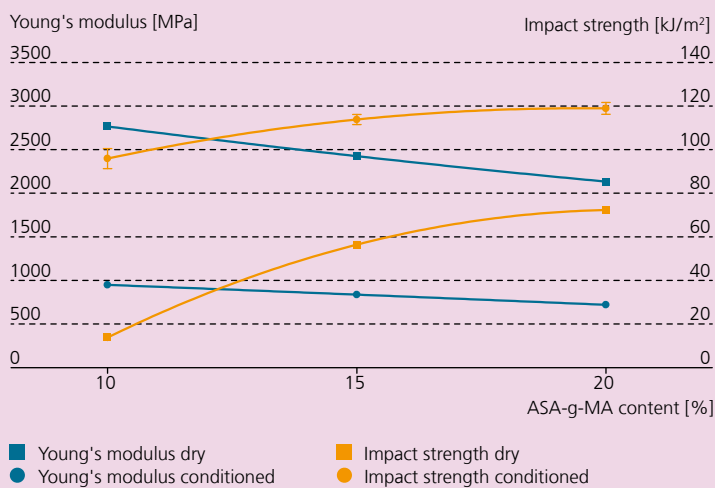
Auf Grund ihrer guten mechanischen Eigenschaften und Verarbeitbarkeit haben sich Polyamid-Compounds als die wichtigsten technischen Kunststoffe entwickelt. Durch ihre teilkristalline Mikrostruktur weisen Polyamide zwar einen guten Widerstand gegen Ribbildung durch einachsige Spannungszustände auf, besitzen jedoch nur mäßigen Widerstand gegen Ribfortpflanzung durch die mehrachsigen Spannungszustände an der Ribspitze. Die Optimierungsansätze dieser Materialien befassen sich daher vor allem mit der Schlagzähmodifizierung. Eine Verbesserung der Schlagzähigkeit von Polyamiden kann durch die Einarbeitung von amorphen Styrol-Copolymerisaten erfolgen.

Entsprechende Untersuchungen wurden an einem ternären Materialsystem durchgeführt, bestehend aus der Polyamid-Matrix (PA6) und einem mit Maleinsäureanhydrid modifizierten Acrylester-Styrol-Acrylnitril (ASA-g-MA) als Schlagzähmodifikator sowie einem organophilen Schichtsilikat zur Stabilisierung der Steifigkeit. Die Herstellung der Compounds erfolgte mit Hilfe eines gleichläufigen Doppelschneckenextruders im industriellen Maßstab, dessen Prozeßparameter und Schneckenkonfiguration hinsichtlich einer simultan homogenen Verteilung der Blendkomponente und des Nanofüllstoffs optimiert wurden. Der Gewichtsanteil der Nanopartikel wurde dabei mit 2 Prozent konstant gehalten, während der Anteil an ASA-g-MA zwischen 10, 15 und 20 Prozent variiert wurde.

Die Untersuchung der resultierenden Compound-Morphologien erfolgte mittels Transmissions-elektronenmikroskopie (TEM) und Rasterkraftmikroskopie (AFM). Die Ergebnisse belegen sowohl eine exfolierte Struktur der Schichtsilikate als auch eine sehr feine Verteilung des Schlagzähmodifikators mit durchschnittlichen Partikeldurchmessern im Bereich von 500 nm in der Polyamid-Matrix (Fig. 1). Die mechanische Charakterisierung der Compounds ergab einen signifikanten Anstieg der Charpy-Schlagzähigkeit, bei moderatem Absinken der Steifigkeit im Zugversuch (Fig. 2). Durch die anwendungsspezifische Entwicklung von technischen Kunststoffen im industriellen Maßstab sollen dem Anwender optimierte Werkstoffe bereitgestellt werden, die unmittelbar zur Konstruktion von leichteren und somit effizienteren Bauteilen genutzt werden können.

## Literatur Literature

[1] P. Zierdt, et al.: *Preparation and characterization of Polyamide 6/ASA-g-MA/Organoclay nanocomposites*, 14. Problemseminar Polymermischungen, Halle (Saale), ISBN 978-3-86829-391-3 (2011)



2



3

## Development of custom-designed polyamide compounds

The fields of application for technical plastics is continuously growing. Major advances have been made by customizing properties using different polymers, fillers and additives. Current research aims to continuously reduce material input in order to produce lightweight applications, while at the same time improve overall properties. Engineering of such polymer compounds is based on the precise combination of materials science and process technology. The results are innovative materials that combine functionality with sustainability and efficiency.

There is a great deal of interest in the development of polyamide-based technical plastics because of their good mechanical and processing properties. However, due to the semi-crystalline micro structure of polyamides, resistance to crack growth caused by multiaxial stress conditions at the crack tip is comparatively low, resulting in unsatisfactory values for notched impact strength. Therefore current research is looking at toughening these material systems, something which can be achieved by adding styrene copolymers.

Thus investigations were carried out on ternary compounds made up of polyamide (PA 6), acrylic styrene acrylonitrile grafted with maleic anhydride (ASA-g-MA) as an impact modifier and organoclay to stabilize the stiffness. The materials were prepared on an industrial scale using melt processing in a co-rotating twin-screw extruder. Processing conditions and screw design were optimized in order to achieve a homogenous, well-dispersed structure of the fillers. The content of the organoclay was kept at a constant 2 percent and the proportion of ASA-g-MA varied between 10, 15 and 20 percent.

The resulting compound morphologies were analyzed using scanning electron microscopy (TEM) and atomic force microscopy (AFM). They revealed both an exfoliated structure of the organoclay and a finely dispersed structure of the ASA-g-MA in the polyamide matrix (Fig.1). The average particle diameter of the impact modifier was well below 500 nm for all the compounds investigated, suggesting a very good compatibilization of the polyamide and the acrylic styrene acrylonitrile by the grafted maleic anhydride. Mechanical analysis proved there was a significant increase in notched impact strength accompanied by a moderate loss in stiffness with increasing ASA-g-MA content (Fig. 2). In conclusion, customized processing of technical plastics provides the constructor with optimized materials which directly lead to lighter and, hence, more efficient products.

## Kontakt Contact



### Dipl.-Wirt.-Ing. Patrick Zierdt

Telefon +49 345 5589-264

Fax +49 345 5589-101

patrick.zierdt@iwmh.fraunhofer.de

### Dr. Michael Busch

Telefon +49 345 5589-111

Fax +49 345 5589-101

michael.busch@iwmh.fraunhofer.de

### Förderung Funding

– Investitionsbank Sachsen-Anhalt,  
ZWB-Nr. 1004/00032

– Zusammenarbeit mit Putsch  
Kunststoffe GmbH

### Kooperation Collaboration

– Fraunhofer Institut für  
Werkstoffmechanik Halle IWMH

# **FAKTEN, EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN**

## **FACTS, EVENTS, PUBLICATIONS**

- 102 Rückblick 2011**  
Review 2011
- 104 Branchentransferstelle Chemie/Kunststoffe**  
Technology Transfer Office Chemistry/Plastics
- 106 Zusammenarbeit**  
Collaboration
- 112 Methoden und Ausstattung**  
Methods and equipment
- 116 Ereignisse**  
Events
- 117 Publikationen**  
Publications
- 129 Patente**  
Patents
- 131 Anfahrt**  
Getting here

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

# 'Future Technology'

18 Aug. 2011

경제부  
Ministry of Economy

• Organized by

KEITI 한국과학기술연구원

• Supported by



# RÜCKBLICK 2011

## REVIEW 2011



LOPEC, Messe Frankfurt, 30.6.2011



Sonntagvorlesung »Potsdamer Köpfe« mit Dr. Joachim Storsberg, Potsdam, 23.1.2011.



Optomat-Technologietag im Fraunhofer IAP, 22.6.2011.



Start des Verbundprojekts LIGNOS im Fraunhofer IAP, 17.3.2011.



Unterzeichnung des MoU mit dem Korea Electronics Technology Institute KETI, Korea, 18.8.2011



Gäste der Henan-Academy (China), 3.11.2011.



Grüne Woche Berlin, 21.-30.1.2011.



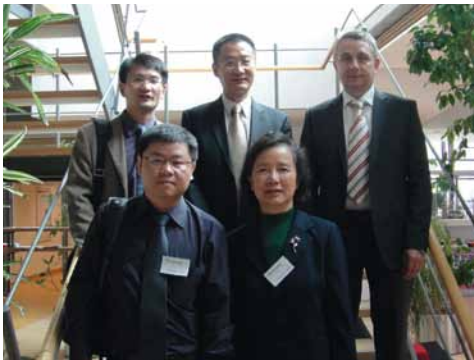
Kuratoriumssitzung, 8.6.2011



Grüne Woche, ICC Berlin, 21.-30.1.2011.



Besichtigung der Bauarbeiten zur zweiten Ausbaustufe des Fraunhofer IAP durch die Mitglieder des Kuratoriums, 8.6.2011.



Gäste von der Guangdong Fenghua Advanced Technology Holding Co., Ltd. (China), 25.5.2011.



3. Biopolymerkolloquium des Fraunhofer IAP, ICC Berlin, 25.1.2011.



Lange Nacht der Wissenschaften in Potsdam-Golm, 28.5.2011



Lange Nacht der Wissenschaften in Potsdam-Golm, 28.5.2011



Zweite Ausbaustufe des Fraunhofer IAP, April 2012

# BRANCHENTRANSFERSTELLE CHEMIE/KUNSTSTOFFE TECHNOLOGY TRANSFER OFFICE CHEMISTRY/PLASTICS

## **Branchenorientierter Technologietransfer für mehr Innovationen in KMU**

Innovationen sind der Motor für das wirtschaftliche Wachstum in der Industrie. Deshalb werden auch im Land Brandenburg Innovationsprozesse in Unternehmen durch vielfältige Maßnahmen initiiert und gefördert. Über Technologietransfer soll es gelingen, Wissen und Know How aus den zahlreichen Forschungseinrichtungen besonders in KMU hineinzutragen.

Seit September 2009 steht die Branchentransferstelle Chemie/Kunststoffe (BTS) im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg den Unternehmen der Chemie- und Kunststoffbranche als Impulsgeber und Informationsschnittstelle zur Verfügung. Die Transferstelle ist in der Lage, das wissenschaftliche Potenzial von Hochschulen und Forschungseinrichtungen zu bündeln und dadurch institutionsübergreifende, maßgeschneiderte Angebote für Unternehmen anzubieten. Den meist kleinen und mittleren Unternehmen der Chemie- und Kunststoffbranche fehlt oft die Kapazität für eigene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Projektideen liegen mitunter lange Zeit in der Schublade. Hier setzt die Arbeit der BTS an, die bedarfsgerecht Informationen und potenzielle Partner aus Wissenschaft und Forschung vermitteln kann. So wird insbesondere KMU die Möglichkeit gegeben, mit Hilfe von innovativen Entwicklungen über Projekte ihre Marktchancen deutlich zu verbessern.

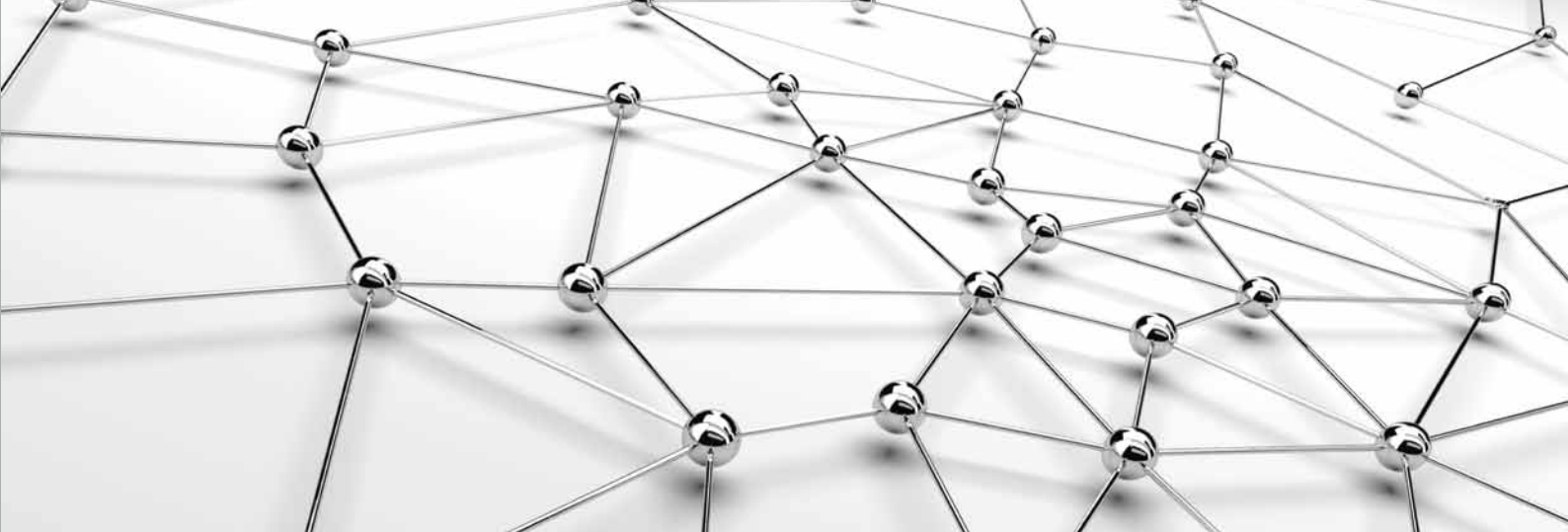
Die BTS bietet umfassende Unterstützung bei der Entwicklung innovativer Produkte und Verfahren in der Chemie- und Kunststoffbranche und arbeitet eng mit dem Kunststoff-Verband Brandenburg Berlin KuVBB e.V. zusammen. Zu den Aufgaben der BTS gehört unter anderem:

- die Ermittlung von Innovationsbedarf und -potenzialen in Unternehmen,
- die Initiierung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten,
- die projektbezogene Vermittlung von Kooperationspartnern aus Wissenschaft und Industrie,
- die Unterstützung bei der Beantragung von Fördermitteln,
- die Organisation von Transferveranstaltungen in Form von Fachkolloquien, Workshops u. ä.
- die Unterstützung bei der Vermittlung von Praktikanten, Studierenden und Absolventen.

Zu den Aktivitäten im vergangenen Jahr gehören zum Beispiel die Unterstützung bei der Organisation des 3. Fraunhofer-Biopolymerkolloquiums und des 11. Schwarzheider Kunststoffkolloquiums, die Beteiligung am Gemeinschaftsstand der IHK Ostbrandenburg auf der FAKUMA, die Durchführung einer umfangreichen Unternehmensbefragung zum FuE-Verhalten in KMU sowie die erfolgreiche Vermittlung von Kooperationen zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Projekte. Mit einem Newsletter informiert die BTS in regelmäßigen Abständen über Aktivitäten im Kunststoffverband Brandenburg Berlin, News aus der Branche, aktuelle Fördermöglichkeiten sowie über Veranstaltungen und Messen.

Ab 2012 wird der branchenbezogene Technologietransfer im Land Brandenburg in das künftige Clustermanagement Chemie/Kunststoffe überführt, sodass die BTS im September 2012 ihre Tätigkeit einstellt. Ansprechpartner für Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu Fragen des Technologietransfers ist dann die ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH ZAB.





## Industry focused technology transfer to boost innovation in SMEs

Innovation is the driving force behind industrial economic growth. As a result, many measures have been implemented in companies in the state of Brandenburg to initiate and fund innovation processes. Technology transfer is a means of transferring knowledge and know-how from numerous research institutions to SMEs.

Since September 2009 the Technology Transfer Center for the chemical and plastics industry (TTC) has been working on behalf of the Ministry of Economy and European Affairs of the state of Brandenburg. The center offers companies in the chemical and plastics industry a source for new ideas and information. TTC is able to pool the scientific potential of universities and research institutes, thereby offering companies customized services that span institutions. Most of the small and medium-sized companies in the chemical and plastics industry often lack the capacity to do their own research and development work, project ideas sometimes have to be shelved for a long period of time. TTC's job is to convey needs based information and find potential partners from research and science. Innovative developments help give particularly SME the opportunity to considerably increase their chances on the market through projects.

TTC offers comprehensive support in developing innovative products and processes in the chemical and plastics industry and works closely together with Kunststoff-Verbund Brandenburg-Berlin KuVBB e. V. (The Brandenburg-Berlin Plastics Association). The tasks of the Technology Transfer Center include:

- Determining innovation needs and potential in companies
- Initiating research and development projects
- Finding cooperation partners from science and industry based on the project
- Lending support in the grant application process
- Organizing transfer events in the form of colloquia, workshops etc.
- Helping to find interns, students and graduates.

Some of its activities in the past year include helping to organize the 3<sup>rd</sup> Fraunhofer Biopolymer Colloquium and the 11<sup>th</sup> Schwarzeider Plastics Colloquium, participating in IHK Ostbrandenburg's joint stand at FAKUMA, carrying out a comprehensive company survey on R&D behavior in SMEs and successfully brokering partnerships for projects between companies and research institutes. TTC puts out a regular newsletter which reports on the activities of Kunststoffverbund Brandenburg Berlin, industry news, current grant opportunities as well as trade fairs and events.

As of 2012, industry-based technology transfer in the state of Brandenburg will be incorporated into the future Cluster Chemistry/Plastics and the Technology Transfer Center will discontinue its activities in September 2012. The Brandenburg Economic Development Board ZAB will then become the contact point for companies and research institutes for questions pertaining to technology transfer.

## Kontakt Contact



### Dipl.-Ing. Kerstin Dohrmann

Telefon +49 331 568-1513

kerstin.dohrmann@iap.fraunhofer.de

### Förderung Funding

- Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung
- Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten, Land Brandenburg

### Kooperation Collaboration

- ZAB ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH
- iq brandenburg
- Kunststoff-Verbund Brandenburg Berlin e.V.
- Universität Potsdam
- TU Berlin
- BTU Cottbus
- TH Wildau
- Hochschule Lausitz



# ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

## Zusammenarbeit Collaboration

### Fraunhofer-Institute Fraunhofer Institutes

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, Klebtechnik und Oberflächen, Bremen

Fraunhofer IGB, Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik, Stuttgart

Fraunhofer IIS, Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen

Fraunhofer ILT, Institut für Lasertechnik, Aachen

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

Fraunhofer IOF, Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena

Fraunhofer IPA, Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart

Fraunhofer IPK, Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin

Fraunhofer IPMS, Institut für Photonische Mikrosysteme, Dresden

Fraunhofer ISC, Institut für Silicatiforschung, 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 Mikrointegration, Berlin

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

Fraunhofer WKI, Institut für Holzforschung, Braunschweig

### Hochschulen in Deutschland Universities in Germany

Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Thermophysik

Freie Universität Berlin, Institut für Chemie und Biochemie

Hochschule Merseburg

Hochschule Reutlingen

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

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Organische Chemie

Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Chemie

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

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

Technische Hochschule Wildau (FH), Institut für Plasma- und Lasertechnik

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

Technische Universität Braunschweig, Institut für Hochfrequenztechnik, Institut für Partikeltechnik

Technische Universität Chemnitz

Technische Universität Clausthal, Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik

Technische Universität Darmstadt, Materialwissenschaften und Chemie

Technische Universität Dresden, Institut für Pflanzen- und Holzchemie, Dresden

Technische Universität Ilmenau, Fachbereich Elektrotechnik

Technische Universität Karlsruhe, Institut für Technische Chemie und Polymerchemie

Technische Universität München, Institut für Physik

Universität Bayreuth, Fachbereich Chemie, Fachbereich Physik

Universität Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik

Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Physik weicher Materie und angewandte Physik kondensierter Materie, Institut für Chemie, Physikalische Chemie, Institut für Biochemie und Biologie, Mathematisch-Naturwissenschaftliche-Fakultät

Universität Stuttgart

Universität Würzburg, Institut für Physik

---

### Hochschulen im Ausland Foreign universities

Aalto University, School of Chemical Technology/Department of Biotechnology and Chemical Technology, Aalto (Finland)

Aristotle University, Thessaloniki (Greece)

Bristol University, School of Chemistry, Bristol (UK)

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)

Johannes Kepler Universität, Linz (Austria)

Kaunas University of Technology, Department of Organic Technology, Kaunas (Lithuania)

Universidade Técnica de Lisboa, UTL, Instituto Superior de Tecnologia, Instituto Superior de Agronomia, Lisbon (Portugal)

Université de Strasbourg, CNRS, Institut universitaire de Technologie Louis Pasteur, IUT Louis Pasteur, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg, IPCMS, 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 Helsinki, Department of Chemistry, Helsinki (Finland)

University of Hull, Department of Chemistry, Hull (UK)

University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, Department of Chemistry, Division of Organic Chemistry, Vienna (Austria)

University of Patras, Department of Materials Science, Patras (Greece)

University of York, Chemistry Department, York (UK)

University of Zaragoza, Department of Organic Chemistry, Zaragoza (Spain)

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)

Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG, Bonn

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., FNR, Gülzow

Faserinstitut Bremen e.V., FIBRE, Bremen

Forschungsinstitut bioaktive Polymersysteme e.V., BIOPOS, Teltow

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

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, Institut für Holztechnologie und Holzbiologie, Hamburg

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

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

Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V., Dresden

Max-Planck-Institut für Eisenforschung, MPIE, Düsseldorf

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

Max-Planck-Institut für Polymerforschung, MPIP, Mainz

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

# ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

Papiertechnische Stiftung PTS,  
München

»Petru Poni« Institute of  
Macromolecular Chemistry,  
Iasi (Romania)

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

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

STFI-Packforsk AB,  
Stockholm (Sweden)

Stiftelsen SINTEF,  
Blindern (Norway)

Tecnalia, Derio (Spain)

Textilforschungsinstitut Thüringen-  
Vogtland e.V., Greiz

The UK Health and Environment  
Research Institute,  
Leicestershire (UK)

Thüringisches Institut für Textil-  
und Kunststoff Forschung e.V.,  
TITK, Rudolstadt

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

UP Transfer GmbH, Potsdam

VTT Technical Research Centre of  
Finland, Espoo (Finland)

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

## Firmenkooperationen Cooperations with companies

aevotis GmbH, Potsdam

Allresist GmbH, Strausberg

AMSilk GmbH,  
Planegg/Martinsried

amynova polymers GmbH,  
Wolfen

BASF Construction  
Chemicals GmbH, Trostberg

BASF Plant Science  
Company GmbH, Limburgerhof

BASF SE, Ludwigshafen

Bioactive Bone Substitutes Oy,  
Oulu (Finland)

BIOP Biopolymer  
Technologies AG, Dresden

Blücher, Adsor-Tech GmbH,  
Premnitz

Bosch/Siemens-Hausgeräte  
GmbH, Lipsheim

Buckeye Technologies Inc.,  
Memphis (USA)

Buckman Laboratories GmbH,  
Köln

Bundesdruckerei GmbH, Berlin

Cargill Deutschland GmbH,  
Krefeld

Celulose Beira Industrial, CELBI,  
SA, Figueira da Foz (Portugal)

Ceresan Erfurt GmbH,  
Markranstädt

Cognis GmbH, Düsseldorf

CORRSYS 3D Industrial & Rail  
Sensors AG, Wetzlar

Creavac GmbH, Dresden

Danisco Sweeteners, Kantvik  
(Finland)

Dow Olefinverbund GmbH,  
Schkopau

Dow Wolff Cellulosics GmbH,  
Bomlitz

Feintechnik GmbH Eisfeld, Eisfeld

Festo AG & Co. KG, Esslingen

Frank Optic Products GmbH,  
Berlin

Gebr. GRÜNEWALD GmbH & Co,  
Kirchhundem

General Mills Inc., Minneapolis  
(USA)

Gen-IAL GmbH, Troisdorf

German Bioplastics Guben  
GmbH, Guben

Granit Recherche Développement  
SA, Lausanne (Switzerland)

GMT Membrantechnik GmbH,  
Rheinfelden

Goeckener GmbH, Ahaus

Henkel AG & Co. KGaA,  
Düsseldorf

hte AG, Heidelberg

IMM-Research SAS, Paris (France)

INEOS, Frankfurt/Main

InfraLeuna GmbH, Leuna

Jäckering Mühlen-  
Nährmittelwerke GmbH, Hamm

Julius Glatz GmbH, Neidenfels

KATPOL- Chemie GmbH,  
Bitterfeld

Konarka Technologies,  
Linz (Austria)

Korea Electronics Technology  
Institute, KETI, Bundang-gu  
Seongnam (Republic of Korea)

LCP GmbH, Leuna

LEIPA Georg Leinfelder GmbH,  
Schwedt

Lenzing AG, Lenzing (Austria)

LIST AG, Arisdorf (Switzerland)

LM Wind Power A/S, Lunderskov  
(Denmark)

Losser Chemie GmbH, Hainichen	Reifenhäuser REICOFIL GmbH & Co. KG, Troisdorf	Synthos S.A., Oswiecim (Poland)
LTB Lasertechnik Berlin GmbH, Berlin	RENA GmbH, Berg	SYRAL SAS, Z.I. et potuaire, Aalst (Belgium)
Merck KGaA, Darmstadt	Rhodia Acetow GmbH, Freiburg	TATE & LYLE, Wittlich
Merseburger Spezialchemikalien, Merseburg	Roca Group AG, Laufen (Switzerland)	TES Frontdesign GmbH, Neuruppin
micro resist technology GmbH, Berlin	Roquette, Lestrem (France)	Tilse Formglas GmbH, Liepe
Mitsubishi Gas Chemical, Tokyo (Japan)	Sappi Fine Paper Europe – Alfeld Mill, Alfeld	Toho Tenax Europe GmbH, Wuppertal
NATEX Prozesstechnologie GesmbH, Ternitz (Austria)	SeeReal Technologies GmbH, Dresden	TropoTherm AG, Almeida (Spain)
ND-Technik, Svedlograd (Russia)	Sibur LLC, Moskau (Russia)	Trovotech GmbH, Bitterfeld-Wolfen
Nematel GmbH & Co. KG, Mainz	Siemens AG, Berlin	Uhde Inventa-Fischer GmbH & Co. KG, Berlin
Novamont S.p.A., Novarra (Italy)	Sikoplast Maschinenbau GmbH, Siegburg	ValCon Healthcare, Jelcz-Laskowice (Poland)
Osram Opto Semiconductors, Regensburg	Smurfit Kappa Hoya Papier und Karton GmbH, Hoya	VITRONIC Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH, Wiesbaden
Oy Separation Research Ab, Åbo/Turku (Finland)	Södra Skogsägarna ekonomisk förening, Växjö (Sweden)	Weyerhaeuser Company, Federal Way (USA)
PSS Polymer Standards Service GmbH, Mainz	SteriPack Ltd., Clara (Finland)	Xetos AG, Hohenbrunn
Papiertechnische Stiftung, PTS, München	Stora Enso AB, Stockholm (Sweden)	Zellstoff Stendal GmbH, Arneburg
Quarzwerte GmbH, Frechen	Styron Deutschland GmbH, Schkopau	Ziel Biopharma Ltd., Limerick (Ireland)
Ray Technologies International GmbH, Valley	Sunar Grup, Seyhan/Adana (Turkey)	

# ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

## Netzwerke und Verbände Networks and associations

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

- Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, AiF
- Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e.V., AGEF
- Allianz Faserverbunde »Innovativer regionaler Wachstumskern«, ALFA
- 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
- 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.
- 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
- Technologieplattform Mikrokapselung
- ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH, ZAB

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

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

Prof. Dr. habil. H.-P. Fink  
– Berlin-Brandenburgischer Verband für Polymerforschung  
– Deutsche Physikalische Gesellschaft, DPG  
– Editorial Board der Zeitschriften "Cellulose", "Cellulose Chemistry and Technology", "Carbohydrate Polymers", "Natural Fibres", "Polimery"  
– European Polysaccharide Network of Excellence, EPNOE  
– Forschungsbeirat der Papiertechnischen Stiftung München, PTS  
– Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., GdCh  
– Juror IQ Innovationspreis Mitteldeutschland  
– Aufsichtsratsmitglied pearls, Potsdam Research Network  
– Vorstandsmitglied der Forschungsvereinigung Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen  
– Vorstandsmitglied Kunststoffverbund Brandenburg/Berlin e.V., KuVBB  
– Zellcheming, Fachausschuss Cellulose und Cellulosederivate

Dr. J. Ganster  
– Industrievereinigung verstärkte Kunststoffe, AVK

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)

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

Prof. Dr. A. Laschewsky  
– Berlin-Brandenburgischer Verband für Polymerforschung  
– Vorstandsmitglied GdCh-Fachgruppe Waschmittelchemie  
– 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, Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V., AiF
- Editorial Board des "Open Journal of Polymer Chemistry"

Dr. J. Storsberg

- Editorial Board des "American Journal of Biomedical Engineering"

Dr. J. Stumpe

- OpTecBB e.V.
- PhotonikBB e.V.

Dr. W. Vorwerg

- Stärkefachausschuss

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
- Vorlesungen: *Hochdruckpolymerisation Ethylen; Kinetik & Verfahren koordinativer Polymerisation; Stoffbilanz; Maßstabsübertragung* im Rahmen des Kurses *Polymerisationstechnik* des DECHEMA e.V., Hamburg

Prof. Dr. habil. H.-P. Fink,

Dr. J. Ganster

- Vorlesung: *Strukturcharakterisierung von biobasierten Polymerwerkstoffen*, Universität Kassel
- Vorlesung: *Strukturcharakterisierung von biobasierten Polymerwerkstoffen*, Universität Potsdam
- Kompaktpraktikum: *Methoden der Strukturcharakterisierung im IAP*, Universität Kassel
- Kompaktpraktikum: *Methoden der Strukturcharakterisierung im IAP*, Universität Potsdam

Prof. Dr. habil. H.-P. Fink

- Doctoral course – cellulose chemistry: *Structural changes of cellulose during processing*, Espoo (Finland)

Prof. Dr. Dieter Hofmann

- Hands-on Seminar: *Molecular Modelling of polymer-based (bio)materials and of biomolecules*, Department of Energy Engineering, Hanyang

University, Seoul (South Korea)

- Vorlesung: *Physikalisch-Chemische Eigenschaften der Werkstoffe: PEW organisch*, TU Berlin

Prof. Dr. A. Laschewsky

- Vorlesung: *Technische Chemie*, Universität Potsdam
- Vorlesung: *Functional Polymers/Stimuli-responsive polymers: synthesis, self-organization and application*, Universität Potsdam
- Praktikum: *Polymerchemie 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

Priv.-Doz. Dr. J. Stumpe

- Vorlesung: *Photochemie in Polymeren und Supramolekularen Systemen*, Universität Potsdam

Dr. U. Wendler

- Vorlesung: *Makromolekulare Chemie*, Hochschule Merseburg

# METHODEN UND AUSSTATTUNG

## METHODS AND EQUIPMENT

### Polymersynthese – Polymerprocessing

#### 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

#### Pilotanlage PLA-Synthese

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

#### 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)

#### Extruder und Zubehör

- Konischer Doppelschneckenextruder für Kleinstmengen ab 7 cm<sup>3</sup>
- 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
- Schmelzspinn tester für Nonwovens und Fasern
- Fourné Labor-Bikomponenten-Schmelzspinnanlage
- Stabilisierungs- und Carbonisierungsvorrichtungen für C-Fasern
- Bandwebmaschine

#### Probenaufarbeitung

- Labor- und Technikums-zentrifugen
- Ultrazentrifugen
- Ultrafiltrationsanlagen
- Hochdruckhomogenisator
- Gefriertrocknungsanlagen
- Sprühtrockner
- Wirbelschichttrockner
- Kugel-, Schneid-, Zentrifugalmühlen
- Labormixer für Pulver
- TURBULA® Mischer
- Dispergiergerät
- Siebmaschinen
- Jet-Kocher
- Lösungsaggregate für Volumen von 3 bis 10 kg
- Plattenpressen bis 300x300 mm<sup>2</sup> Pressfläche
- Thermoform und Skin-Pack Gerät
- Thermische Gradientenbank

#### Oberflächen, Filme und Membranen

- Kalt-aktives Plasmagerät
- 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

### Analytik und Charakterisierung

#### Lasertechnik

- Ar<sup>+</sup>-Laser (365 nm, 457 nm, 476 nm, 488 nm, 514 nm)
- Festkörperlaser (532 nm)
- Gewinn/Verlust-Wellenleiter-Messplatz: VBL (Variable StripeLength) und SES (ShiftingExcitation Spot) Methode
- HeNe-Laser (633 nm)
- Holographie-Aufbau mit Ar<sup>+</sup>-Laser, 364 nm
- Holographische Aufbauten mit Ar<sup>+</sup>-Lasern, 488 nm, in-situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- Kr<sup>+</sup>-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)
- Hochleistungs-Ionen-austausch-Chromatograph mit gepulstem amperometrischen Detektor
- Ionenchromatograph
- Gaschromatographen
- Elementaranalysator (CHNS/O)
- Goniometer für statische Lichtstreuung
- Dynamische Lichtstreuung Instrumente zur Partikelcharakterisierung
- Analytische Ultrazentrifuge
- Biegeschwinger
- Dampfdruckosmometer
- Membranosmometer
- Trübungsphotometer
- Tensiometer
- System zur Polyelektrolyt-titration

### **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
- CCD-Spektrometer
- Röntgenphotoelektronen-Spektrometer (XPS)
- Massenspektrometer
- ICP Optisches Emissionsspektrometer
- Oberflächen-Plasmon-Resonanz-Spektrometer
- Ellipsometer

### **Rheologie**

- Rotationsviskosimeter
- Oszillationsrheometer
- Rheometer-Hochdruckmesszelle für Lösungviskosität bis 160 °C
- Automatische Kapillar-Viskosimeter für Lösungviskosität

### **Morphologie und Strukturaufklärung**

- Rasterelektronenmikroskop inkl. Röntgenmikroanalyse (EDX) und Rückstreuungsdetektor, Ausrüstung für Kryopräparation feuchter Proben
- Transmissionselektronenmikroskop; Ultradünnschnitttechnik, Kryomikrotomie, Abdrucktechniken
- Lichtmikroskope mit Video- und Bildanalysetechnik
- Inverses Fluoreszenzmikroskop
- Konfokales Laserscanning Mikroskop
- Röntgengeräte für Weitwinkelstreuung
- Röntgengeräte für Kleinwinkelstreuung
- 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
- Helium Pycnometer zur Dichtebestimmung
- Partikelgrößenmessgeräte
- Zetapotential-Analysengeräte
- OLED-Lebensdauerprüfung
- Suntester

Ausführliche Informationen zu unserem umfangreichen Analytikangebot finden Sie unter:

[www.polymer-analytik.de](http://www.polymer-analytik.de)

# METHODEN UND AUSSTATTUNG

## METHODS AND EQUIPMENT

### Polymer synthesis – Polymer processing

#### Reactors and kneaders

- laboratory reactors 0.05–50L
- laboratory autoclaves 1–5 L
- explosion-proof 50L 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

#### Pilot plant PLA synthesis

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

#### 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 100bar, 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)

#### Extruder and supplies

- conical twin screw extruder for compounding of small volume (7 cm<sup>3</sup>) 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 50D, 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
- stabilization and carbonization devices for C-fibers
- narrow fabric weaving machine

#### Sample reprocessing

- laboratory and pilot plant centrifuges
- ultracentrifuges
- ultrafiltration system
- high pressure homogenizers
- freeze dryers
- spray dryer
- fluid bed dryer
- ball, cutting and ultracentrifugal 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 300x300 mm<sup>2</sup> press area
- thermoforming and skin pack equipment
- film formation bank

#### Surfaces, films and membranes

- cold active plasma device
- 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
- spincoater
- spray coater
- automatic film applicator coater
- flat sheet membrane casting machine

### Analysis and characterization

#### Laser technique

- Ar<sup>+</sup> 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<sup>+</sup> laser, 364 nm
- holographic setups with Ar<sup>+</sup> laser, 488 nm, in-situ-monitoring of diffraction efficiency
- Kr<sup>+</sup> 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, ELSD); analytical and preparative
- interferometric refractometer (dn/dc-determination)
- high performance liquid chromatographs with multi-detection (VISCO, MALLS, UV, RI, ELSD, DAD)
- high performance anion exchange chromatograph with pulsed amperometric detection
- ion chromatograph
- gas chromatographs
- elementary analyzer (CHNS/O)
- goniometer for static light scattering
- dynamic light scattering instruments for particle characterization
- analytical ultracentrifuge
- bending vibration
- 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
- CCD-spectrometer
- X-ray photoelectron spectrometer
- mass spectrometer
- ICP optical emission spectrometer
- surface plasmon resonance spectrometer (SPR)
- 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 backscattered electrons, devices for cryopreparation of moist samples
- transmission electron microscope; ultra-thin cut technology, cryomicrotomy, replica technology
- optical microscopes with video- and image analysis technology
- inverse fluorescence microscope
- confocal laser scanning microscope
- X-ray equipment for wide angle x-ray scattering
- X-ray equipment for small angle 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
- helium gas pycnometer
- particle size analyzers
- zetapotential analyzers
- OLED lifetime testing
- suntester

You will find detailed information on our broad range of analytical methods and services at:

[www.polymer-analytik.de](http://www.polymer-analytik.de)

# EREIGNISSE EVENTS

## Gäste Guests

Prof. Elsayed Mohamed Abdelbary, Head of Material Engeneering Department, German University in Cairo, GUC, Cairo (Egypt)

Prof. Dr. Isaiah Arkin, Hebrew University of Jerusalem, Research & Development, Jerusalem (Israel)

Frau Amira Bassim, German University in Cairo, Manager GUC Office Berlin, Berlin

Dr. Marc Behl, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Teltow

Prof. Dr. Thomas Groth, Martin-Luther Universität Halle, Biomaterialgruppe, Halle

Staatssekretär Henning Heidemanns, Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten, 6.12.2011

Prof. (UH) Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Wolf-Dieter Müller, Charité, Universitätsmedizin Berlin, Berlin

Prof. Dr. Günter H. Schulz, Präsident der Hochschule Lausitz (FH), Senftenberg

Prof. Dr. Kurt Wagemann, Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., DECHEMA, Frankfurt am Main

## Seminare, Tagungen, Messen Seminars, meetings, fairs

NatureTec, Berlin (Germany), 21.-30.1.2011

3. Biopolymer-Kolloquium des Fraunhofer IAP, Berlin (Germany), 25.1.2011

Sonntagovorlesung, Potsdam (Germany), 23.1.2011

241<sup>st</sup> American Chemical Society National Meeting & Exposition, Anaheim (USA), 27.-31.03.2011

Lange Nacht der Wissenschaften, Potsdam (Germany), 28.5.2011

Mitteldeutscher Kunststofftag, Halle (Germany), 9.-10.6.2011

Technologietag *Aktive Optiken – ein innovativer Entwicklungstrend in Richtung flexibel einstellbarer optischer Systeme*, Fraunhofer IAP, Potsdam-Golm, 22.6.2011

LOPE-C 2011, Frankfurt/Main (Germany), 28.-30.6.2011

2<sup>nd</sup> EPNOE International Polysaccharide Conference, Wageningen (The Netherlands), 29.8.-2.9.2011

25<sup>th</sup> Conference of the European Colloid and Interface Society, Berlin (Germany), 05.-09.09.2011

26. Darmstädter Kunststoffkolloquium Darmstadt, Darmstadt (Germany), 15.-16.9.2011

11. Schwarzheider Kunststoffkolloquium, Schwarzheide (Germany), 21.-22.9.2011

Tag der Chemie, Potsdam (Germany), 24.9.2011

7<sup>th</sup> European Detergency Conference, Fulda (Germany), 12.-13.10.2011

IPEMTECH 2011 *The industrial partnering event in microencapsulation*, Berlin (Germany), 20.-21.10.2011

Workshop Polymermonomere aus nachwachsenden Rohstoffen bei der DECHEMA, Frankfurt am Main (Germany), 31.10.-1.11.2011

## Institutskolloquien Institute colloquia

Dr. Marc Behl, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, *Neue Entwicklungen im Bereich der Dreiformenpolymere*, 19.08.2011

Prof. (UH) Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Wolf-Dieter Müller, Charité, Universitätsmedizin Berlin, *Der Einsatz polymerer Werkstoffe in der Zahnmedizin – Stand und Perspektiven*, 14.10.2011

Prof. Dr. Thomas Groth, Martin-Luther Universität Halle, Biomaterialgruppe, *Nutzung von Glykosaminoglykanen für biomedizinische Anwendungen*, 16.12.2011

## Auszeichnungen Awards

Dipl.-Chem. Henning Winkler, *Beste Diplomarbeit 2010*, Institut für Anorganische und Angewandte Chemie, Universität Hamburg, ausgezeichnet durch den Freundes- und Förderverein Chemie der Universität Hamburg e.V., Hamburg

# PUBLIKATIONEN

## PUBLICATIONS

---

### Graduierungsarbeiten

#### Theses

---

#### Functional amphiphilic copolymers bearing chromophores: Synthesis and thermo-responsive behavior in aqueous media

Carlos Adrián Benítez-Montoya  
Master thesis, Freie Universität Berlin

Amphiphilic block and random copolymers containing the hydrophilic monomer methoxy diethylene glycol acrylate (MDEGA), a photo-responsive hydrophobic monomer 6-(4-(4-methoxyphenylazo)phenyl) methoxy diethylene glycol acrylate (azoMDEGA) and the hydrophobic monomer styrene were synthesized using a difunctional trithiocarbonate as RAFT chain transfer agent. Molar masses were analyzed by <sup>1</sup>H NMR, using end group analysis via the RAFT agent, and by GPC. The symmetrical triblock copolymers of BAB architecture and the 3-arm AB blocks (with PMDEGA block=A) bear –COOH end-groups after deprotection of the PSt end blocks (B). These end-groups were used to label the polymer with a fluorescent dye rhodamine B piperazine (rBp). Random copolymers of MDEGA with different amounts of azoMDEGA were synthesized. The dye bearing comonomer azoMDEGA affected the copolymerization adversely by retarding the reaction, limiting monomer conversion and decreasing LCST of the copolymers. Surprisingly, the cis-trans photoisomerization of the azobenzene chromophore displayed an inverse effect in the thermo-responsive properties of the polymer solutions: the more polar cis isomer decreased the LCST of the copolymer solutions, whereas the less polar trans isomer increased it, when the comonomer content was low.

---

#### Synthesis of silver containing nano hydrogel coatings

Christine Gering  
Bachelor thesis, Freie Universität Berlin

In this thesis an approach to the modification of hydrogel coatings with silver nanoparticles is presented. Hydrogel coatings are well suited for the immobilization of proteins without unspecific interactions. The particular immobilization at the nanoparticle surface allows the detection of interactions of the protein molecules by recording the localized surface plasmon resonance (LSPR) absorption in the visible region of the spectrum as a highly sensitive and cost efficient technique. The chemical composition of organic network, silver content and the LSPR were analyzed by the means of XPS and UV/Vis spectroscopy. Additionally SEM images were recorded. It was shown that the silver nanoparticles were bound inside the network. The particles are considered sufficiently stabilized, while the structure of the network itself is not perturbed.

#### Synthesis of a polymerizable derivative of 4-hydroxyazobenzene-2-carboxylic acid

Kristin Hall  
Bachelor thesis, University of Potsdam

The synthesis of the new functional methacrylate monomer that bears a functional azo dye was elaborated, starting from commercial 2-((3-(2-carboxyethyl)-4-hydroxyphenyl)diazanyl)-benzoic acid. Problems were in particular encountered in the purification of the intermediates and the final product, but could be overcome.

---

#### Improving the mechanical properties of polysaccharide derivatives through melt compounding with nano-clays

Mehdi Hassan Nejad  
PhD thesis, Technische Universität Berlin

Starch  
In this study, starch esters, starch acetate (SA) and starch propionate (SP), and novel starch mixed esters containing acetate, propionate, and laurate ester group in varying proportions, starch acetate propionate laurate (StAcPrLau) and starch propionate acetate laurate (StPrAcLau), were compounded with nanoclays through a melt intercalation method. Three organo-modified clays and two unmodified clays with varying percentage of plasticizer (triacetin, TA) were used. The effect of clays on the tensile, dynamic mechanical and impact properties of the nanocomposites was investigated. The dispersion of silicate layers in the starch esters and starch mixed esters was characterized using wide angle X-ray scattering (WAXS) and transmission electron microscopy (TEM). It was observed that organo-modified clay improved the tensile strength and Young's modulus of plasticized SA and StAcPrLau, yet at the same time elongation at break decreased. Unexpectedly, unmodified clay (Dellite LVF) in a certain percentage of TA not only boosted the tensile strength and Young's modulus but also improved the elongation at break of both starches. Incorporating organo-modified clays in SP and StPrAcLau improved the tensile properties and in one case with a certain clay (Dellite 67G) elongation at break remained at the same values and impact strength of StPrAcLau was improved as well.

### Cellulose acetate (CA)

Plasticized and plasticizer-free CA nanocomposites were manufactured through melt intercalation with two organo-modified and two unmodified clays. In addition, various kinds of chemicals were used to treat the unplasticized CA. WAXS, TEM, SEM were used to study clay dispersion and the morphology of nanocomposites. The effect of nanoclays and chemical treatments on the tensile dynamic mechanical properties of injection molded compounds was studied. The impact of nanoclays and treatment on the molecular weight of some selected samples was examined by gel permeation chromatography (GPC). Also, the acidity of some treated compounds was studied by pH-measurement.

Incorporating the plasticizer facilitated the processing and up to 20wt% increased the mechanical properties. In all plasticized composites, organo-modified clay improved the mechanical properties. In a particular case, compounding of unplasticized CA with unmodified clay (Dellite LVF) resulted in superior mechanical properties with a novel structure. On the other hand, another unmodified clay (Dellite HPS) did not show any effect. It was suggested that there exist a specific interaction between the free cations existing in the galleries and on the surface of Dellite LVF clay and CA chains.

Treatment of CA with specific chemicals led to outstanding mechanical properties thus approving the suggested idea. GPC analysis showed that Dellite LVF and most of used chemicals – especially NaCl – partially prevented the thermal degradation of CA. This phenomenon corresponded to an acid deactivation reaction.

---

### Synthesis and characterization of InP/ZnS quantum dots for the application in light emitting devices

Christian Ippen

Diploma thesis, Humboldt-Universität zu Berlin

Semiconductor nanoparticles exhibit interesting optical properties, namely size-tunable emission color, narrow emission peak, and high luminescence. This renders these so-called quantum dots attractive towards the application as emitting material in light emitting devices. However, the prototypical quantum dot material is cadmium selenide, which is not feasible for application because of its toxicity. Therefore, the present work was aimed towards the colloidal synthesis of indium phosphide quantum dots as an alternative for cadmium selenide.

Regarding the synthesis, two methods were comprehensively investigated and compared: The heating-up method, which starts from a mixture of all precursors and surfactants which is then heated up at a controlled heating rate, was found to be superior over the hot-injection method, which is based on a rapid precursor injection to a hot surfactant solution. With the heating-up method, green-emitting InP quantum dots with narrow emission peak were available. Varied synthesis conditions or the hot-injection method yielded also yellow-, orange- or red-emitting quantum dots, but with broader peak width. The luminescence efficiencies were comparable for both methods. A striking advantage of the heating-up method is its improved reproducibility.

An improvement of the luminescence efficiencies was achieved with the deposition of a ZnS single shell or a ZnSe/ZnS multishell system on the InP quantum dots. The new multishell system was shown to be superior over the single shell coating regarding the quantum yield improvement. This effect was attributed to the reduced interfacial strain mediated by the ZnSe wetting layer with its lattice constant between the InP and ZnS lattice constants.

The best InP-based quantum dots exhibited saturated green emission color with a full width at half maximum of 50 nm for the emission peak and a photoluminescence quantum yield of 75 percent. This sample was used for the assembly of a first light emitting device with cadmium-free quantum dots as emitter material. The device clearly showed electroluminescence from the quantum dots.

In conclusion, InP core-shell quantum dots were found to be a feasible alternative to the toxic cadmium-based quantum dots. Further work is needed for a better understanding of the growth mechanism and structure of the InP quantum dots, which should lead to a further improvement of the optical properties.

---

### Stability of polarization in organic ferroelectric metal-insulator-semiconductor structures

René Kalbitz  
PhD thesis, University of Potsdam

Organic thin film transistors (TFT) are an attractive option for low cost electronic applications and may be used for active matrix displays and for RFID applications. To extend the range of applications there is a need to develop and optimise the performance of non-volatile memory devices that are compatible with the solution-processing fabrication procedures used in plastic electronics. A possible candidate is an organic TFT incorporating the ferroelectric co-polymer poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene) (P(VDF-TrFE)) as the gate insulator.

Dielectric measurements have been carried out on all-organic metal-insulator-semiconductor (MIS) structures with the ferroelectric polymer P(VDF-TrFE) as the gate insulator and poly(3-hexylthiophene) (P3HT) as p-type semiconductor. The capacitance spectra of MIS devices were measured under different biases, showing the effect of charge accumulation and depletion on the Maxwell-Wagner peak. The position and height of this peak clearly indicates the lack of stable depletion behavior and the decrease of mobility when increasing the depletion zone width, i. e. upon moving into the P3HT bulk.

The lack of stable depletion was further investigated with capacitance-voltage (C-V) measurements. When the structure was driven into depletion, C-V plots showed a positive flat-band voltage shift, arising from the change in polarization state of the ferroelectric insulator. When biased into accumulation, the polarization was reversed. It is shown that the two polarization states are stable i. e. no depolarization occurs below the coercive field. However, negative charge trapped at the semiconductor-insulator interface during the depletion cycle masks the negative shift in flat-band voltage expected during the sweep to accumulation voltages.

The measured output characteristics of the studied ferroelectric-field-effect transistors confirmed the results of the C-V plots. Furthermore, the results indicated a trapping of electrons on the positively charged surfaces of the ferroelectrically polarized P(VDF-TrFE) crystallites near the insulator/semiconductor interface during the first poling cycles. The study of the MIS structure by means of thermally stimulated current (TSC) revealed further evidence for the stability of the polarization under depletion voltages.

It was shown, that the lack of stable depletion behavior is caused by the compensation of the orientational polarization by fixed electrons at the interface and not by the depolarization of the insulator, as proposed in several publications. The above results suggest a performance improvement of non-volatile memory devices by the optimization of the interface.

---

### Determination of residual monomer content in polylactide (PLA) using HPLC

Jeanett Köhn  
Diploma thesis, University of Potsdam

Residual monomer content in polylactide (in particular dilactide) can have a negative impact on polymer's properties. For instance, the mechanical properties may decrease and the rate of degradation caused by hydrolysis may accelerate. There may be premature degradation of the polymer, even in the processing stage, as well as a shortened lifetime of end products that are based on PLA. Therefore it is important to know the residual monomer content in polymers in order to determine their specific application purpose and to predict the stability of the PLA-based products.

To determine the residual monomer content using HPLC the monomers have to be isolated prior to analysis. To do this, the PLA samples are dissolved in chloroform and precipitated by ethanol. The solvent of the extracted solution was removed by a rotary evaporator and the remaining material is dissolved in acetonitrile. The resulting sample solution was analysed using an optimized HPLC gradient-method.

In comparison to other methods described in literature, this one shows an excellent separation of the individual sample components and a short analysis time. This enables the method to be an optimal utilization of all the necessary resources.

# PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

---

## Study of the emulsion polymerization of cationic copolymers with hydrophobic components

Maria Mattke  
Bachelor thesis, University of Potsdam

The emulsion copolymerization of 2-(N,N-dimethylamino)ethylmethacrylate with hydrophobic comonomers was studied, and the effects of various reaction variables, such as initiator concentration and reaction temperature elucidated. The application of appropriate conditions results in the formation of stable latexes

---

## Tailor-made showroom

Sandra Mehlhase  
Master thesis, Technische Universität Berlin

In order to be successful in the marketing of science, targeted communication is necessary – because the “business” happens at the level of people. The actors in this process of communication have different demands on science: The public hopes to gain education and better living conditions, the media want a story, politicians require advice and technology transfer and the economy marketable products. Scientific exhibits provide a suitable framework for communication. Formats such as technology museums or science centers are pursuing the goal to create and strengthen trust, understanding and acceptance of science in public. In contrast, there are exhibitions for acquiring customers. Besides fairs, showrooms are included in the group. Here, products, technologies or services of an academic institution are presented. They make it possible to follow several marketing objectives: to present the company with its expertise and position, to support the acquisition of customers and partners, and to maintain the relations with them. Five exhibition formats are comparatively placed opposite – with and without acquisition function. The importance of virtuality for trade shows and showrooms will be illuminated. A survey within the Fraunhofer-Gesellschaft, as well as interviews with experts give an idea of reference groups, design and the use of social media and virtual technologies related to showrooms. Finally, a concept for a modern, future-oriented and tailor-made showroom is outlined.

---

## Synthesis of cationic polyelectrolytes by dispersion polymerization in aqueous aluminium salt solutions

Marius Ohnesorge  
Master thesis, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

The scope of this work was the optimization of a process for the synthesis of high molecular weight cationic polyelectrolytes from acrylamide and acryloyl oxyethyl benzyltrimethyl ammoniumchloride in w/w dispersion polymerization using primary flocculants, namely aluminium sulfate, to cause the precipitation of the polymers. The influence of different parameters like structure and concentration of stabilizer, salt concentration and monomer concentration with respect to the stability of the resulting polymer dispersions and the molecular weight of the polymers was investigated. Long term stable dispersions of high molecular weight polymers could be obtained using a combination of two stabilizers, a high molecular weight poly(acryloyl oxyethyl trimethyl ammoniumchloride) and a low molecular weight poly(diallyl dimethyl ammonium chloride). The performance of thus synthesized polyelectrolytes in the flocculation of waste water, circuit water and deinking sludge was tested. Especially in the treatment of circuit water from a paper mill the novel polymer dispersions led to faster sedimentation and reduced turbidity compared to a commercial reference flocculant.

---

## Preparation and characterization of dielectrics and semiconductors for organic field effect transistors (OFETs) using ink printing technology on foil substrates

Marcel Schmidt  
Diploma thesis, Westsächsische Hochschule Zwickau

Inkjet printing as deposition method for organic field-effect transistor (OFET) devices promises to be a low-cost production technology. The advantage of this technique is the ability to deposit a small amount of material on defined areas on substrates. For the OFET structure the architecture of the top-gate and bottom source-drain contact on flexible foil was favored. Advantage of this structure is that with the help of a dielectric layer the active organic semiconductor can be protected from environmental influences. The developed printing formulations for polymethylmethacrylate (PMMA) as a dielectric and poly(3-(hexyl-co-3,6-dioxaheptyl)-thiophene) (P3HT-doh) as a p-conductive semiconductor showed reproducible results in air. The prepared layers were analysed using atomic force microscopy (AFM), light microscopy and cross-section measurement.



As a reference to printed OFETs in air, spin coating OFETs were prepared in N<sub>2</sub> atmosphere. The electrical characterization of printed and spin coated OFETs showed similar characteristics. Printed OFETs presented a substantially higher on-current and thus a higher field-effect mobility. In air prepared OFETs showed an intrinsic conduction in the off state of the OFET, due to oxygen doping.

---

### Synthesis of star polymers using the RAFT method

Raphael Suminski  
Bachelor thesis, University of Potsdam

Multifunctional benzyl trithiocarbonates 2-C12-RAFT, 3-C12-RAFT and 4-C12-RAFT were prepared as RAFT (reversible addition-fragmentation chain transfer) chain transfer agents, and engaged in the polymerization of N,N-dimethylacrylamide, to prepare linear and star polymers. All polymerizations followed first-order reaction kinetics with respect to the monomer concentration, and showed the aspired linear increase of the molar mass with conversion. Exceptionally, chain transfer agent 4-C12-RAFT exhibited a marked inhibition period, which is attributed to the particular structure of the ortho-substitution pattern of the trithiocarbonate groups. Nevertheless, the evolution of molar mass with time and the narrow polydispersities indicate all features of a controlled free radical polymerization process.

---

### Synthesis and characterization of phosphorescent terpolymers and nonconjugated matrix polymers for efficient polymer light emitting diodes

Manuel Thesen  
PhD thesis, University of Potsdam

A new synthetic approach for the synthesis of side chain polystyrenes was established and their use as phosphorescent polymers for polymer light emitting diodes (PLEDs) is shown by experiments. An assay was introduced to clarify influences on electroluminescent behavior for RGB-colored phosphorescent terpolymers with N,N-Di-p-tolyl-aniline as hole-transporting unit, 2-(4-biphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole (tert-BuPBD) as electron-transporting unit, and different iridium complexes in RGB-colors as triplet emitting materials. All monomers were attached with spacer moieties to the "para" position of a polystyrene. PLEDs were built to study the electro-optical behavior of these materials. The gist was a remarkable influence of hexyl-spacer units to the PLED performance. For all three colors only very restricted PLED performances were found. In comparison RGB-terpolymers were

synthesized with directly attached charge transport materials to the polymer backbone. For this directly linked systems efficiencies were 28 cd A<sup>-1</sup> @ 6 V (green), 4.9 cd A<sup>-1</sup> @ 5 V (red) and 4.3 cd A<sup>-1</sup> @ 6 V (bluish). In summary it is assumed that an improved charge percolation pathways regarding to the higher content of semiconducting molecules and an improved charge transfer to the phosphorescent dopant in the case of the copolymers without spacers are responsible for the better device performance comparing the copolymers with hexyl spacers. It was found that the approach of the directly connected charge transport materials at the nonconjugated styrene polymer backbone is favored for further investigations as shown in the following.

A series of styrene derived monomers with triphenylamine-based units, and their polymers have been synthesized and compared with the well-known structure of polymer of N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidine with respect to their hole-transporting behavior in PLEDs. A vinyltriphenylamine structure was selected as a basic unit, functionalized at the para positions with the following side groups: diphenylamine, 3-methylphenyl-aniline, 1- and 2-naphthylamine, carbazole, and phenothiazine. The polymers are used in PLEDs as host polymers for blend systems. It is demonstrated that two polymers are excellent hole-transporting matrix materials for these blend systems because of their good overall electroluminescent performances and their comparatively high glass transition temperatures. For the carbazole-substituted polymer (T<sub>g</sub>=246 °C), a luminous efficiency of 35 cd A<sup>-1</sup> and a brightness of 6700 cd m<sup>-2</sup> at 10 V is accessible. The phenothiazine-functionalized polymer (T<sub>g</sub>=220 °C) shows nearly the same outstanding PLED behavior. Hence, both these polymers outperform the well-known polymer of N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidine, showing only a luminous efficiency of 7.9 cd A<sup>-1</sup> and a brightness of 2500 cd m<sup>-2</sup> (10 V).

Furthermore, novel styrene functionalized monomers with phenylbenzo(d)imidazole units and the corresponding homopolymers are prepared. The macromolecules are used as matrices for phosphorescent dopants to prepare PLEDs. The devices exhibit current efficiencies up to 38.5 cd A<sup>-1</sup> at 100 cd m<sup>-2</sup> and maximum luminances of 7400 cd m<sup>-2</sup> at 10 V.

Afterwards the most efficient monomers of this investigations were combined and statistical copolymers were synthesized. As hole-transporting monomer the carbazole substituted triarylamine and as electron-transporting monomer a disubstituted phenylbenzimidazole was selected. This statistical copolymer was used in the following as matrix material for phosphorescent PLEDs and the device performance was compared with a matrix system of a polymer blend matrix system of corresponding homopolymers. With this homopolymer blend efficiencies of about 30 cd A<sup>-1</sup> at 10 V and luminances of 6800 cd m<sup>-2</sup> beside a decreased onset voltage were realized.

# PUBLIKATIONEN

## PUBLICATIONS

Finally bipolar blockcopolymers of structural basic monomers were synthesized via nitroxide mediated polymerization. With these technique and the chosen hole- and electron-transporting monomers a controlled radical polymerization was realized leading to blockcopolymers in different block lengths. These blockcopolymers were used as molecular doped matrix systems in green phosphorescent PLEDs. The devices were compared in regard to their performances with PLEDs made of statistical copolymers and homopolymer blends. It was found that high molecular systems show a better device performance compared to low molecular polymer matrices. With atomic force microscopy it is shown that a phase separation takes place for the high molecular blend of homopolymers. For the synthesized blockcopolymers no phase separation could be verified, mainly because of the comparatively low molecular weight of these systems.

---

### **Synthesis and self-assembly of multiple thermoresponsive amphiphilic block copolymers**

Jan Weiß  
PhD thesis, University of Potsdam

Various water-soluble thermo-sensitive homopolymers, double thermo-sensitive AB diblock copolymers as well as triple thermo-responsive ABC triblock copolymers were synthesized by controlled free radical polymerization, namely by the RAFT and ATRP techniques. A twofold TMS-labeled RAFT agent used for the synthesis of such complex block copolymers proved to be most useful for determining the molar mass and the residual end group functionality via routine  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy. Moreover, the thus incorporated end groups turned out to be sensitive probes for following polymer aggregation and self-assembly in aqueous solution. Double and even triple thermo-sensitive systems could indeed be implemented, converting step-by-step fully hydrophilic polymers into amphiphilic ones of high and later on of low HLB values, and finally to water-insoluble, colloiddally metastable systems. The detailed behavior of the block copolymers depended not only on the relative block lengths, as might have been anticipated, but also sensitively on the particular block sequence.

---

## Vorträge

### Lectures

---

**L. S. Anderson**, A. Kaminski, K. Ling, E. Wischerhoff: *Evaluating cellular biocompatibility on thermo-responsive polymer brushes*, Conference of the Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEB), Washington D.C. (USA), 9.4.2011

**B.-R. Paulke**: *Das Latex-Kügelchen in der Lackschicht*, Kriminaltechnisches Symposium LKA Brandenburg, Eberswalde (Germany), 24.5.2011

**C.-O. Danz**, A. Lange, B. Fischer, C. Boeffel, A. Wedel: *Solar Cells with Slot Die Coated or Inkjet Printed PEDOT:PSS Films*, Printing Future Days 2011, Chemnitz (Germany), 8.11.2011

**S. Döring**, M. Kollosche, J. Stumpe, G. Kofod: *Elektrisch durchstimmbare diffraktiv optische Elemente und DFB-Laser*, Technologietag »Aktive Optiken« 2011, Potsdam-Golm (Germany), 22.6.2011

**G. Engelmann**, J. Ganster: *Lignin – A bio-based polymer for "green" thermoset composites*, Thermosets 2011, Berlin (Germany), 21.-23.9.2011

**H.-P. Fink**: *Biobasierte technische Fasern und Composite*, 26. Darmstädter Kunststoffkolloquium – Kunststoffe machen mobil, Darmstadt (Germany), 15.9.2011

**H.-P. Fink**: *Melt-like Processing of Cellulose or Novel Routes to cellulose fibres, Films and nonwovens*, Aalto University, Espoo (Finland), 20.4.2011

**H.-P. Fink**: *Neue Möglichkeiten der Celluloseverarbeitung*, 3. Biopolymerkolloquium des Fraunhofer IAP, Grüne Woche, Berlin (Germany), 21.–30.1.2011

**H.-P. Fink**, H. Ebeling: *Novel Routes to Cellulose Fibres and Nonwovens*, ACS Anaheim (USA), 28.3.2011

**H.-P. Fink**, J. Ganster: *Biobasierte Fasern, Kunststoffe und Composite – Native Biopolymere als alternative Rohstoffe für Hochleistungsmaterialien*, Expertengespräch Biokunststoffe, BMBF Bonn, Bonn (Germany)

**H.-P. Fink**, J. Ganster: *Biocomposite – Beispiele einer erfolgreichen Kooperation zwischen IfW und Fraunhofer IAP*, 30 Jahre Institut für Werkstofftechnik, Universität Kassel, Kassel (Germany), 23.9.2011

**H.-P. Fink**, J. Ganster, A. Lehmann: *Herausforderungen der Faserverstärkung von Polymeren aus biobasierten Monomeren*, Workshop Polymomere aus nachwachsenden Rohstoffen, Dechema/FNR, Frankfurt am Main (Germany), 1.11.2011

**H.-P. Fink, A. Laschewsky**: *Nouveaux produits et processus de fabrication performants utilisant des biopolymères / Novel performance products and processing routes based on biopolymers*, Congress "A Greener Chemistry for Industry" GCI 2011, Villeneuve d'Ascq/Lille (France), 12.12.2011

**H.-P. Fink**, A. Lehmann, J. Ganster: *Biobasierte technische Fasern und Composite – Potenziale, Trends und Forschungsbeispiele*, Tag der Holzwirtschaft, vTI, Hamburg (Germany), 18.11.2011

**J. Ganster**, J. Erdmann: *Verstärkungswirkung von Cellulosefasern in weichen sowie steifen biobasierten Matrices mit maßgeschneiderter Grenzfläche*, Firma Pracht Lichttechnik GmbH, DGM-Fachausschusssitzung 2011, Dautphetal (Germany), 3.11.2011

**J. Ganster**, J. Erdmann: *Reinforcement efficiency of cellulose fibres in flexible and stiff biobased polyesters with tailored interface*, EPNOE 2<sup>nd</sup> International Polysaccharide Conference, Wacheningen (The Netherlands), 2.9.2011

**J. Ganster**, J. Erdmann: *Potential bio-based alternative thermoplastics and composites in cockpit interiors*, DSM-Workshop, Brüssel (Belgium), 11.4.2011

**J. Ganster**, J. Erdmann, H.-P. Fink: *Biocomposites with advanced properties through fiber-matrix interphase modification*, ACS 241<sup>st</sup> National Meeting, Anaheim (USA), 28.3.2011

**T. Greco**, C. Ippen, A. Wedel: *Cadmium Selenide and Indium Phosphide Quantum Dots for Hybrid Inorganic-organic LED Devices: One-pot and Large-scale Syntheses, Surface Modifications as well as Purification*, MRS Spring Meeting, San Francisco (USA), 26.4.2011

**T. Greco**, C. Ippen, A. Wedel: *Multishell Quantum Dots auf Basis von Indiumphosphid für hybride organisch-anorganische Leuchtdioden: Synthesemethoden, strukturelle Charakterisierung sowie spektroskopische Eigenschaften*, Bunsentagung, 110<sup>th</sup> Annual German Conference on Physical Chemistry, Berlin (Germany), 4.6.2011

**C. Herfurth**, J. Buller, J. Weiß, J. Bohrisch, A. Laschewsky: *Ferrocenyl Monomers and Controlled Radical Polymerization*, 9<sup>th</sup> Ferrocene Colloquium, Chemnitz (Germany), 14.2.2011

**D. Hofmann**: *Molecular Modelling of Membrane Separation Phenomena*, Hanyang University, Department of Energy Engineering, Seoul (South Korea) 18.5.2011

# PUBLIKATIONEN

## PUBLICATIONS

- A. Holländer:** *Plasma Processes in Combined and Multistep Processes For Polymer Surface Functionalization*, International Conference on the Application of Plasma Technology, ICAPT, Strunjan (Slovenia), 11.-13.9.2011
- C. Ippen,** T. Greco, A. Wedel: *InP/ZnSe/ZnS: A Novel Multishell System for InP Quantum Dots for Improved Luminescence Efficiency*, The 11<sup>th</sup> International Meeting on Information Display IMID 2011, Seoul (South Korea), 11.10.2011
- S. Janietz,** E. Katholing, L. Pabel, H.-F. Schleiermacher, H. Mangold, U. Würfel: *Tailor-made absorber polymers for efficient organic solar cells*, EMRS, Nizza (France), 9.-13.5.2011
- S. Janietz,** K. Schulze, S. Schattauer, M. Schmidt, T. Egorov-Brening: *Design of semiconducting materials and polymer dielectrics for printed transistor applications*, MRS, Boston (USA), 29.11.-3.12.2011
- A. Laschewsky:** *Thermo-responsive Multiblock-Copolymere: Herstellung, Charakterisierung und »Schalten« in wässrigen Systemen*, Universität Paderborn, Paderborn (Germany), 3.5.2011
- A. Laschewsky:** *Superposing Structural Complexity and Smart Behavior in Thermo-responsive Triblock Copolymers*, 2<sup>nd</sup> International Conference Smart Polymer Systems, Mainz (Germany), 25.5.2011
- A. Laschewsky,** J. Buller, S. Dippel, J. Kölsch, M. Sütterlin, Ch. Wieland, J. Buchs, D. Janietz, E. Wischerhoff: *Towards Bio-responsive Hydrogels*, Potsdam Days on Bioanalysis 2011, Potsdam (Germany), 9.11.2011
- A. Lieske,** G. Dorff, M. Hahn, E. Mitzner: *Synthesewege für verbesserte PLA-Qualitäten*, Mitteldeutscher Kunststofftag, Halle (Germany), 9.6.2011
- W. Meyer,** S. Engelhardt, E. Novosel, N. Seiler, K. Borchers, P. Kluger, G. Tovar, B. Elling, M. Wegener, H. Krüger: *Photoreactive materials for rapid prototyping, building up a flexible, capillaric blood-vessel-systems*, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomaterialien e.V. (DGBM), Gießen (Germany), 10.-12.11.2011
- W. Meyer,** E. Novosel, S. Engelhardt, M. Wegener, B. Elling, P. Kluger, K. Borchers, A. Gillner, G. Tovar, H. Krüger: *Biocompatible Materials for Rapid Prototyping Processes Building up Vascular Grafts (Highlight)*, BioMat, Jena (Germany), 13.-14.4.2011
- A. Miasnikova,** A. Laschewsky, G. De Paoli, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis: *New Gel Forming Thermosensitive Polymers of Increasing Structural Complexity*, Workshop »Intelligente Hydrogele«, Köln (Germany), 14.7.2011
- H. Petersen,** S. Radosta, W. Vorwerg, B. Kießler, E. Möller: *Combination of cationic starches with synthetic polymers in the wet-end process of paper production*, 62. Starch Convention, Detmold (Germany), 14.4.2011
- H. Petersen,** S. Radosta, W. Vorwerg: *Einfluss chemischer Additive auf die Wechselwirkung Faserstoffen und auf die Papier-eigenschaften*, 3. Verbundtreffen Förderschwerpunkt Stärke für die Papierindustrie, Hoya (Germany), 20.9.2011
- S. Radosta,** W. Vorwerg, M. Geiger: *Properties of different waxy starches*, 62. Starch Convention, Detmold (Germany), 13.4.2011
- S. Radosta,** W. Vorwerg: *Kartoffelstärke – welche Vorteile bietet sie?*, Jahrestagung des Bundesverbandes der Kartoffelstärkeezeuger e. V., Nordhorn (Germany), 8.11.2011
- S. Radosta,** W. Vorwerg: *Analytik von Stärkeprodukten*, Sitzung des Stärke-Fachausschusses, Karlsruhe (Germany), 27.9.2011
- S. Radosta,** W. Vorwerg: *Molecular characteristics of starch polysaccharides*, 2<sup>nd</sup> International Polysaccharide Conference, Wageningen (The Netherlands), 29.8.-2.9.2011
- A. Seeboth,** R. Ruhmann, O. Muehling: *Thermotropic and Thermo-chromic Phenomena in Polymers*, 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology (AMN-5), Wellington (New Zealand), 10.2.2011
- J. Storsberg:** *Wie Blinde wieder sehen können – Neue Biomaterialien für die Augenheilkunde*, Sonntagsvorlesung in der Reihe Potsdamer Köpfe, Potsdam (Germany), 23.1.2011
- J. Storsberg:** *Biomaterial Development for Medical Implants – Interdisciplinary Research toward Biological Recognition and Specificity*, German-Brazilian Forum on Medical Technologies, St. Augustin (Germany), 11.2.2011
- J. Storsberg:** *Polymers in medical devices – development of specialised biomaterials and their use in regenerative medicine, implants, diagnostics and wound care*, Medical Device Polymers 2011, Köln (Germany), 8.6.2011
- J. Storsberg:** *Mit Polymeren heilen – Biomaterialien für die Medizin*, Lange Nacht der Wissenschaften, Universität Potsdam, Potsdam (Germany), 28.5.2011
- J. Storsberg,** K. Kobuch, G. I. W. Duncker, N. Nass, S. Sel: *Biomimetic Implants in Ophthalmology – Tailoring Functionality of Biomaterials*, 8. Thüringer Biomaterial-Kolloquium, Zeulenroda-Triebes (Germany), 15.9.2011

-----  
**Poster**  
**Posters**  
-----

**B. Volkert**, A. Lehmann, K. Hettrich: *The use of ionic liquids as catalyst – A novel synthesis pathway for TMSi cellulose*, Cellulose-Symposium, Zellcheming, Wiesbaden (Germany), 28.6.2011

**B. Volkert**, A. Lehmann: *Ionic liquids as catalyst in the synthesis of polysaccharide derivatives*, EPNOE Conference, Wageningen (The Netherlands), 1.9.2011

**J. Wagner**, E. Görnitz, J. Stumpe: *A Spectroscopic Study of Talbot Imaging Phenomena on Thin Layers of Polymer Particle Arrays Using a Microscope Spectrometer*, Kolloquium Optische Spektrometrie, Berlin (Germany), 21.-22.3.2011

**A. Wedel**, T. Greco, C. Ippen: *Quantum Dots for Hybrid Inorganic-organic LED Devices*, XXXI. International Display Research Conference Eurodisplay 2011, Arcachon (France), 19.9.2011

**A. Wedel**, T. Greco, C. Ippen: *Quantum dots for hybrid inorganic-organic LED devices: Materials, processes and applications*, LOPE-C, Frankfurt/Main (Germany), 28.11.2011

**D. Zehm**, A. Laschewsky\*, M. Gradzielski, S. Prévost, J. P. Rabe, H. Liang: *Designing Novel Giant Surfactants from Amphiphilic Block Copolymer "Bottle-Brushes"*, ECIS 2011 – 25<sup>th</sup> Conference of the European Colloid and Interface Society, Berlin (Germany), 5.9.2011

**J. Buller**, A. Laschewsky, E. Wischerhoff: *Protein Recognition by responsive Polymers*, 5. Senftenberger Innovationsforum Multiparameteranalytik, Hochschule Lausitz, Senftenberg (Germany), 10.3.2011

**J. Buller**, A. Laschewsky, M. Sütterlin, E. Wischerhoff: *Protein Recognition by Responsive Polymers*, POLYOR 2011 "Polymers on the Odra River", Opole (Poland), 6.7.2011

**J. Buller**, A. Laschewsky, M. Sütterlin, E. Wischerhoff: *Protein Recognition by Responsive Polymers*, Potsdam Days on Bioanalysis 2011, Potsdam (Germany), 9.11.2011

**J. Buller**, E. Wischerhoff, A. Laschewsky: *Smarte Chemie gegen Pandemie – Wie Kunststoffe bei der frühen Erkennung von Krankheiten helfen*, 4. Interdisziplinäres Doktorandensymposium der Potsdam Graduate School, Potsdam (Germany), 2.11.2011

**B. Gruber**, K. Schulze, S. Janietz: *Solution-processable organic light emitting diode on glass fibers for textile applications*, DPG Frühjahrstagung, Dresden (Germany), 16.3.2011

**C. Herfurth**, A. Laschewsky, K. Skrabania, C. Wieland, M. Gradzielski, P. Malo de Molina: *Synthesis and Characterisation of Amphiphilic Star Polymers*, POLYOR 2011 "Polymers on the Odra River", Opole (Poland), 6.7.2011

**Ch. Herfurth**, P. Malo de Molina, Ch. Wieland, M. Gradzielski, A. Laschewsky: *Amphiphilic Star Polymers – One Step RAFT Synthesis and Properties in Aqueous Solution and Microemulsions*, 7<sup>th</sup> European Detergency Conference, Fulda (Germany), 12.10.2011

**S. Inal**, J. D. Kölsch, D. Janietz, A. Laschewsky, D. Neher: *Energy Transfer as a Probe for Studying the Phase Transition of Oligo(ethylene glycol) based Thermoresponsive Hydrogels*, DPG spring Meeting 2011, Dresden (Germany), 13.3.2011

**C. Ippen**, T. Greco, A. Wedel: *InP/ZnSe/ZnS: A Novel Multishell System for InP Quantum Dots for Improved Luminescence Efficiency*, EuroNanoForum Nanotech 2011, Budapest (Hungary), 30.5.2011

**C. Ippen**, T. Greco, A. Wedel: *InP/ZnSe/ZnS: A novel multishell system for InP quantum dots for improved luminescence efficiency*, 8<sup>th</sup> International Conference on Nanosciences and Nanotechnologies – NN11, Thessaloniki (Greece), 12.7.2011

**R. Köhler**, I. Dönch, P. Ott, A. Laschewsky, A. Fery: *From elastic body to viscous fluid: How charge density and ambient vapour humidity are influencing the elastic module of polyelectrolyte multilayers*, ECIS 2011 – 25<sup>th</sup> Conference of the European Colloid and Interface Society, Technische Universität Berlin, Berlin (Germany), 5.9.2011

**J. Kim**, Y. Kim, S. M. Kim, M. S. Oh, T. Greco, C. Ippen, A. Wedel, J. Kang, C. J. Han: *New Transparent Light-Emitting Diode Using by Indium Phosphide Colloidal Quantum Dots*, MRS Fall Meeting 2011, Symposium CC: Functional Semiconductor Nanocrystals and Metal-Hybrid Structures, San Francisco (USA), 28.11.2011

**B. Kussmaul**, S. Risse, R. Waché, M. Wegener, G. Kofod, H. Krüger: *Novel DEA materials by chemical grafting of silicone networks on molecular level*, EURO EAP 2011, Pisa (Italy), 8.6.2011

**A. Lange**, M. Wegener, B. Fischer, S. Janietz, A. Wedel: *Solar Cells with Inkjet Printed Polymer Layers*, European Materials Research Society, Spring meeting, Nice (France), 12.5.2011

**A. Laschewsky**, L. Wattebled, C. Wieland, E. Wischerhoff: *Designing Amphoteric Gemini Surfactants Based on EDTA*, 7<sup>th</sup> European Detergency Conference, Fulda (Germany), 12.10.2011

**D. Löttsch**, R. Ruhmann, O. Muehling, A. Seeboth: *Preparation of core/shell particles and their thermotropic behaviour in a resin matrix*, 25<sup>th</sup> European Colloid and Interface Society Conference, Berlin (Germany), 6.9.2011

# PUBLIKATIONEN

## PUBLICATIONS

**W. Meyer:** *Biocompatible Materials for Rapid Prototyping Processes building up vascular grafts*, International Conference on Biomaterials Science 2011, Tsukuba (Japan), canceled but published 2011

**A. Miasnikova,** A. M. Bivigou-Koumba, S. Dippel, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis: *The Self-assembly of Triblock Copolymers into Smart Hydrogels. Comparing PolyNIPAM with PolyMDEGA as Responsive Hydrophilic Block*, POLYOR 2011 "Polymers on the Odra River", Opole (Poland), 6.7.2011

**O. Muehling,** A. Seeboth, R. Ruhmann, D. Löttsch: *Thermosensitive core/shell particles and their temperature dependent optical properties in acrylate resin*, Particles 2011 – Stimuli-Responsive Particles and Particle Assemblies, Berlin (Germany), 11.7.2011

**G. De Paoli,** S. Jaksch, A. Miasnikova, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis: *Conosolvency in thermoresponsive PNIPAM-based block copolymers*, DPG Spring Meeting 2011, Dresden (Germany), 13.3.2011

**B. Ch. D. Salert,** M. W. Thesen, A. Wedel, H. Krüger, R. Anémian, T. Eberle: *Triziane-based monomers and polymers for phosphorescent PLEDs*, Society for information Display mid Europe, Seeheim-Jugendheim (Germany), 10.-11.3.2011

**S. Schattauer:** *Material development for renewable energy*, 6<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition (IRES 2011), Berlin (Germany), 28.11.2011

**M. Schmidt,** P. Lewer, K. Schulze, S. Janietz, F. Stelzl, C. Bekeny, U. Würfel: *Inkjet printed organic layers on nano- and microstructured flexible substrates for organic electronic devices*, DPG-Frühjahrstagung, Dresden (Germany), 16.3.2011

**M. Stage,** W. Vorwerg: *Enzymatische Behandlung lignocellulosehaltiger Biomasse für die Separation von Pflanzeninhaltsstoffen*, GVC/DECHEMA Vortrags- und Diskussionstagung Bioverfahrenstechnik an Grenzflächen, Potsdam (Germany), 30.5.2011

**V. Strehmel,** H. Wetzel, E. Görnitz, A. Laschewsky: *Free Radical Polymerization in Imidazolium and Pyrrolidinium Based Ionic Liquids: Pushing Molar Masses Upwards*, POLYOR 2011 "Polymers on the Odra River", Opole (Poland), 6.7.2011

**J. Weiß,** Ch. Böttcher, A. Laschewsky: *Sequential Self-assembly of Multiple Thermo-responsive Block Copolymers*, Makromolekulares Kolloquium Freiburg, Freiburg (Germany), 24.2.2011

**H. Winkler,** W. Vorwerg: *Bio-based materials by esterification of starch with fatty-acids*, GDCH Wissenschaftsforum, Bremen (Germany), 4.-7.9.2011

**D. Zehm,** M. Päch, M. Lange, I. Dambowsky, J. Weiss, A. Laschewsky: *Same, Same but Different – Polymer Analysis by <sup>1</sup>H NMR Using Complementary Trimethylsilyl End Groups*, Aquitaine Conference on Polymers, Arcachon (France), 17.10.2011

---

### Publikationen

### Publications

---

**S. A. Bagnich,** T. Unger, F. Jaiser, D. Neher, M. W. Thesen, H. Krueger: *Efficient green electrophosphorescence based on ambipolar nonconjugated polymers: Evaluation of transport and emission properties*, Journal of Applied Physics 110/33724, 033724-9 (2011)

**H. Böttcher,** M. Graf, K. Sünkel, P. Mayer, H. Krüger: *[Ir (acac) ([eta] 2-C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>)<sub>2</sub>]: A precursor in the synthesis of cyclometalated iridium (III) complexes*, Inorganica Chimica Acta 365/1, p. 103-107 (2011)

**H. Böttcher,** M. Graf, K. Sünkel, B. Salert, H. Krüger: *Synthesis of the tris-cyclometalated complex fac-[Rh(ppy)<sub>3</sub>] and X-ray crystal structure of [Rh(acac)(ppy)<sub>2</sub>]*, Inorganic Chemistry Communications 14/2, p. 377-379 (2011)

**J. Buller,** A. Laschewsky, J.-F. Lutz, E. Wischerhoff: *Tuning the Lower Critical Solution Temperature of Thermoresponsive Polymers by Biospecific Recognition*, Polymer Chemistry 2/7, p. 1486-1489 (2011)

**C.-O. Danz,** A. Lange, B. Fischer, C. Boeffel, A. Wedel: *Solar Cells with Slot Die Coated or Inkjet Printed PEDOT:PSS films*, Printing Future Days 2011: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Scientific Conference on Print and Media Technology for Junior Scientists and PhD Students 1/1, p. 135-142 (2011)

- S. Döring**, M. Kolloosche, T. Rabe, J. Stumpe, G. Kofod: *Electrically Tunable Polymer DFB Laser*, *Advanced Materials* 23/37, p. 4265-4269 (2011)
- K. Dominiak**, H. Ebeling, J. Kunze, H.-P. Fink: *<sup>13</sup>C-NMR Spectroscopical Investigations of the substituent Distribution in Cellulose Xanthates*, *Lenzinger Berichte*, 89/0, 132-141 (2011)
- S. Engelhardt**, Y. Hu, N. Seiler, D. Riestler, W. Meyer, H. Krüger, M. Wehner, E. Bremer-Koebberling, A. Gillner: *3D-Microfabrication of Polymer-Protein Hybrid Structures with a Q-Switched Microlaser*, *Journal of Laser Micro / Nano Engineering* 6/1, p. 54-58 (2011)
- J. Erdmann**, J. Ganster: *Einfluss des Faserdurchmessers auf die Struktur und Mechanik Cellulose-faser verstärkter PLA-Komposite*, *Lenzinger Berichte* 89 2011/89, p. 91-102 (2011)
- H.-P. Fink**, J. Ganster, G. Engelmann: *Basics of Lignin*, *bioplastics Magazine* 6/0, 54-57 (2011)
- J. Ganster**, J. Erdmann, H.-P. Fink: *Natürlich maßgeschneidert verstärkt*, *Kunststoffe* 12/12, p. 73-76 (2011)
- J. Ganster**, J. Erdmann, H.-P. Fink: *Tailored PLA Materials with Bio-based Fibers*, *Kunststoffe international* 12/12, p. 46-49 (2011)
- S. Glatzel**, A. Laschewsky, J.-F. Lutz: *Well-Defined Uncharged Polymers with a Sharp UCST in Water and in Physiological Milieu*, *Macromolecules* 44/2, p. 413-415 (2011)
- M. Hassan Nejad**, J. Ganster, A. Bohn, B. Volkert, A. Lehmann: *Nanocomposites of starch mixed esters and MMT: Improved strength, stiffness, and toughness for starch propionate acetate laurate*, *Carbohydrate Polymers* 84/1, p. 90-95 (2011)
- A. Holländer**, S. Kröpke: *The reaction of nitrogen traces in plasmas with polymer surfaces*, *Surface and Coatings Technology* 2011/205, p. 5480-5483 (2011)
- S. Janietz**, K. Schulze, M. Schmidt, T. Egorov-Brening: *Design of semiconducting materials and polymer dielectrics for printed transistor applications*, *LOPE-C, Proceedings* 1/1, p. 1 (2011)
- R. Kalbitz**, P. Fröbing, R. Gerhard, D. M. Taylor: *Stability of Polarization in Organic Ferroelectric Metal-Insulator-Semiconductor Structures*, *Appl. Phys. Lett.* 98, p. 033303 (2011)
- R. Kalbitz**, P. Fröbing, R. Gerhard, D. M. Taylor: *Organic electronic memory based on a ferroelectric polymer*, *Proc. 10<sup>th</sup> IEEE ICSD*, *J. Phys: Conf Ser* 301, p. 012055 (2011)
- R. Kalbitz**, P. Fröbing, R. Gerhard, D. M. Taylor: *Fixed negative interface charges compromise organic ferroelectric field-effect transistors*, *Organic Electronics* 13, p. 875-884 (2011)
- M. Kolloosche**, S. Döring, J. Stumpe, G. Kofod: *Voltage-controlled compression for period tuning of optical surface relief gratings*, *Optics Letters* 36/9, p. 1389-1391 (2011)
- D. Kröner**, C. Ehlert, P. Saalfrank, A. Holländer: *Ab initio calculations for XPS chemical shifts of poly(vinyl-trifluoroacetate) using trimer models*, *Surface Science* 605/0, p. 1513-1521 (2011)
- D. Kröner**, H. Krüger, M. W. Thesen: *Electronic Structure Calculations for Hole-Transporting Triphenylamine Derivatives in Polymer Light-Emitting Diodes*, *Macromolecular Theory and Simulations* 20/9, p. 790-805 (2011)
- S. Kröner**, W. Minjiong, M. Bartke: *Thermodynamic Data of Ethylene-Propane Mixtures in Condensed and Supercritical State*, *Macromol. Reaction engineering* 11-12/2011, p. 563-574 (2011)
- B. Kussmaul**, S. Risse, G. Kofod, R. Wache, M. Wegener, D. N. Mc Carthy, H. Krüger, R. Gerhard: *Enhancement of dielectric permittivity and electro-mechanical response in silicone elastomers: Molecular grafting of organic dipoles to the network*, *Advanced Functional Materials* 21/23, p. 4589-4594 (2011)
- A. Laschewsky**: *Smart Ingredients for Aqueous Formulations: Facts and Fancy*, *SOFW Journal – Seifen Öle Fette Wachse* 137/1, p. 37-40 (2011)
- A. Lehmann**, B. Volkert: *Preparing esters from high-amylose starch using ionic liquids as catalysts*, *Carbohydrate Polymers* 83/4, p. 1529-1533 (2011)
- M. K. M. Leung**, G. K. Such, A. P. R. Johnston, D. P. Biswas, Z. Zhu, Y. Yan, J.-F. Lutz, F. Caruso: *Assembly and Degradation of Low-Fouling Click-Functionalized Poly(ethylene glycol)-Based Multilayer Films and Capsules*, *Small* 7/8, p. 1075-1085 (2011)
- J.-F. Lutz**, B. V. K. J. Schmidt, S. Pfeifer: *Tailored Polymer Microstructures Prepared by Atom Transfer Radical Copolymerization of Styrene and N-substituted Maleimides*, *Macromolecular Rapid Communications* 32/2, p. 127-135 (2011)
- J.-N. Marsat**, M. Heydenreich, E. Kleinpeter, A. Laschewsky, H. v. Berlepsch, C. Böttcher: *Self-Assembly into Multicompartement Micelles and Selective Solubilization by Hydrophilic-Lipophilic-Fluorophilic Block Copolymers*, *Macromolecules* 44/7, p. 2092-2105 (2011)
- P. Malo de Molina**, C. Herfurth, A. Laschewsky, M. Gradzielski: *Multi-Bridging Polymers. Synthesis and Behaviour in Aqueous Solution*, *Progress in Colloid and Polymer Science* 138/2011, p. 67-72 (2011)

# PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

- E. C. Novosel**, W. Meyer, N. Klechowicz, H. Krüger, M. Wegener, H. Walles, G. E. M. Tovar, T. Hirth, P. J. Kluger: *Evaluation of cell-material interactions on newly designed, printable polymers for tissue engineering applications*, *Advanced Engineering Materials* 13/12, B 467-475 (2011)
- B.-R. Paulke**, O. G. Mercero, K. Manczyk: *Beschützte Baudenkmäler EU-Projektgruppe entwickelt neuartige Schutzbeschichtung gegen Graffiti*, *Farbe und Lack* 117/4, p. 119-123, (2011)
- S. Prévost**, L. Wattebled, A. Laschewsky, M. Gradzielski: *Formation of Monodisperse Charged Vesicles in Mixtures of Cationic Gemini Surfactants and Anionic SDS*, *Langmuir* 27/2, p. 582-591 (2011)
- S. Schumacher**, M. Katterle, C. Hettrich, B.-R. Paulke, A. Pal, D. G. Hall, F. W. Scheller, N. Gajovic-Eichelmann: *Benzoboroxole-modified nanoparticles for the recognition of glucose at neutral pH*, *Chemical Sensors* 1/1, p. 1-7 (2011)
- K. Sünkel**, M. Graf, H. Böttcher, B. Salert, H. Krüger: *Towards the new cyclometalated complex  $[[Rh(\mu-Cl)(ptpy)_2]_2$  ( $ptpy=2-(p-tolyl)pyridinato$ )*, *Inorganic Chemistry Communications* 14/4, p. 539-541 (2011)
- B. V. K. J. Schmidt**, N. Fechner, J. Falkenhagen, J.-F. Lutz: *Controlled folding of synthetic polymer chains through the formation of positionable covalent bridges*, *Nature Chemistry* 3/3, p. 236-240 (2011)
- A. Seeboth**, D. Löttsch und R. Ruhmann: *Piezochromic Polymer Materials Displaying Pressure Changes in Bar-Ranges*, *American Journal of Materials Science* 1/2, p. 139-142 (2011)
- I. Singh**, Z. Zarafshani, F. Heaney, J.-F. Lutz: *Orthogonal modification of polymer chain-ends via sequential nitrile oxide-alkyne and azide-alkyne Huisgen cycloadditions*, *Polymer Chemistry* 2/2, p. 372-375 (2011)
- K. Skrabania**, A. Miasnikova, A. M. Bivigou-Koumba, D. Zehm, A. Laschewsky: *Examining the UV-vis Absorption of RAFT Chain Transfer Agents and their Use for Polymer Analysis*, *Polymer Chemistry* 2/9, p. 2074-2083 (2011)
- J. Storsberg**, K. Kobuch, G. Duncker, S. Sel: *Biomaterials and Biopolymers: Polymer Chemical Design of Ophthalmic Implants towards Biomimetic Functionality*, Preprints International Conference on Biomaterials Science 2011 (ICBS2011) Tsukuba 1/1, p. 325-326 (2011)
- J. Storsberg**, L. Stickelmeier: *Cellulite – A (Well-)Known Cosmetic Challenge*, *SOFW - International Journal for Applied Science* 137/5, p. 2-9 (2011)
- J. Storsberg**, K. Kobuch, G. I. W. Duncker, N. Nass, S. Sel: *Biomimetic Implants in Ophthalmology – Tailoring Functionality of Biomaterials*, Tagungsband 2011 Zeulenroda-Triebes INNOVENT e. V. (2011)
- J. Storsberg**, K. Kobuch, G. Duncker, S. Sel: *Künstliche Augenhornhaut: Biomaterialentwicklung eines ophthalmologischen Implantats mit biomimetischen Funktionalitäten*, *Deutsche Zeitschrift für Klinische Forschung* 2011/5, p. 58-61 (2011)
- S. Üzgün**, G. Nica, C. Pfeifer, M. Bosinco, K. Michaelis, J.-F. Lutz, M. Schneider, J. Rosenecker, C. Rudolph: *PEGylation Improves Nanoparticle Formation and Transfection Efficiency of Messenger RNA*, *Pharmaceutical Research* 28/9, p. 2223-2232 (2011)
- J. Wagner**, O. Kulikovska, L. Kulikovskiy, L. Goldenberg, R. Rosenhauer, J. Stumpe: *Neue Technologie zur voll-optischen Mikro- und Nanostrukturierung von Oberflächen*, *Plasma + Oberfläche* 2011/1, p. 12-13 (2011)
- J. Weiss**, C. Böttcher, A. Laschewsky: *Self-Assembly of Double Thermoresponsive Block Copolymers End-capped with Complementary Trimethylsilyl Groups*, *Soft Matter* 7/2, p. 483-492 (2011)
- J. Weiss**, A. Laschewsky: *Temperature-Induced Self-Assembly of Triple-Responsive Triblock Copolymers in Aqueous Solutions*, *Langmuir* 27/8, p. 4465-4473 (2011)
- F. Wendler**, Z. Persin, K. Stana-Kleinschek, M. Reischl, V. Ribitsch, A. Bohn, H.-P. Fink, F. Meister: *Morphology of polysaccharide blend fibers shaped from NaOH, N-methylmorpholine-N-oxide and 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate*, *Cellulose* 18/5, p. 1165-1178 (2011)
- E. Wischerhoff**, N. Badi, A. Laschewsky, J.-F. Lutz: *Smart Polymer Surfaces: Concepts and Applications in Biosciences*, *Advances in Polymer Science* 240/0, p. 1-33 (2011)
- D. Zehm**, A. Laschewsky, P. Heunemann, M. Gradzielski, S. Prévost, H. Liang, J.P. Rabe, J.-F. Lutz: *Synthesis and Self-assembly of Amphiphilic Semi-brush and Dual Brush Block Copolymers in Solution and on Surfaces*, *Polymer Chemistry* 2/1, p. 137-147 (2011)
- D. Zehm**, A. Laschewsky, H. Liang, J.P. Rabe: *Straightforward Access to Amphiphilic Dual Bottle Brushes by Combining RAFT, ATRP, and NMP Polymerization in One Sequence*, *Macromolecules* 44/24, p. 9635-9641 (2011)



# PATENTE PATENTS

**F. Börner, G. Rafler:** *Mikrokapseln, Verfahren zu deren Herstellung sowie deren Verwendung*

DE 10 2005 002 169 A1

**F. Börner, G. Rafler:** *Treibmittelfreier Aminoharzschäum, Verfahren zu dessen Herstellung und dessen Verwendung*

EP 1 808 454 A2

**G. Dorff, A. Lieske, M. Hahn:** *Blockcopolymere umfassend Poly lactid*

AZ: PCT/EP 2011/005352

**S. Döring, J. Stumpe, K. Guggi, M. Kollosche:** *Polymerlaser mit spannungsgesteuerter Eistellung der Laserwellenlänge*

AZ: 10 2011 000 941.8

**H. Ebeling, H.-P. Fink, M. Doss:** *Vliesstoffe, Verfahren zu deren Herstellung sowie deren Verwendung*

EP 1 896 635 A1

**G. Engelmann, J. Ganster:** *Lösungsmittelfreie Epoxidharzmischung, Verfahren zu deren Herstellung sowie deren Verwendung*

AZ: 10 2011 016 918.0-44

**J. Erdmann, J. Ganster:** *Kompositzusammensetzung, Verfahren zu deren Herstellung, Formteil und Verwendung*

AZ: PCT/EP 2011/000797

**T. Greco, Bert Volkert:** *Herstellung weißer, pigmentfreier Lackfilme auf Basis von Polysaccharid-Mikroschäumen*

AZ: 10 2011 013 973.7

**K. Hettrich, W. Vorweg, K. L. Woll, J. Dijksterhuis:** *Verfahren zur Herstellung eines hydrophoben Stärkederivats, hydrophobes Stärkederivat und Verwendung des Verfahrens*

DE 10 2007 005 927 A1

**W. Jaeger, B.-R. Paulke, S. Schwarz, M. Mende:** *Verfahren zur Abtrennung suspendierter Feststoffe aus wässrigen Systemen mit kolloidalen Flockungsmitteln*

US 2008/0314840 A1

**D. Janietz, A. Grafe, M. Gäbler, H.-J. Budig, W. Witt:** *Neue diskotische Verbindungen und Verfahren zur Herstellung optisch anisotroper Elemente*

DE 102 29 169 A1

**S. Janietz, W. Meyer, D. Grothe:** *Polymerer Festelektrolyt, Verfahren zu dessen Herstellung sowie elektrisches Bauteil, enthaltend einen Festpolymerelektrolyten*

AZ: 10 2011 102 438.0

**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*

AZ: PCT/EP 2011/003239

**H. Krüger, B. Kussmaul, K. Guggi, S. Risse:** *Dielektrische Polymere mit erhöhter Permittivität, Verfahren zu deren Herstellung sowie Verwendungszwecke hiervon*

AZ: PCT/EP 2011/004782

**H. Krüger, A. Wedel, B. Salert, S. Kreißl, M. Thesen:** *Materialien für organische Elektrolumineszenzvorrichtungen*

AZ: PCT/EP 2011/005179

**H. Krüger, W. Meyer, M. Wegener, C. Graf, O. Refle:** *Photovernetzende Elastomere für Rapid Prototyping*

AZ: 10 2011 012 480.2

AZ: PCT/EP 2011/004908

**J. Lang, G. Rafler:** *Thermisch stabile Matrixmikropartikel und Mikrokapseln für die Kunststoffadditivierung und Verfahren zu ihrer Herstellung*

DE 10 2006 016 307 A1

**A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch:** *Waschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe auf Basis von Acrylmonomeren*

AZ: 10 2011 112 778.3

**A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch:** *Waschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe auf Basis von Polyvenylamiden*

AZ: 10 2011 112 777.5

**A. Lehmann, H. Ebeling, H.-P. Fink:** *Verfahren zur Herstellung ligninhaltiger Precursorfasern sowie Carbonfasern*

AZ: 11 004 131.6

**C. Przybyla, O. Struck, A. Laschewsky, B.-R. Paulke, M. Hahn:** *Process for preparing a polymer dispersion and a polymer dispersion*

US 8 039 550 B2

**C. Przybyla, O. Struck, A. Laschewsky, B.-R. Paulke:** *Polymer Dispersion*

US 2011/0174 453 A1

**J. Storsberg:** *ArtCornea*

AZ: 30 2011 023 315.2/41

AZ: 10330165

**B. Volkert, S. Fischer, F. Loth, B. Langer, J. Engelhardt:** *Stärke-phosphate, Verfahren zu deren Herstellung und deren Verwendung*

EP 1 891 117 A1

**E. Wischerhoff, J.-F. Lutz, A. Laschewsky, N. Badi, C. Duschl:** *Thermoresponsives Multischichtsubstrat für biologische Zellen*

AZ: PCT/EP 2011/058666

# ANFAHRT

## HOW TO REACH US

### Anreise mit Bahn/Bus

#### ab Berlin Hauptbahnhof

– Regionalexpress RE1  
(Richtung Magdeburg Hbf)  
bis Potsdam Hbf

#### 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 RE1 (towards  
Magdeburg main station)  
to Potsdam main station

#### from Berlin 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

### Anreise mit der Bahn vom 11.12.2011 bis 8.12.2012

#### ab Berlin Hauptbahnhof oder Bahnhof Zoologischer Garten

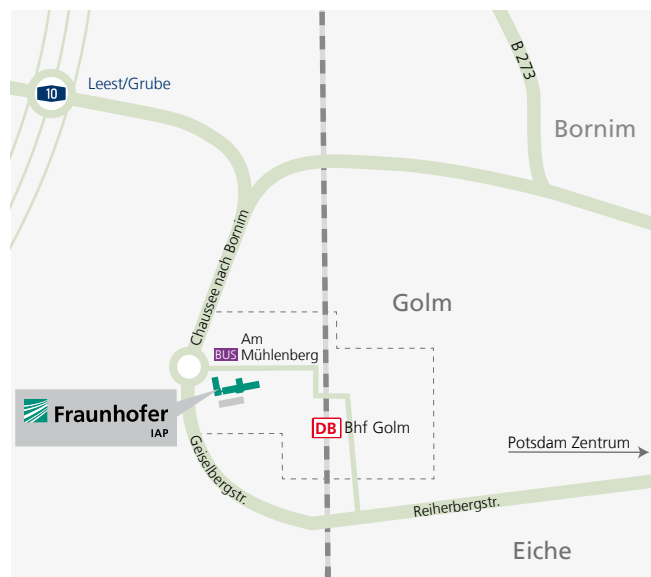
– Regionalexpress RE 1  
(Richtung Magdeburg Hbf  
bzw. Brandenburg)  
bis Bahnhof Golm  
– Am Bahnhof Golm der  
Strasse Am Mühlberg  
Richtung Fraunhofer IAP folgen  
(ca. 500 m)

### Arrival by train from 12/11/2011 to 12/8/2012

#### from Berlin main station or from Zoo station

– take the local train  
(Regionalexpress RE1)  
to Golm train station  
– from Golm train station follow  
the street Am Mühlberg in  
direction of Fraunhofer IAP  
(about 500 m)

### Übersichtskarte Potsdam-Golm Outlinemap Potsdam-Golm



# IMPRESSUM

## EDITORIAL NOTES

### **Anschrift der Redaktion**

Fraunhofer-Institut für Angewandte  
Polymerforschung IAP  
PR & Marketing

Geiselbergstr. 69  
14476 Potsdam-Golm  
Germany

Telefon +49 331 568-1151  
Fax +49 331 568-2551  
E-Mail [info@iap.fraunhofer.de](mailto:info@iap.fraunhofer.de)  
Internet [www.iap.fraunhofer.de](http://www.iap.fraunhofer.de)

### **Redaktion**

Dr. Sandra Mehlhase

### **Übersetzung**

able Sprachschule GbR

### **Satz und Gestaltung**

Astrid Dohms

### **Druck**

Brandenburgische Universitätsdruckerei  
und Verlagsgesellschaft Potsdam mbH

### **Bildverzeichnis**

Seiten 5, 7, 9, 23, 25, 43, 45, 63, 74, 89  
Till Budde

Seiten 52 (1), 53 (3)  
Fraunhofer ILT

Seite 65  
Michael Kompe

Seite 91  
Alexander Krause

Seiten 77, 105  
Shutterstock

Portraitfotos  
Seiten 16, 68 (Dr. Hahn), 55: Michael Kompe  
Seiten 16 (Prof. Löhmannsröben, Dr. Janietz,  
Dr. Wendler, Dipl.Ing. Jahn), 97, 99: privat  
Seite 16, 85 (Dr. Storsberg): Fraunhofer IAP  
Seite 16, 83 (Dr. Wischerhoff): Michael Lueder  
alle weiteren Portraits:  
Manuela Zydor

Fotos, wenn nicht anders angegeben,  
vom Fraunhofer IAP.

### **Address of the editorial office**

Fraunhofer Institute for Applied  
Polymer Research IAP  
PR & Marketing

Geiselbergstr. 69  
14476 Potsdam-Golm  
Germany

Fon +49 331 568-1151  
Fax +49 331 568-2551  
E-mail [info@iap.fraunhofer.de](mailto:info@iap.fraunhofer.de)  
Internet [www.iap.fraunhofer.com](http://www.iap.fraunhofer.com)

### **Editorial team**

Dr. Sandra Mehlhase

### **Translation**

able Sprachschule GbR

### **Layout**

Astrid Dohms

### **Printing house**

Brandenburgische Universitätsdruckerei  
und Verlagsgesellschaft Potsdam mbH

### **Photo acknowledgments**

Pages 5, 7, 9, 23, 25, 43, 45, 63, 74, 89  
Till Budde

Pages 52 (1), 53 (3)  
Fraunhofer ILT

Page 65  
Michael Kompe

Page 91  
Alexander Krause

Pages 77, 105  
Shutterstock

Portrait photos  
Pages 16, 68 (Dr. Hahn), 55: Michael Kompe  
Pages 16 (Prof. Löhmannsröben, Dr. Janietz,  
Dr. Wendler, Dipl.Ing. Jahn), 97, 99: privat  
Pages 16, 85 (Dr. Storsberg): Fraunhofer IAP  
Pages 16, 83 (Dr. Wischerhoff): Michael Lueder  
other portrait photos:  
Manuela Zydor

Photos are, if not indicated otherwise,  
by Fraunhofer IAP.