



Fraunhofer

IAP

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE POLYMERFORSCHUNG IAP | INSTITUTE FOR APPLIED POLYMER RESEARCH IAP

JAHRESBERICHT ANNUAL REPORT

2015 2016



INHALTSVERZEICHNIS

CONTENTS

Vorwort | 4
Preface

6

DAS INSTITUT **THE INSTITUTE**

Das Fraunhofer IAP im Überblick | 8
The Fraunhofer IAP at a glance
Organisation | 10
Organization
10 Jahre Fraunhofer PAZ | 12
10 years of Fraunhofer PAZ
Der neue Forschungsbereich –
Polymermaterialien und Composite PYCO | 14
Introducing our new research division –
Polymeric Materials and Composites PYCO
Selbstreplikation – Erzeugung von Nano-
strukturen nach dem Vorbild der Natur | 16
Self-replication – using nature as a model to
produce nanostructures
Kuratorium | 18
Advisory board
Das Institut in Zahlen | 20
The institute in figures
Die Fraunhofer-Gesellschaft | 22
The Fraunhofer-Gesellschaft
Fraunhofer-Verbund
Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS | 24
The Fraunhofer Group
for Materials and Components – MATERIALS

26

BIOPOLYMERE **BIOPOLYMERS**

Neue Produkte aus
nachwachsenden Rohstoffen | 28
New products made
from renewable raw materials
Anwendungen und Dienstleistungen | 32
Applications and services
Verarbeitungs-Struktur-Eigenschafts-
Untersuchung an PLA-Filamentgarn | 36
Investigating processing-structure-properties
in PLA filament yarn
Biobasierte thermoplastische Kunststoffe
aus Bagasse | 38
Biobased thermoplastics made from bagasse

40

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

Funktionswerkstoffe und Technologien | 42
Functional materials and technologies
Anwendungen und Dienstleistungen | 46
Applications and services
Herstellung flexibler Solarzellen in einem
kontinuierlichen Pilotprozess | 50
Using a continuous pilot scale process
to fabricate flexible solar cells
Photoaushärtbare Materialien für die
generative Fertigung im Tissue Engineering | 52
Photocurable materials for 3D printing in tissue
engineering

54

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

Prozess- und Materialentwicklung | 56
Process and Material Development
Anwendungen und Dienstleistungen | 60
Applications and services
Wiederbeladbare Mikropartikel für die
permanente Anbindung an Textilien | 62
Reloadable microparticles for permanent
attachment to textiles
sb-PLA: PLA-Typen mit verbesserten Material-
und Verarbeitungseigenschaften | 64
sb-PLA: PLA types with improved material
and processing properties

66

SPEZIALPOLYMERE SPECIALTY POLYMERS

Spezialpolymere – vom molekularen Design bis zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen | 68

Specialty Polymers – from molecular design to structure-property relationships

Anwendungen und Dienstleistungen | 72

Applications and services

Entwicklung von Mikroskopie-Bildanalysen zur Partikel- und Grenzflächen-Charakterisierung | 76

Development of microscopy image analysis for particle and interface characterization

Mit Antikörpern Tumore schnell erkennen | 78

Using antibodies to quickly identify tumors

Synthese hochfunktionaler Transmembranprotein-Polymer Konjugate | 80

Synthesis of highly functional transmembrane protein-polymer conjugates

82

PILOTANLAGEN- ZENTRUM PAZ PILOT PLANT CENTER PAZ

Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum PAZ | 84

Polymer technology at the Pilot Plant Center PAZ

Anwendungen und Dienstleistungen | 88

Applications and services

Superelastische Multipfropfcopolymere für den Einsatz in Pumpen sowie in der Medizin- und Lebensmitteltechnik | 90

Superelastic, multigrafted copolymers for use in pumps and medical- and food technology

92

POLYMER MATERIALIEN UND COMPOSITE PYCO POLYMERIC MATERIALS AND COMPOSITES PYCO

Polymermaterialien und Composite PYCO | 94

Polymeric Materials and Composites PYCO

Anwendungen und Dienstleistungen | 98

Applications and services

Wiederverwertung der Kabinenverkleidung

moderner Flugzeuge als Beispiel für

chemisches Recycling duromerbasierter

Faserverbundkunststoffe | 100

Reuse of cabin lining elements for modern

aircrafts as an example of the chemical recycling of thermoset-based fiber-reinforced polymers

CFK-Werkstoffe für die Luftfahrt mit intrinsischer

Dämpfung | 102

Aerospace CFRP with intrinsic damping

104

FAKTEN, EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN FACTS, EVENTS, PUBLICATIONS

Rückblick 2015 | 106

Review 2015

Ausstattung | 108

Equipment

Zusammenarbeit | 114

Collaboration

Patente | 122

Patents

Publikationen | 124

Publications

Anfahrt | 133

How to reach us

Standorte | 134

Locations

VORWORT

PREFACE

Auf neuen Wegen – Integrationen und Materialfunktionen

Mit dem vorliegenden Jahresbericht möchten wir Ihnen einen Einblick in die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Fraunhofer IAP geben, Rückschau auf das vergangene Jahr halten und einen Blick in die Zukunft wagen.

Nachdem ich im März 2015 die Institutsleitung von Prof. Dr. Hans-Peter Fink übernahm, habe ich das Institut mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sehr gut kennengelernt und die Forschungsfelder intensiv analysiert. Ende 2015 startete dann ein Strategieprozess, der die aktuellen Forschungs- und Entwicklungsrichtungen des Instituts auf den Prüfstand stellt. Der Zeitpunkt dafür ist äußerst passend, denn das Fraunhofer IAP hat in den vergangenen Monaten eine sehr breite thematische Erweiterung erfahren. So wurde mein Team aus Aachen in den neu strukturierten Forschungsbereich »Life Science und Bioprozesse« integriert. Mit dem Leitungswechsel im Forschungsbereich »Synthese- und Polymertechnik« wurde die Forschung an Formgedächtnispolymeren aufgenommen. Die bisherige Fraunhofer-Einrichtung PYCO mit ihren Standorten in Teltow und Wildau ist zudem als Forschungsbereich »Polymermaterialien und Composite PYCO« in das Fraunhofer IAP eingegliedert worden.

Das Portfolio der PYCO ergänzt mit seinen Einsatzbereichen im Leichtbau und in der Mikro- und Optoelektronik hervorragend das des Fraunhofer IAP und ermöglicht es uns, gemeinsam neue Forschungsfelder zu entwickeln und neue Kunden zu gewinnen.

Durch die Integration des Aachener Teams wird die biologisch-chemische Richtung des Instituts gestärkt. Hier werden sich zukünftige Aktivitäten auf den Einbau von biologischen Funktionalitäten in polymere Werkstoffe konzentrieren. Die resultierenden Materialien werden zum Teil völlig neue Eigenschaften haben und es ermöglichen, neue Anwendungsfelder im Bereich der Oberflächenveredelung, bei Klebstoffen, Waschmitteln und in der Kosmetik zu erschließen.

In Zusammenhang mit der Integration physikalisch-chemischer und biologischer Funktionalitäten in polymere Werkstoffe verfolgt das Fraunhofer IAP das Ziel, einen Forschungsschwerpunkt im Berlin-Brandenburgischen Umfeld unter Einbindung der Universität Potsdam zu errichten. Dieses Vorhaben wird großzügig durch die Ministerien für Wissenschaft, Forschung und Kultur sowie für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg unterstützt.

Freuen können wir uns auch über eine bauliche Erweiterung: Im Sommer 2016 eröffnet das Fraunhofer-Konferenzzentrum im Wissenschaftspark Potsdam-Golm, das als gemeinsame Einrichtung des Fraunhofer IAP und des Fraunhofer IZI-BB betrieben wird. Eine der ersten Veranstaltungen in dem neuen Gebäude ist unsere Kuratoriumssitzung im Juni.

Das Fraunhofer IAP konnte 2015 seine umfangreiche wirtschaftliche und wissenschaftliche Entwicklung fortsetzen. Das zeigt sich in zahlreichen Projekten und Kooperationen, aber auch in der Zahl der Präsentationen, Publikationen und Patente. All dies wäre ohne das Vertrauen der Auftraggeber und Kooperationspartner, ohne die bewährte Unterstützung durch das Kuratorium und durch die öffentlichen Fördergeber nicht möglich gewesen. Vor allem aber die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter stellen sich tagtäglich der Herausforderung, Forschung mit industrieller Entwicklung zu verbinden und Kunden und Partner in aller Welt zu bedienen und zu begeistern. Dafür danke ich allen sehr herzlich.



Taking new paths – integration and material functions

This annual report serves to offer you a glimpse of the research and development activities at the Fraunhofer IAP, as well as a chance to look back at the previous year and to venture a look into the future.

After taking over leadership of the institute from Prof. Dr. Hans-Peter Fink in March 2015, I have gotten to know the employees of the institute very well and have intensively analyzed its areas of research. At the end of 2015 we began a process to strategically evaluate the direction of the institute's current research and development. The timing is extremely fitting as the thematic focus of the Fraunhofer IAP has expanded widely over the past few months. For example, my team from Aachen has been integrated into the newly structured research department "Life Science and Bioprocesses". A change in leadership in the research department "Synthesis and Polymer Technology" instigated research on shape-memory polymers. The former Fraunhofer Research Institution PYCO with sites in Teltow and Wildau has also been integrated into the Fraunhofer IAP's research department "Polymeric Materials and Composites PYCO".

PYCO's portfolio excellently complements that of the Fraunhofer IAP, with activities in light-weight construction and micro and optoelectronics. This enables us to jointly develop new areas of research and gain new customers.

The integration of the team from Aachen strengthens the institute's biological and chemical focus. Future activities will focus on the incorporation of biological functionalities in polymer materials. The resulting materials will, to a certain degree, have completely new properties and enable new fields of application in the areas of surface finishing, adhesives, detergents and cosmetics.

In conjunction with the integration of physical, chemical and biological functionality in polymer materials, the Fraunhofer IAP aims to establish a research focus in the Berlin-Brandenburg region that involves the University of Potsdam. This project is being generously supported by the Ministries of Science, Research and Culture, and also for Economic Affairs and Energy, Brandenburg.

We are also looking forward to a structural expansion: Summer 2016 will see the opening of the Fraunhofer Conference Center in the Potsdam-Golm Science Park. The facility will be jointly run by the Fraunhofer IAP and the Fraunhofer IZI-BB. One of the first events to be held in the new building will be a meeting of our advisory board in June.

The Fraunhofer IAP was able to continue its extensive economic and scientific development in 2015. This is evident by its numerous projects and collaborations, as well as by the number of presentations, publications and patents. All of this would not be possible without the trust of our clients and cooperation partners, and without the proven support of the advisory board and public funding bodies. But, above all, it is down to our employees who take on the daily challenge of combining research with industrial development, and who serve and inspire customers and partners throughout the world. For this I would like to warmly thank everyone involved.



Prof. Dr. Alexander Böker

DAS INSTITUT

THE INSTITUTE

- 8** **Das Fraunhofer IAP im Überblick**
The Fraunhofer IAP at a glance
- 10** **Organisation | Organization**
- 12** **10 Jahre Fraunhofer PAZ**
10 years of Fraunhofer PAZ
- 14** **Der neue Forschungsbereich –**
Polymermaterialien und Composite PYCO
Introducing our new research division –
Polymeric Materials and Composites PYCO
- 16** **Selbstreplikation nach dem Vorbild der Natur**
zur Erzeugung von Nanostrukturen
Self-replication – using nature
as a model to produce nanostructures
- 18** **Kuratorium | Advisory board**
- 20** **Das Institut in Zahlen | The institute in figures**
- 22** **Die Fraunhofer-Gesellschaft**
The Fraunhofer-Gesellschaft
- 24** **Fraunhofer-Verbund Werkstoffe,**
Bauteile – MATERIALS
The Fraunhofer Group for Materials
and Components – MATERIALS



pioneers in polymers

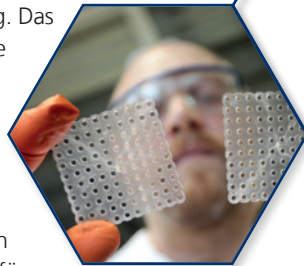


DAS FRAUNHOFER IAP IM ÜBERBLICK

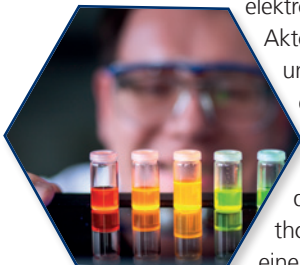
THE FRAUNHOFER IAP AT A GLANCE

Das Fraunhofer IAP ist spezialisiert auf Erforschung und Entwicklung von Polymeranwendungen. Es unterstützt Unternehmen und Partner bei der maßgeschneiderten Entwicklung und Optimierung von innovativen und nachhaltigen Materialien, Prozesshilfsmitteln und Verfahren. Neben der umweltschonenden, wirtschaftlichen Herstellung und Verarbeitung von Polymeren im Labor- und Pilotanlagenmaßstab bietet das Institut auch die Charakterisierung von Polymeren an.

Biopolymere | Die nachhaltige stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe steht im Zentrum der Biopolymerforschung. Das betrifft sowohl natürliche Polymere wie Cellulose, Stärke oder Lignin als auch biobasierte Kunststoffe wie Polylactid. Für Produkt- bzw. Materialentwicklungen stehen Compoundierung, Spritzgießen, Folienextrusion, Tiefziehen und Extrusionsblasformen zur Verfügung. Drei Spinnlinien gestatten industriennahe Faserentwicklung bis hin zur Konvertierung zu Carbonfasern. Außerdem können Biopolymere chemisch, enzymatisch oder physikalisch modifiziert werden, um bestehende Anwendungen zu optimieren bzw. neue Einsatzmöglichkeiten zu erschließen.



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



Synthese- und Polymertechnik | Der Forschungsbereich Synthese- und Polymertechnik ist spezialisiert auf die Synthese neuartiger Polymerstrukturen sowie die Entwicklung und Optimierung von Polymerisationsprozessen. Dabei bilden Heterokettenpolymere sowohl auf Basis fossiler als auch nachwachsender Rohstoffe einen Schwerpunkt. Die Mikroverkapselung von Wirk-

stoffen und Additiven sowie Partikelanwendungen gehören ebenfalls zum Forschungsspektrum. Weitere FuE-Richtungen stellen die Membrantechnologie und Formgedächtnispolymere dar.

Life Science und Bioprozesse | Im Forschungsbereich Life Science und Bioprozesse werden Biotechnologie, Nanotechnologie und Grenzflächenchemie mit klassischer Polymerforschung vereint und zur Entwicklung neuer funktionaler Biosysteme, kolloidaler Strukturen und Bio-Hybridmaterialien angewandt. Schwerpunkte bilden auch die Herstellung bzw. Gewinnung biobasierter Bausteine durch Fermentationsverfahren und biokatalytische Umsetzungen. Zusätzlich konzentrieren sich Forschung und Entwicklung auf »intelligente« Polymersysteme, Biomaterialien, Hydrogele, Implantate sowie neue Materialien und Produkte für Pharmazie, Medizin und Kosmetik.

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



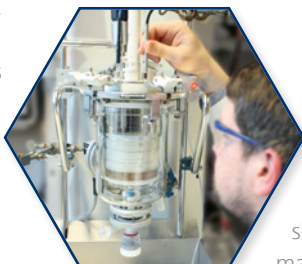
Polymermaterialien und Composite PYCO | Der Forschungsbereich Polymermaterialien und Composite PYCO entwickelt und erforscht Materialien aus vernetzten Kunststoffen sowie Composite aus mehreren miteinander verbundenen Materialien. Dies sind hauptsächlich Faser-Kunststoff-Verbunde. Die Fasern, vor allem Kohlenstoff-, Glas- oder Naturfasern, werden dabei als technische Textilien in Form von Geweben, Gestricen, Gewirken, Vliesen oder Filzen in einer Matrix aus Harz in speziell auf die spätere Anwendung angepasste Geometrien eingelassen, um hervorragende Materialeigenschaften bei vergleichsweise geringer Masse erreichen zu können.

The Fraunhofer IAP specializes in researching and developing polymer applications. It supports companies and partners in the customized development and optimization of innovative and sustainable materials, processing aids and processes. In addition to characterizing polymers, the institute also produces and processes polymers in an environmental-friendly and cost-effective way on a laboratory and pilot plant scale.

Biopolymers | The sustainable material use of renewable resources is the focus of our biopolymer research. This includes natural polymers, like cellulose, starch and lignin, as well as biobased plastics like polylactide. We use compounding, injection molding, film extrusion, deep drawing and extrusion blow molding to develop products and materials. Three spinning lines enable industry-relevant fiber development on up to carbon fiber conversion. Biopolymers can also be modified chemically, physically and enzymatically in order to optimize existing applications or to develop new fields of application.

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

Synthesis and Polymer Technology | The Synthesis and Polymer Technology research division specializes in the synthesis of novel polymer structures and the development and optimization of polymerization processes. Focus is on fossil-based and renewable-based heterochain polymers. Our research spectrum also includes the microencapsulation of active substances and additives, as well as particle applications. Other areas of R&D include membrane technology and shape-memory polymers.



Life Science und Bioprocesses | In the Life Science und Bioprocesses research division, biotechnology, nanotechnology and interface chemistry are combined with traditional polymer research to develop new functional biosystems, colloidal structures and bio-hybrid materials. Focus is also on the manufacture and production of biobased building blocks using fermentation processes and bio-catalytic conversions. Research and development also concentrate on "intelligent" polymer systems, biomaterials, hydrogels, implants and new materials and products for the pharmaceutical, medical and cosmetic industries.

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

Polymer Materials and Composites PYCO | The Polymer Materials and Composites PYCO research division develops and conducts research into materials made from cross-linked plastics and composites made from multiple interconnected materials. These are primarily fiber-plastic composites. The fibers, particularly carbon, glass or natural fibers – are used in technical textiles such as woven, knitted, crocheted, non-woven and felt fabrics. These are embedded in a resin matrix in special geometric shapes that are used in later applications. This results in excellent material properties that have a comparatively low weight.



ORGANISATION | ORGANIZATION

STAND MAI 2016 | STATUS MAY 2016

Institutsleitung | Management



Institutsleiter | Director
Prof. Dr. Alexander Böker
Telefon +49 331 568-1112
alexander.boeker@iap.fraunhofer.de



Verwaltungsleiterin | Head of administration
Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand
Telefon +49 331 568-1157
marina.hildenbrand@iap.fraunhofer.de

Biopolymere | Biopolymers Dr. Johannes Ganster



Lignocellulose | Lignocellulose
Dr. Bert Volkert
Telefon +49 331 568-1516
bert.volkert@iap.fraunhofer.de



Stärkemodifikation/Molekulare Eigenschaften | Starch Modification/Molecular Properties
Dr. Waltraud Vorwerg
Telefon +49 331 568-1609
waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de



Fasertechnologie | Fiber Technology
Dr. André Lehmann
Telefon +49 331 568-1510
andre.lehmann@iap.fraunhofer.de

Funktionale Polymersysteme | Functional Polymer Systems Dr. Armin Wedel



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 Seeböth (bis 6/2016)
Telefon +49 30 6392-4258
arno.seeböth@iap.fraunhofer.de

Synthese- und Polymertechnik | Synthesis and Polymer Technology Dr. Thorsten Pretsch



Mikroverkapselung/Partikelanwendungen | Microencapsulation/Particle Applications
Dipl.-Ing. Monika Jobmann
Telefon +49 331 568-1213
monika.jobmann@iap.fraunhofer.de



Polymersynthese | Polymer Synthesis
Dr. Antje Lieske
Telefon +49 331 568-1329
antje.lieske@iap.fraunhofer.de



Membrantechnologie | Membrane Technology
Dr. Detlev Fritsch (bis 6/2016)
Telefon +49 331 568-1515
detlev.fritsch@iap.fraunhofer.de

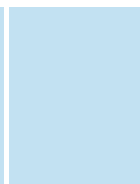
Life Science und Bioprozesse | Life Science and Bioprocesses Prof. Dr. Alexander Böker



Funktionale Proteinsysteme/Biotechnologie | Functional Protein Systems/Biotechnology
Prof. Dr. Alexander Böker
Telefon +49 331 568-1112
alexander.boeker@iap.fraunhofer.de



Funktionspolymere für die Medizintechnik | Functional Polymers for Medical Technology
Dr. Joachim Storsberg
Telefon +49 331 568-1321
joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de



Standardharze | Commodity Resins
Dr. Sebastian Steffen
Telefon +49 3328 330-246
sebastian.steffen@iap.fraunhofer.de

Polymermaterialien und Composite PYCO | Polymeric Materials and Composites PYCO



Leichtbauwerkstoffe und alternative Härtungsmethoden | Lightweight Design Materials and Alternative Curing Methods
Dr. Christian Dreyer
Telefon +49 3328 330-284
christian.dreyer@iap.fraunhofer.de



Standardharze | Commodity Resins
Dr. Sebastian Steffen
Telefon +49 3328 330-246
sebastian.steffen@iap.fraunhofer.de



Strukturharze | Structural Resins
Dipl.-Phys. Christoph Uhlig
Telefon +49 3328 330-290
christoph.uhlig@iap.fraunhofer.de



Strategie & Marketing | Strategy & Marketing

Prof. Dr. Dieter Hofmann

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



**Materialentwicklung und Struktur-
charakterisierung | Material Develop-
ment and Structure Characterization**

Dr. Johannes Ganster

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



**Verarbeitungstechnik Biopoly-
mere Schwarzheide | Processing
Pilot Plant for Biopolymers**

Dipl.-Ing. Thomas Büsse

Telefon +49 331 568-3403
thomas.buesse@iap.fraunhofer.de



**Sensoren und Aktoren |
Sensors and Actuators**

Priv.-Doz. Dr. habil. Michael Wegener

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



**Formgedächtnispolymere |
Shape-Memory Polymers**

Dr. Thorsten Pretsch

Telefon +49 331 568-1414
thorsten.pretsch@iap.fraunhofer.de

Pilotanlagenzentrum PAZ | Pilot Plant Center PAZ * Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke



**Polymersynthese |
Polymer Synthesis**

Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke

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



**Synthese und Produktentwicklung |
Synthesis and Product Development**

Dr. Ulrich Wendler

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



**Scale-up und Pilotierung |
Scale-up and Pilot Testing**

Dipl.-Ing. Marcus Vater

Telefon +49 3461 2598-230
marcus.vater@iap.fraunhofer.de

* gemeinsam betrieben mit dem Fraunhofer IMWS | Jointly operated with the Fraunhofer IMWS

Dr. Christian Dreyer (acting)



**Strukturharze |
Structural Resins**

Dr. Olaf Kahle

Telefon +49 3328 330-276
olaf.kahle@iap.fraunhofer.de



**Verarbeitungstechnik |
Processing Technologies**

Björn Schöbe

Telefon +49 3328 330-361
bjoern.schoebe@iap.fraunhofer.de

10 JAHRE FRAUNHOFER PAZ

10 YEARS OF FRAUNHOFER PAZ

Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ in Schkopau hat sich seit 2005 zu einer europaweit einzigartigen Forschungseinrichtung auf den Gebieten der Polymersynthese und der Polymerverarbeitung im industrienahen Maßstab entwickelt.

Zum zehnjährigen Jubiläum wurde das Fraunhofer PAZ am 19. Oktober 2015 in einem Festakt als eine ostdeutsche Erfolgsgeschichte gewürdigt. Es gratulierten unter anderem Prof. Dr. Johanna Wanka, Bundesministerin für Bildung und Forschung, Dr. Reiner Haseloff, Ministerpräsident des Landes Sachsen-Anhalt, und Prof. Dr. Sabine Kunst, die damalige Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg. Mehr als 140 Gäste aus Politik, Wirtschaft und Forschung nahmen an der Veranstaltung im ValuePark® Schkopau teil.

Das Fraunhofer PAZ ist eine gemeinsame Einrichtung der Fraunhofer-Institute für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam-Golm und für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle. Unter der Leitung von Prof. Michael Bartke werden neue Polymerprodukte und innovative

Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette entwickelt – vom Monomer über die Polymersynthese und Kunststoffverarbeitung im Pilotmaßstab bis hin zum geprüften Bauteil nach Maß.

Die Wissenschaftler am Fraunhofer PAZ betreiben angewandte Forschung für regionale, nationale und internationale Industriekunden. Im Pilotmaßstab entwickeln sie beispielsweise Synthesekautschuke für Fahrzeugreifen der neusten Generation, Leichtbau-Komponenten für die Autoindustrie oder energieeffiziente Prozesse für die Kunststoffbranche. Einzigartig in Europa ist dabei die Möglichkeit, Syntheseverfahren und Polymerverarbeitung vom Labormaßstab bis zur Serienreife zu entwickeln und zu optimieren.

Vor zehn Jahren arbeiteten 13 Mitarbeiter im PAZ. Heute zählt die Belegschaft knapp dreimal so viele Angestellte. In den nächsten Jahren soll sie um weitere 18 Mitarbeiter wachsen, denn im Rahmen der »Regionalen Innovationsstrategie« der Landesregierung Sachsen-Anhalts wird die Anlage bis 2018 weiter ausgebaut.

»Bei seiner Gründung war das Fraunhofer PAZ ein mutiges Experiment. Nach 10 Jahren zeigt sich: das Experiment ist gelungen! Investitionen in Bildung, Forschung und Entwicklung ermöglichen nachhaltiges Wachstum und sichern qualifizierte Arbeitsplätze.«

Prof. Dr. Johanna Wanka, Bundesministerin für Bildung und Forschung

“The Fraunhofer PAZ was a courageous experiment when it was founded. After 10 years the experiment has been shown to be a success! Investments in training, research and development promote sustainable growth and secure qualified jobs.”

Prof. Dr. Johanna Wanka, Federal Minister of Education and Research



Since its establishment in 2005, the Fraunhofer Pilot Plant Center for Polymer Synthesis and Processing PAZ in Schkopau has developed into a unique research institution in Europe that offers polymer synthesis and polymer processing on an industry-relevant scale.

Festivities were held on October 19, 2015 to mark its 10th anniversary at which the Fraunhofer PAZ was hailed an East-German success story. Many people offered their congratulations, including Prof. Dr. Johanna Wanka, Federal Minister of Education and Research, Dr. Reiner Haseloff, Minister President of the State of Saxony-Anhalt, and Prof. Dr. Sabine Kunst, Minister of Science, Research and Culture of the State of Brandenburg. More than 140 guests from politics, industry and research took part in the celebrations which were held at the ValuePark® in Schkopau.

The Fraunhofer PAZ is a joint facility of the Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP in Potsdam-Golm and the Fraunhofer Institute for Microstructure of Materials and Systems IMWS in Halle. Headed by Prof. Michael Bartke, the PAZ develops new polymer products and innovative technologies along the entire value chain – from monomers, polymer synthesis and polymer processing on a pilot scale to made-to-measure component testing.

Scientists at the Fraunhofer PAZ conduct applied research for regional, national and international industry customers.

They develop synthetic rubber on a pilot scale, for example, for the latest generation in car tires, light-weight components for the automotive industry, and energy-efficient processes for the plastics industry. Its ability to develop and optimize synthesis methods and polymer processes on a lab scale, on up until the product is ready for series production, is unprecedented in Europe.

Ten years ago the PAZ employed 13 people. Since then staff numbers have nearly tripled. In the coming years the company will acquire a further 18 members of staff, as the plant will continue to be expanded until 2018 as part of the "Regional Innovation Strategy" of the government of Saxony-Anhalt.



DER NEUE FORSCHUNGSBEREICH – POLYMER MATERIALIEN UND COMPOSITE PYCO INTRODUCING OUR NEW RESEARCH DIVISION – POLYMERIC MATERIALS AND COMPOSITES PYCO

Am 1. Januar 2016 wurde die bisherige Fraunhofer-Einrichtung Polymermaterialien und Composite PYCO als sechster Forschungsbereich in das Fraunhofer IAP integriert. Die Forschungsschwerpunkte und die Marke PYCO bleiben erhalten und werden unter dem neuen Dach weiterentwickelt und ausgebaut. An den Standorten Teltow und Wildau forschen 36 Mitarbeiter an hochvernetzten Polymeren, so genannten Thermosets, für Anwendungen in einer Vielzahl von Branchen, darunter Luftfahrt, Schienenfahrzeugbau, Automotive, Informations- und Kommunikationstechnik und Gerätetechnik.

Im Herbst 2015 war Prof. Monika Bauer als Leiterin der Fraunhofer PYCO in den Ruhestand eingetreten. Der Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft entschied, dass die Einrichtung in das Fraunhofer IAP integriert wird. Dr. Christian Dreyer ist seit Januar 2016 kommissarischer Leiter des Forschungsbereichs.

Zurzeit befindet sich der Neubau eines Forschungsgebäudes am Standort Wildau als Kern eines Kompetenzzentrums für energie- und ressourceneffizienten Leichtbau in der Region Berlin-Brandenburg in Planung. Das Projekt soll mit EFRE-, Landes- und Bundesmitteln realisiert werden und die

»Durch die Kombination der IAP-Kompetenzen zu Fasertechnologie und Scale-Up mit der Expertise des neuen Forschungsbereichs PYCO zu faserverstärkten Kunststoffen für Leichtbauanwendungen wird das Leistungsangebot des Fraunhofer IAP deutlich erweitert. Wir können den Industriekunden nun eine komplette in-House-Lösung für moderne Leichtbauwerkstoffe zur Verfügung stellen.«

Dr. Christian Dreyer, Leiter (komm.) des Forschungsbereichs Polymermaterialien und Composite PYCO

Kooperationsmöglichkeiten innerhalb des Fraunhofer IAP ergeben sich unter anderem durch die Scale-up-Kompetenzen des Fraunhofer-Pilotanlagenzentrums PAZ in Schkopau. Hier können an der PYCO entwickelte alternative Harzsysteme in den industrienahen Maßstab übertragen werden. Auch die Kompetenzen in der Displaytechnologie ergänzen sich geradezu idealtypisch: während im neuen Forschungsbereich PYCO bistabile Flüssigkristallsysteme entwickelt werden, ist der Forschungsbereich Funktionale Polymersysteme des Fraunhofer IAP auf Displays spezialisiert, die auf organischen Leuchtdioden basieren.

Zusammenführung der bisher auf die Standorte Teltow und Wildau verteilten FuE-Aktivitäten ebenso ermöglichen wie einen weiteren Ausbau der Kernkompetenzen des Forschungsbereichs PYCO.



On January 1, 2016 the former Fraunhofer Research Institution Polymer Materials and Composites PYCO was integrated into the Fraunhofer IAP and became our sixth research division. PYCO's research focus and trademark will remain intact and will be further developed and expanded under the new roof. At its sites in Teltow and Wildau, 36 employees conduct research into highly crosslinked polymers, so-called thermosets, for applications in various sectors, including aviation and railway vehicle construction, and for automotive, information, communication and equipment technology.

Prof. Monika Bauer, former head of the Fraunhofer PYCO, retired in the fall of 2015. The executive board of the Fraunhofer-Gesellschaft decided that the research institution would be integrated into the Fraunhofer IAP. Dr. Christian Dreyer has held the provisional leadership of the research division since January 2016.

Planning is currently underway on a new research building at the Wildau site which will form the core of a center of competency for energy- and resource-efficient light-weight

"The range of services offered by the Fraunhofer IAP has increased considerably due to the fact that the competencies in fiber technology and scale up at the IAP have been combined with the expertise of the new research division, PYCO, whose focus is on fiber-reinforced plastics for light-weight construction applications. Now we are able to provide industrial customers with complete, in-house solutions for modern, lightweight materials."

Dr. Christian Dreyer, Director (acting) of the research division Polymeric Materials and Composites PYCO

There are also cooperation opportunities within the Fraunhofer IAP due to the scaling up competencies of the Fraunhofer Pilot Plant Center PAZ in Schkopau. Here alternative resin systems, developed at PYCO, can be scaled up to an industry-relevant scale. Competencies in display technology also complement one another in an ideal way: while bi-stable liquid crystal systems are developed in the new PYCO research division, the Functional Polymer Systems research division at the Fraunhofer IAP specializes in displays based on organic light-emitting diodes.

construction in the Berlin-Brandenburg region. The project will be implemented using EFRE, state and federal funding, and allow the R&D activities, which were previously shared between the Teltow and Wildau sites, to be amalgamated. It will also enable the expansion of the core competencies of the PYCO research division.

SELBSTREPLIKATION – ERZEUGUNG VON NANO-STRUKTUREN NACH DEM VORBILD DER NATUR

SELF-REPLICATION – USING NATURE AS A MODEL TO PRODUCE NANOSTRUCTURES

Im März 2015 erhielt Prof. Alexander Böker den renommierten ERC Consolidator Grant vom Europäischen Forschungsrat (ERC). Sein Forschungsprojekt RepliColl wird mit 1,9 Millionen Euro für fünf Jahre gefördert. Seine Forschung soll den Weg zu völlig neuen Fertigungstechniken für Bauteile in der Telekommunikation und Informationstechnik sowie für Bausteine in der Pharmabranche und der Nanoelektronik ebnen.

Prof. Böker und sein Team möchten von der DNA-Synthese der Natur lernen. Ziel ist es, sich selbst replizierende biologische Vorgänge nachzubilden und auf künstliche Systeme zu übertragen: »Wir wollen Materialien schaffen, die in der Lage sind, sich selbst zu kopieren«, erklärt Böker. Dazu entwickelt er Kolloide aus Polymeren, also winzige kugelförmige Gebilde, die zwischen 20 Nanometer und einem Mikrometer groß sind.

Das Verdopplungsprinzip: Es gibt eine Art Masterstruktur, in der Kolloide wie bei einer Perlenschnur untereinander fest verbunden sind. Nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip lagern sich freie, komplementäre Kolloide daran an – ein Doppelstrang entsteht. Dieser kann sich wie ein Reißverschluss öffnen. Bei jedem gebildeten Einzelstrang wiederholt sich der Prozess. Das geht, solange freie passende Kolloide zur Verfügung stehen. Am Ende gibt es beliebig viele selbst-identische Kopien der Ausgangsstruktur.

Als Modell nutzen die Forscher für ihre Arbeit zunächst Teilchen im Mikrometerbereich. Ihre Größe entspricht etwa der Hälfte des Durchmessers eines menschlichen Haares. Sie sind in einem normalen Lichtmikroskop sichtbar. Später sollen die Teilchen in den Bereich von einem Tausendstel oder auch Zehntausendstel eines Haardurchmessers gehen. Diese sind dann nur noch unter dem Elektronenmikroskop zu sehen. Strukturen in diesem Größenbereich lassen sich nicht industriell fertigen. Jede einzelne Struktur müsste unter dem Elektronenmikroskop gefertigt werden, was nicht bezahlbar ist. Wenn die Idee der Wissenschaftler funktioniert, müsste der Aufwand nur einmal betrieben werden. Den Rest erledigen die Teilchen selbst. Solche kleinen Strukturen finden sich z. B. in Bauteilen für Displays oder Speichermedien, aber auch in Transportkapseln in der Pharmaindustrie oder in Sicherheitsmerkmalen zur Bekämpfung der Produktpiraterie. Für die Industrie würde diese Methode eine intelligente, ressourcen-effiziente und maßgeschneiderte Fertigung von Bauteilen im Rahmen der vierten industriellen Revolution bedeuten.

Der ERC Consolidator Grant wird jährlich an exzellente Wissenschaftler in einem hoch kompetitiven, zweistufigen Auswahlverfahren in der gesamten EU vergeben. Mit den Preisgeldern sollen die Forscher ihre Teams stärken und ihre innovativsten Ideen verwirklichen.



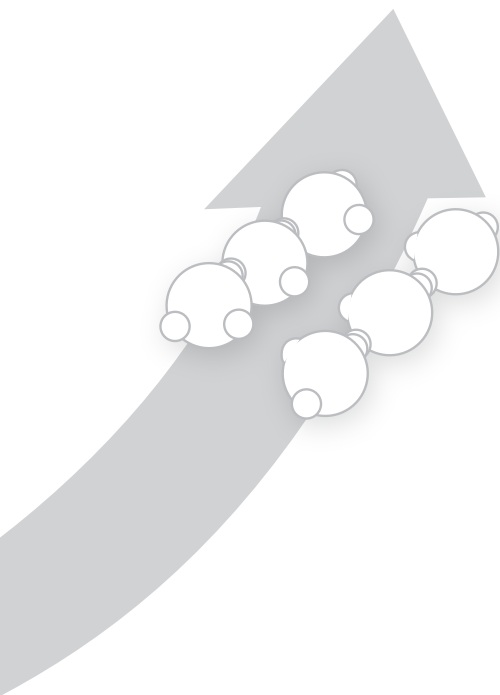
Prof. Alexander Böker received the renowned ERC Consolidator Grant from the European Research Council (ERC) in March 2015. His research project RepliColl will receive 1.9 million euros of funding over five years. His research should smooth the way for completely new technologies for manufacturing components for the telecommunications and IT industries, and for building blocks in the pharmaceutical industry and in nanoelectronics.

Prof. Böker and his team intend to learn from nature's DNA synthesis. Their aim is to reproduce self-replicating biological processes and to transfer these to artificial systems: "We would like to create materials that are capable of replicating themselves", explains Böker. To do this he has developed polymeric colloids, in other words, tiny spherical structures measuring between 20 nanometers and one micrometer.

The duplication principle works as follows: there is a master structure in which the colloids are tightly joined to one another – like a string of pearls. According to the lock and key principle, free, complementary colloids bind to it creating a double strand. This can open up like a zipper. This process is repeated for every individual string that forms. This happens as long as free colloids of the right type are available. The result is any number of identical copies of the initial structure.

The researchers use micrometer-sized particles as their model. These particles measure roughly half of a diameter of a human hair and they can be seen through a normal light microscope. Later, the particles should measure only a thousandth or ten-thousandth of a diameter of a hair. Then they will only be visible under an electron microscope. Structures on this scale cannot be manufactured industrially. Every single structure would have to be produced under an electron microscope, which is unaffordable. If the scientists' idea works, time and effort only have to be invested once, the particles would do the rest. Such tiny structures are found, for instance, in the components of displays or storage media. They are also found in transport capsules in the pharmaceutical sector and as security features for combating product piracy. The method would give the industry an intelligent, resource-efficient and tailored way of manufacturing components in the fourth industrial revolution.

The ERC Consolidator Grant is awarded annually to excellent scientists throughout the EU as part of a highly competitive, two-round selection process. The prize money should help the researchers strengthen their team and to realize their most innovative ideas.





KURATORIUM ADVISORY BOARD

Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Mitglieder des Kuratoriums des Fraunhofer IAP waren 2015:

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 of the Fraunhofer IAP in 2015:

Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum

Vorsitzender des Kuratoriums
Henkel KGaA, Düsseldorf

Dr. Stefan Dreher

BASF SE, Ludwigshafen

Dipl.-Ing. Ulrich Hamann

Bundesdruckerei GmbH, Berlin

Staatssekretär a.D. Henning Heidemanns

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim

Universität Kassel

Dr. Claudia Herok

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur
des Landes Brandenburg

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

Präsidentin der Humboldt-Universität zu Berlin,
Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur
des Landes Brandenburg a.D.

Prof. Dr. Dr. h. c. Jürgen Kurths

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

Prof. Dr. Dr. h. c. Helmuth Möhwald

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

Prof. Dr. Patrick O'Brien

Universität Potsdam

Dr. Andreas Pachten

MT.DERM GmbH, Berlin

Prof. Dr. Friedhelm Pracht

Alfred Pracht Lichttechnik GmbH, Dautphetal

Dr.-Ing. Andreas Schütte

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow

Dr. Birgit Reiche

Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde

Prof. Dr. Ulrich Schwaneberg

Institut für Biotechnologie, RWTH Aachen

Prof. Dr. Robert Seckler

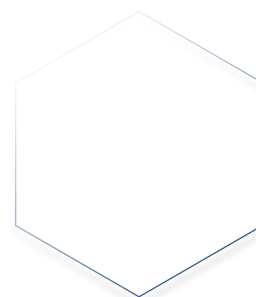
Vizepräsident für Forschung und wissenschaftlichen
Nachwuchs der Universität Potsdam

Prof. Dr.-Ing. Manfred H. Wagner

Technische Universität, Berlin

Dr. Bernd Wohlmann

Toho Tenax Europe GmbH, Wuppertal



KURATORIUM PYCO

ADVISORY BOARD PYCO

Mitglieder des Kuratoriums der Fraunhofer PYCO waren 2015:

Prof. Dr. Michael W. Linscheid

Vorsitzender des Kuratoriums
Institut für Chemie, Humboldt-Universität zu Berlin

Dr. Daniel Decker

Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, Frankfurt am Main

Prof. Dr. Alex Dommann

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Empa, St. Gallen (Switzerland)

MinDirig Carsten Feller

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des
Landes Brandenburg

Dr. Steffen Kammradt

ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH, Potsdam

Prof. Dr. Reinhard Lorenz

Fachhochschule Münster, Steinfurt

The following persons were members of the advisory board of the Fraunhofer PYCO in 2015:

Prof. Dr. Hildburg Spiegel

QT Quantum Transition - Gesellschaft für Unternehmensentwicklung, Wissenschaftliche Vereinigung,
Lübeck (Germany) und Baar (Switzerland)

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (NUWM, UA)

DSc. h.c. Jörg Steinbach Hon.-Prof. (ECUST, CN)

Präsident der Brandenburgischen Technischen Universität
Cottbus-Senftenberg

Heinrich von Paulgerg

HvP Consult, Wörthsee

Mitte 2016 wird ein gemeinsames Kuratorium von Fraunhofer IAP und dem eingegliederten Fraunhofer PYCO gebildet.

A joint advisory board between the Fraunhofer IAP and the integrated Fraunhofer PYCO will be formed in mid-2016.

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

THE INSTITUTE IN FIGURES

Mitarbeiter des Fraunhofer IAP

Ende 2015 waren im Fraunhofer IAP insgesamt 180 Personen beschäftigt.

Mitarbeiter des Fraunhofer PYCO

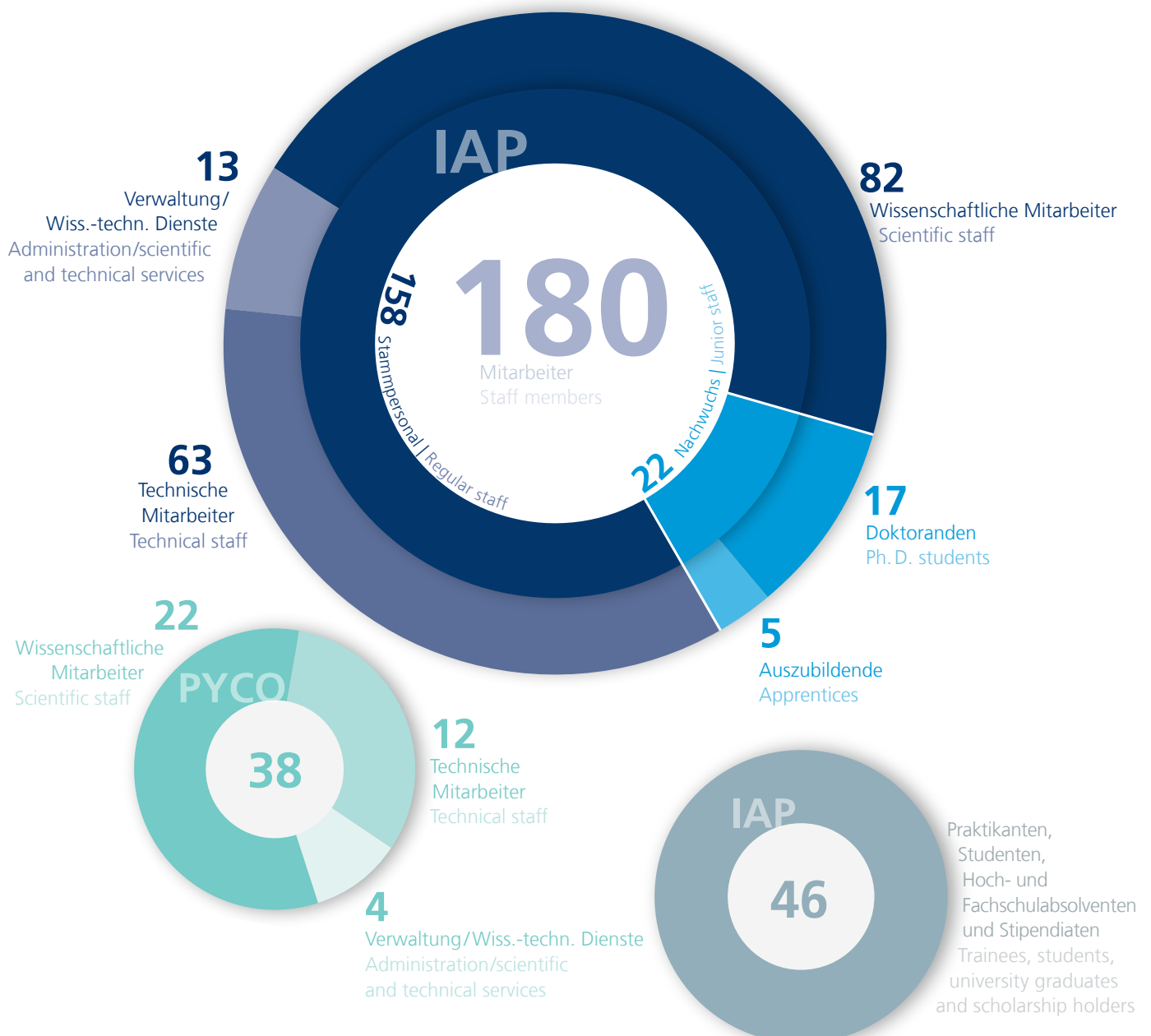
Ende 2015 waren im Fraunhofer PYCO insgesamt 38 Personen beschäftigt.

Human resources of the Fraunhofer IAP

At the end of 2015, the Fraunhofer IAP employed 180 people.

Human resources of the Fraunhofer PYCO

At the end of 2015, the Fraunhofer PYCO employed 38 people.



Betriebshaushalt des Fraunhofer IAP

Der Betriebshaushalt betrug im Jahr 2015 ca. 16,4 Millionen Euro. Die externen Erträge beliefen sich auf 10,8 Millionen Euro, davon 34,6 Prozent Erträge aus der Wirtschaft.

Investitionshaushalt

2015 lagen die Normalinvestitionen des Fraunhofer IAP bei 1,3 Millionen Euro. Die Ausstattung der Abteilung Funktionale Polymersysteme/Biotechnologie wurde um ein Rasterkraftmikroskop (FastScan AFM) erweitert (350 000 Euro).

Betriebshaushalt des Fraunhofer PYCO

Der Betriebshaushalt betrug im Jahr 2015 ca. 3,8 Millionen Euro.

Investitionshaushalt

Es wurden Investitionen in Höhe von 351 000 Euro getätigt.

Operating budget of the Fraunhofer IAP

The operating budget for 2015 was approximately 16.4 million euros.

External income amounted to 10.8 million euros, 34.6 percent of this was income from industry.

Investment budget

In 2015 normal investments amounted to 1.3 million euros at the Fraunhofer IAP. An atomic force microscope (FastScan AFM) was purchased for the Functional Protein Systems/Biotechnology department for 350,000 euros.

Operating budget of the Fraunhofer PYCO

The operating budget for 2015 was approximately 3.8 million euros.

Investment budget

Investments were made in the amount of 351,000 euros.

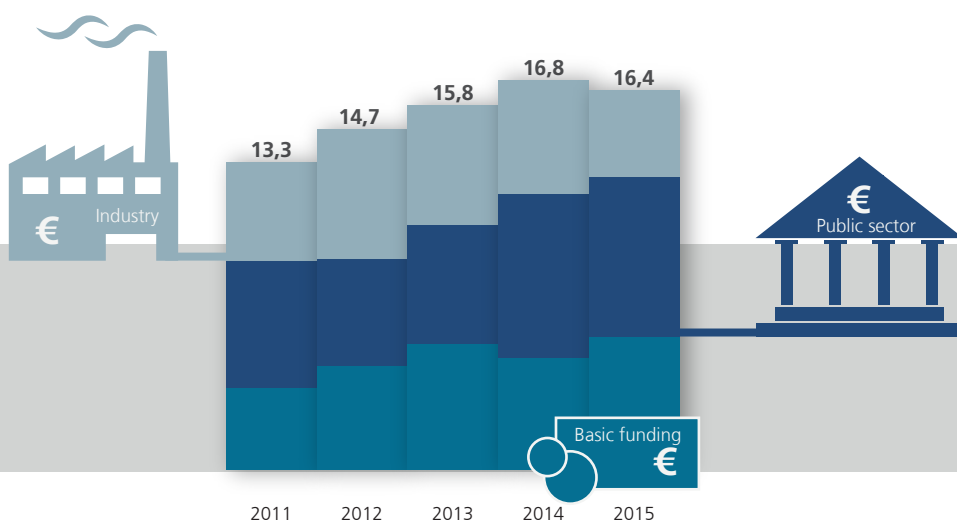


Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand

Telefon +49 331 568-1157

marina.hildenbrand@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact



IAP

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 67 Institute und Forschungseinrichtungen. 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,8 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Mehr als 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

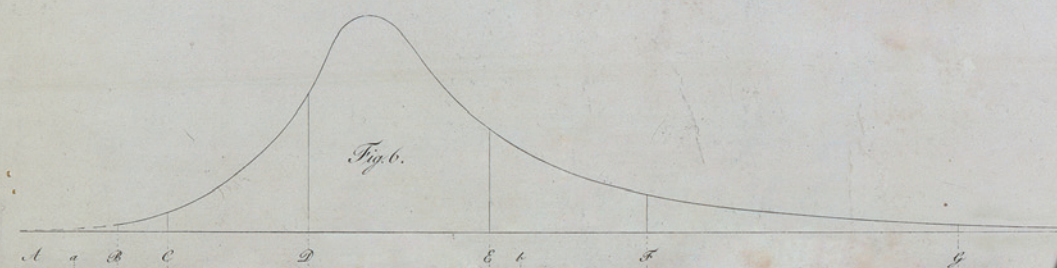
Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

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

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

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





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

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains 67 institutes and research units. The majority of the 24,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of more than 2.1 billion euros. Of this sum, more than 1.8 billion euros is generated through contract research. More than 70 percent of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Almost 30 percent is contributed by the German federal and Länder governments in the form of base funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

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

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

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

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

FRAUNHOFER-VERBUND WERKSTOFFE, BAUTEILE – MATERIALS

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

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

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

Schwerpunktthemen des Verbunds sind:

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

Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

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

Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds:

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner

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

Stellv. Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds:

Prof. Dr. Peter Gumbsch

Fraunhofer-Institut für
Werkstoffmechanik IWM
Wöhlerstr. 11
79108 Freiburg

Geschäftsstelle:

Dr. phil. nat. Ursula Eul

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

www.materials.fraunhofer.de

THE FRAUNHOFER GROUP FOR MATERIALS AND COMPONENTS – MATERIALS

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

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

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

Key aims of the Group are:

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

The Group comprises the Fraunhofer Institutes for

- Applied Polymer Research IAP
- Building Physics IBP
- Ceramic Technologies and Systems IKTS
- Chemical Technology ICT
- High-Speed Dynamics, Ernst-Mach-Institut, EMI
- Industrial Mathematics ITWM
- Interfacial Engineering and Biotechnology IGB
- Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM
- Mechanics of Materials IWM
- Microstructure of Materials and Systems IMWS
- 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 Fraunhofer group:

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

Deputy chairman of the Fraunhofer group:

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

Central office:

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

www.materials.fraunhofer.de

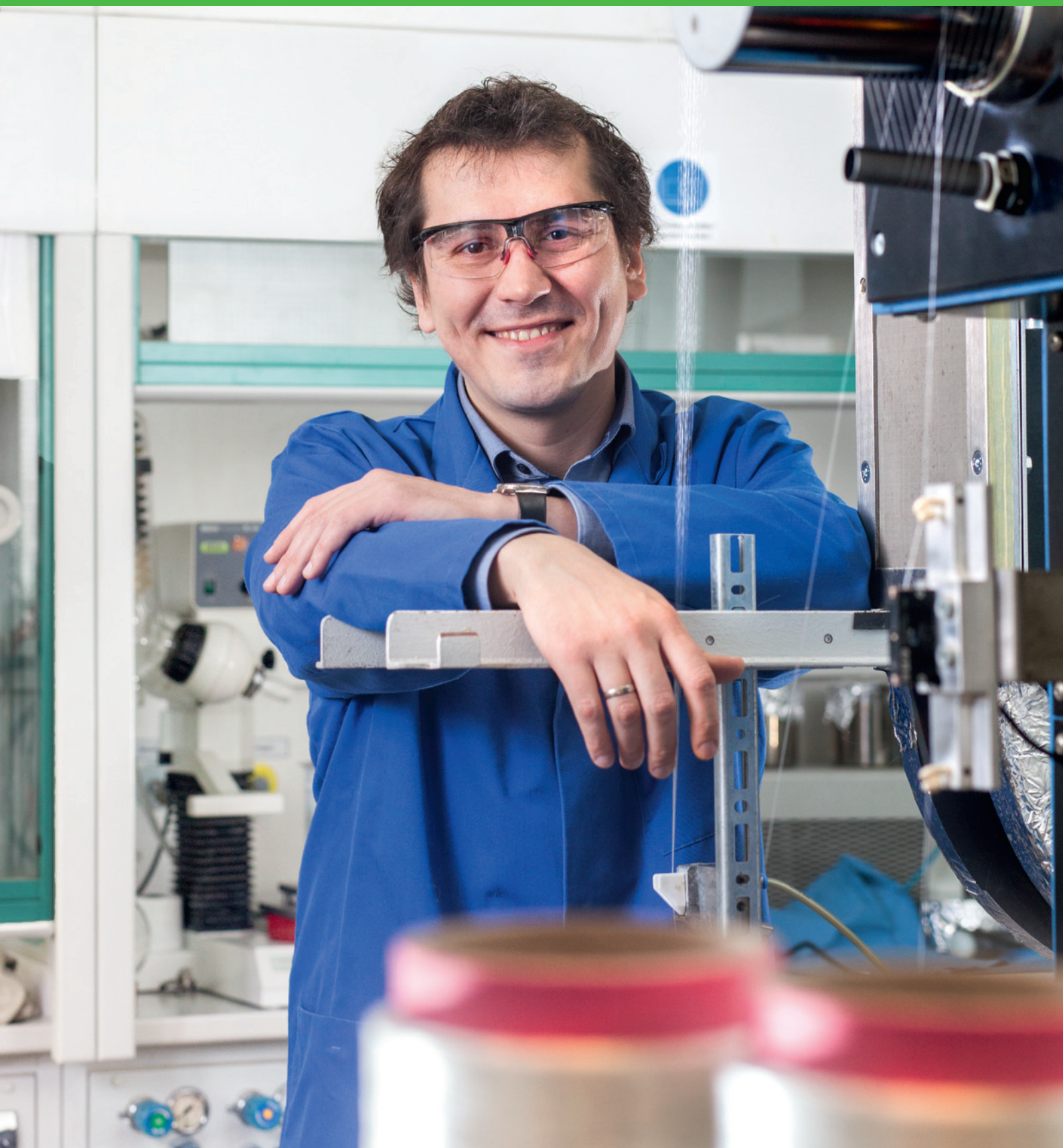
BIOPOLYMERE

BIOPOLYMERS

- 28** Neue Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen
New products made from renewable raw materials
- 32** Anwendungen und Dienstleistungen
Applications and services
- 36** Verarbeitungs-Struktur-Eigenschafts-Untersuchung
an PLA-Filamentgarn
Investigating processing-structure-properties
in PLA filament yarn
- 38** Biobasierte thermoplastische Kunststoffe aus Bagasse
Biobased thermoplastics made from bagasse



pioneers in polymers



NEUE PRODUKTE AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN

Die Natur synthetisiert eine beeindruckende Vielfalt von nieder- und makromolekularen Strukturen, die nach geeigneter Aufbereitung als Ausgangsstoffe für Biopolymerprodukte verschiedenster Art dienen können. Nachhaltige Innovationen für die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe stellen daher, in Einklang mit dem gesellschaftlichen Megatrend der Nachhaltigkeit und in Richtung auf eine biobasierte Ökonomie, das Grundanliegen der Biopolymerforschung am Fraunhofer IAP dar.

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

Fasern, Folien und Nonwovens

Für die Herstellung von Fasern, Folien und Nonwovens werden neue Verfahren entwickelt, aber auch etablierte Verfahren optimiert und an alternative Rohstoffe angepasst. In der Anwendung von Celluloseregenerat-Technologien stehen neben dem Viskoseverfahren umweltfreundliche Alternativen wie die Lyocell-Technologie und das Carbamatverfahren im Vordergrund. Darauf angepasste, umfangreiche und variable Anlagen zum Lösungsspinnen stehen im Labor- und Technikumsmaßstab zur Verfügung. Besonderes Highlight ist eine modular aufgebaute, anpassbare Nassspinnlinie, mit der Garne mit bis zu 3000 Filamenten ersponnen werden können. Die Forschungsarbeiten in diesem Bereich konzentrierten sich auf cellulosische Systeme in Kombination mit anderen biobasierten Komponenten, sowie deren Spinnbarkeit und Eignung als Precursor für Carbonfasern.

Für das Schmelzspinnen steht eine Bikomponentenanlage mit einer Abzugsgeschwindigkeit von bis zu 1800 m/min zur Verfügung, mit der industrielle Schmelzspinnprozesse abgebildet werden können. Im Vordergrund standen im vergangenen Jahr das Verarbeitungsverhalten biobasierter Thermoplaste und Untersuchungen zu Bikomponentenfasern auf der Basis von PLA, wobei PDLA und PLLA kombiniert wurden, um höhere thermische Beständigkeiten zu erzeugen.

Zur Konvertierung von Precursoren zu Carbonfasern stehen zwei Dreizonenöfen bis 900 °C und ein Carbonisierungs-ofen mit 6 Zonen bis 2000 °C zur Verfügung. Über die spannungsgeregelten Fadenführungen können Multifilamentgarne während der Prozesse gezielt deformiert und so optimierte Konvertierungsregimes realisiert werden. 2015 erfolgten detaillierte Prozessoptimierungen ausgehend von selbst ersponnenen alternativen Precursormaterialien.

Biobasierte Mehrschichtfolien und optimierte Rezepturen für die Blasfolienverarbeitung, sowie Tiefziehen und 3D-Druck waren und sind Themenfelder, die im Verarbeitungstechnikum Biopolymere des Fraunhofer IAP in Schwarzeheide bearbeitet werden. In enger Kooperation mit den Unternehmen werden Lösungen erarbeitet, um die anwendungsspezifischen Anforderungen auf der Basis biobasierter bzw. bioabbaubarer Materialsysteme zu erfüllen.

Alle Strukturbildungsprozesse werden durch eine detaillierte Analytik und Strukturcharakterisierung (Elektronenmikroskopie, Röntgenbeugung, Spektroskopie etc.) begleitet. Auf diese Weise werden Verarbeitungs-Struktur-Eigenschafts-Korrelationen aufgeklärt, die eine effektive Optimierung der Prozesse gestatten.

Biobasierte Composite und Blends

Faserverstärkte biobasierte oder partiell biobasierte Spritzguss-Compounds mit cellulosischer Verstärkung bilden seit langem ein Thema im Forschungsbereich Biopolymere. Einerseits werden lignocellulosische Produkte aus Restströmen (z. B. Bagasse) aufbereitet und auf deren Eignung zur Verstärkung von Thermoplasten hin untersucht und entsprechende Rezepturen und Verfahren entwickelt. Andererseits spielen Celluloseregeneratfasern als Verstärkungsmaterial nach wie vor eine wichtige



Rolle. Besonders im Vergleich zu PLA höher schmelzende (teil)biobasierte Thermoplaste wie Polyamide oder Terephthal-säurepolyester stellen eine Herausforderung für die Cellulose-regenerat-Faserverstärkung dar. Durch geeignete Faservor-behandlungen mit Stabilisatoren konnten hier Fortschritte erzielt werden.

Die Verwendung von lignocellulosischen agrarischen Reststoffen in Verbindung mit Commodity-Thermoplasten, wie Poly-ethylen oder Polypropylen, stellt einen weiteren Forschungs-gegenstand dar. Es wurden mit dem Ausgangsstoff Bagasse Füllgrade von 80 Prozent erreicht, wobei die mechanischen Eigenschaften auf einem hohen Niveau blieben und die Eignung des Stoffsystems für Anwendungen im Bereich der Holz-Poly-mer-Verbunde (WPC) zeigen. Hohe Wärmeformbeständigkeiten zusammen mit ausgezeichneter Rezyklierbarkeit und geringen Erfordernissen an die Faseraufbereitung sind weitere Vorteile dieser Materialkombination.

Die Überführung lignocellulosischer Komponenten aus Rest-strömen in thermoplastisch verarbeitbare Materialien stellt einen weiteren Ansatz zur Nutzung biobasierter Roh- bzw. Reststoffe dar. Ausgehend von Erfahrungen bei der Veresterung von Lignocellulose in ionischen Flüssigkeiten wurden kosten-günstigere Reaktionsmechanismen identifiziert und auf Bagasse als Rohstoff angewendet. Die anschließende thermoplastische Verarbeitung und Materialtestung zeigten die Tragfähigkeit dieses Ansatzes.

Derivate für weitere Anwendungen

Die heterogene und homogene Derivatisierung von Cellulose, Stärke und weiterer Polysaccharide sowie von Lignin zur gezielten Einstellung gewünschter Produkteigenschaften stellt ein Gebiet dar, auf dem eine Reihe von Spezialprodukten für verschiedene Anwendungsfelder entwickelt werden. Verfahren zur Herstellung von perlförmigen Trenn- und Trägermaterialien, Folien mit Barriereigenschaften, Verdickungsmittel, Adsorber, Thermoplaste und Duroplaste sowie Derivate für den Einsatz in der Medizin wurden bis zur Überführungsreife entwickelt. Durch die Erzeugung von spezifischen Substitutionsmustern an den freien OH-Gruppen in den Zuckereinheiten der Poly-saccharide bzw. an den aliphatischen oder aromatischen

Einheiten im Lignin kann das Eigenschaftsprofil der Endprodukte hydrophil oder hydrophob variiert werden. Die Arbeiten an neuen Derivaten sind in der Regel mit einer Prozessentwicklung gekoppelt, die bis in den Technikumsmaßstab (50 L-Reaktor) reicht.

Stärkeprodukte nach Maß

Der Rohstoff Stärke bietet ein sehr vielfältiges Entwick-lungspotenzial. Neben physikalischer, säurehydrolytischer und enzymatischer Behandlung der Stärke gewinnt die chemische Funktionalisierung zunehmend an Bedeutung. In Abhängigkeit von der molekularen Struktur sind gewünschte Eigenschaften für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen einstellbar; bei-spielsweise für biobasierte Verpackungsmittel, Papier, Wellpappe, Klebstoffe, Coatings, Bindemittel und Flockungsmittel. Auch im Klebstoffsektor spielen biobasierte Lösungen eine immer größere Rolle. Hier werden sowohl bilaterale Projekte mit Indus-triepartnern als auch von der öffentlichen Hand geförderte Projekte in Zusammenarbeit mit der Industrie bearbeitet. Stärke- und Proteinprodukte mit dem Vermögen zur Bildung transpa-renter, flexibler und reißfester Schichten für wasserlösliche und wasserstabile Filme und Coatings stellen die Ziele in weiteren Projekten dar.

Forschungsverbünde

Gemeinsam mit drei anderen Forschungseinrichtungen arbeitet der Forschungsbereich Biopolymere im Kompetenz-Netzwerk zur Verarbeitung von Biopolymeren. Gefördert wird dieses Projekt vom Bundesministerium für Ernährung und Land-wirtschaft (BMEL) über seinen Projektträger, die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Die thematischen Schwer-punkte im Forschungsbereich Biopolymere sind Faserspinnen, Folienextrusion, Thermoformen und Compoundierung.

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

NEW PRODUCTS MADE FROM RENEWABLE RAW MATERIALS

Nature synthesizes an impressive variety of low and macro-molecular structures, which, after undergoing the right form of processing, are able to serve as precursors for various types of biopolymer products. Finding sustainable and innovative solutions for the material use of renewable raw materials is therefore the main focus of biopolymer research at the Fraunhofer IAP.

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

Fibers, films and nonwovens

Special processes are developed further to produce fibers, films and nonwovens. In addition to the viscose process, we use environmentally friendly alternatives such as Lyocell technology and the carbonate process in the application of man-made cellulose technologies. We have extensive and variable solution and melt-spinning facilities on a laboratory and pilot plant scale which are specially adapted for this. One particular highlight of our facility is a modular customizable wet spinning line that can be used to spin yarns with up to 3000 filaments. Research in this area is concentrated on cellulosic systems in combination with other biobased components, and on their spinnability and suitability as precursors for carbon fibers.

Our bicomponent plant for melt spinning has a haul-off speed of up to 1,800 m/min. This allows us to simulate industrial melt spinning processes. In the past year we focused on the processing behavior of biobased thermoplastics and investigated PLA-based component fibers which combine PDLA and PLLA in order to achieve higher thermal resistances.

To convert precursors to carbon fibers, we have two three-zone ovens with a heating capacity of up to 900 °C and one six-zone carbonization oven with a heating capacity of up to 2000 °C. The tension-regulated thread guides enable multi-filament yarns to be deformed during the process so that optimized conversion regimes can be achieved. In 2015 we performed detailed process optimization based on self-spun alternative precursor materials.

Biobased multilayer films, optimized recipes for blow film processing, deep drawing and 3D printing were and remain topics of research at the Processing Pilot Plant for Biopolymers at the Fraunhofer IAP in Schwarzheide. We develop solutions in close cooperation with companies in order to fulfil the application-specific requirements of biobased and biodegradable material systems.

All structural formation processes are accompanied by detailed analysis and structural characterization (electron microscopy, X-ray defraction, spectroscopy, etc.). This allows us to draw processing-structure-property correlations so that processes can be optimized effectively.

Biocomposites and blends

Fiber-reinforced biobased or partially biobased injection molding compounds with cellulose reinforcements have been a long-standing focus of the Biopolymers research division. Here, lignocellulose products made from waste streams (e. g. bagasse) are processed and checked for suitable use as reinforcements for thermoplastics. Corresponding formulations and processes are developed. At the same time, cellulose man-made fibers continue to play an important role as a reinforcement material.

Particularly (partially) biobased thermoplastics with a higher melting point than PLA, such as polyamides or terephthalic acid polyesters, pose a challenge for man-made regenerated cellulosic fiber reinforcements. Appropriate pretreatment of the fibers with stabilizers has enabled progress to be made in this area.

The use of lignocellulosic agricultural residues in connection with commodity thermoplastics, such as polyethylene or polypropylene, represents another area of our research. With bagasse, we achieve filling levels of 80 percent and good mechanical properties. This is an indication that the material system is suitable for applications in the area of wood polymer composites (WPC). Further advantages of the material combination include high heat resistance along with excellent recyclability and low requirements for fiber processing.

Another way of using biobased raw and residual materials is to turn lignocellulosic components from residual flows into processable thermoplastic materials. Our experience with the esterification of lignocellulose in ionic liquids enables us to identify less expensive reaction mechanisms and to use these as a bagasse-based raw material. The sustainability of this process is demonstrated by subsequent thermoplastic processing and materials testing.

Derivatives for further applications

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

Made-to-measure starch products

Starch is a raw material that can be developed in very versatile ways. Chemical functionalization plays an ever-greater role alongside the physical treatment, acid hydrolysis, and enzymatic treatment of starch. Desired properties can be achieved for numerous application fields depending on the molecular structure, for example for biobased packaging, paper, corrugated cardboard, adhesives, coatings, binding agents and flocculants. Biobased solutions are also playing an ever greater role in the adhesives sector. In this area, we carry out both bilateral projects with industrial partners and publicly funded projects in collaboration with industry. Starch and protein products with the ability to form transparent, flexible and tear-resistant layers for water soluble and water-stable films and coatings are the aims of our other projects.

Research collaborations

The research division Biopolymers has joined forces with three other research institutions as part of a competence network for processing biopolymers. This project is funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) through its project coordinator, the Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). The Biopolymers research division focuses on the topics of fiber spinning, film extrusion, thermoforming and compounding.

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

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Cellulose-/

Hemicelluloseprodukte

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

Syntheseverfahren

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

Verformungsverfahren für Cellulose

Viskose-Verfahren

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

Carbamat-Verfahren

- Filamentgarne und Stapelfasern
- Hochfestfasern und Nonwovens aus LC-System CC-NMMO-Wasser
- Hochporöse Aerogel-Materialien (Dichte um 0,05 g/cm³)
- Hohlfasern, Schläuche, Folien
- Synthese von Cellulosecarbamat

Lyocell-Verfahren

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

Stärkeprodukte

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

Verfahrensentwicklung

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

Ligninmaterialien

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

Biobasierte thermoplastische Blends und Composite

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

Kunststoffverarbeitung

Verarbeitungsverfahren

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

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



Forschungsbereichsleiter | Division director
Dr. Johannes Ganster

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

Lignocellulose

Lignocellulose

Dr. Bert Volkert

Telefon +49 331 568 - 1516

Fax +49 331 568 33 - 1516

bert.volkert@iap.fraunhofer.de

Stärkemodifikation/

Molekulare Eigenschaften

Starch Modification/

Molecular Properties

Dr. Waltraud Vorwerg

Telefon +49 331 568 - 1609

Fax +49 331 568 - 3000

waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de

Fasertechnologie

Fiber Technology

Dr. André Lehmann

Telefon +49 331 568 - 1510

Fax +49 331 568 - 3000

andre.lehmann@iap.fraunhofer.de

Verarbeitungstechnik

Biopolymere Schwarzheide

Processing Pilot Plant

for Biopolymers Schwarzheide

Dipl.-Ing. Thomas Büsse

Telefon +49 331 568 - 3403

Fax +49 35752 6-3170

thomas.buesse@iap.fraunhofer.de

APPLICATIONS AND SERVICES

Cellulose/hemicellulose products

- anti-graffiti coatings
- bacterial cellulose
- biodegradable superabsorbers for hygiene articles and cosmetics
- biocompatible symplex capsules for biotechnology and pharmacy
- blood-compatible additives, coagulants and coatings for medicine
- cellulose derivatives of all types (ethers, esters, ...)
- flocculants for the paper industry, water purification and wastewater treatment
- bead cellulose as separating agent and carrier material for pharmacy and medicine
- 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
- hydrogels and aerogels

Synthesis processes

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

Cellulose forming processes

Viscose technology

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

Carbamate technology

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

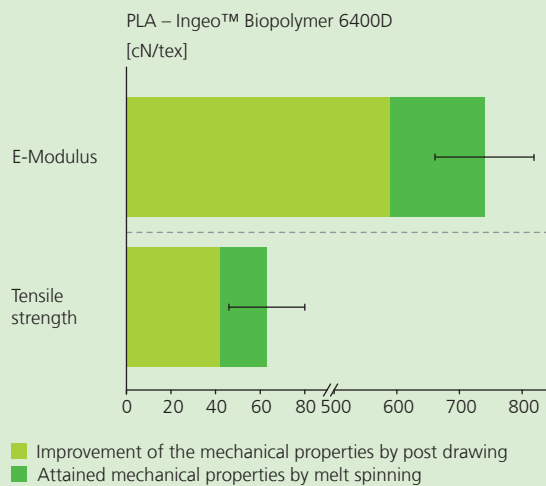
Lyocell technology

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

Starch products

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

	Biobased thermoplastic blends and composites	Polymer processing	Feedstock analysis, material characterization and testing
Process development – combination of enzymatic and chemical process steps – reactive extrusion of starch – process for production of bi-substituted starch derivatives	– nano additives for polylactide (PLA) and biobased polyamides – PLA, starch, and lignin as blend components – melt spun biopolymer fibers – biobased meltblown nonwovens – injection molding compounds with improved properties – biobased films with improved barrier properties – natural fiber-reinforced composites – cellulose rayon reinforced composites – fiber-reinforced injection molding compounds	Processing methods – blown film production – blow moulding/one and two layers – characterization and optimization for processing properties and technique – compounding and additivation of polymers – flat film production (3 layers) – testing and optimization of plastic materials – extrusion and granulation – injection moulding – thermoforming and thermoform film production – 3D printing/fused deposition modeling (FDM) and production of 3D printing filament	– determination of the emission of volatile organic compounds (VOC) according to VDA 277 – characterization of the morphology and the supra-molecular structure of polymers – characterization of native and modified biopolymers like cellulose, starch, heteropolysaccharides, chitosan, lignin – characterization of polymer solutions (molecular mass distribution, rheology) – characterization of sorption properties, pores and inner surfaces – chemical analysis of organic and inorganic substances and mixtures – chemico-physical characterization of polymers – application-oriented testing – material testing of fibers, films and molded parts – mass transport and separation properties of membranes and carrier materials – degree of substitution and substitution pattern of polysaccharides (e. g. NMR) – relationships between production conditions, structures and properties – barrier properties (water vapor, oxygen)
Lignin materials – lignin analysis and structure characterization – isolation of lignin – lignin extraction and fractionation – derivatization of lignin – lignin as precursor for carbon fibers – application in thermoplastic systems and composites – lignin for thermosets and composites			



1

1 Comparison of mechanical values with and without post drawing through PLA single filament testing.

2 WAXS flat film photograph of highly oriented PLA filament yarn.

Verarbeitungs-Struktur-Eigenschafts-Untersuchung an PLA-Filamentgarn

In den vergangenen Jahren ist das Interesse an teilbiobasierten und biobasierten Polymeren stark gestiegen, denn immer öfter wird nach Alternativen zu erdölbasierten Kunststoffen gesucht. Um das Potenzial für die jeweiligen Anwendungen besser einschätzen zu können und den Einsatz im kunststoffverarbeitenden Gewerbe zu fördern, ist es wichtig, ein umfangreiches Know-how zum Verarbeitungsverhalten und den erzielbaren Eigenschaften dieser Materialien zu generieren.

Das Fraunhofer IAP beteiligt sich im Rahmen des »Kompetenznetzwerk zur Verarbeitung von Biopolymeren« (Fraunhofer IAP, SKZ Würzburg, IfBB Hannover, SLK Chemnitz) am Verbundvorhaben »Verarbeitung von biobasierten Kunststoffen und Errichtung eines Kompetenznetzwerkes im Rahmen des Biopolymernetzwerkes der FNR«. Die gemeinsamen Projektziele liegen in der Verbesserung der Informationsbasis zum Verarbeitungsverhalten von neuartigen biobasierten Kunststoffen und der Entwicklung wirksamer Strukturen für einen Technologietransfer. Der Projektteil »Faserherstellung« beinhaltet dabei eine intensive Auseinandersetzung mit der Verarbeitung von kommerziell erhältlichen (teil-)biobasierten Polyamiden (PA 11 und PA 4.10) und PLA (Ingeo® 6201D/6400D) auf einer industriennahen Schmelzspinnanlage (Fourné) zu Multifilamentgarnen.

Nach eingehender Identifikation der Verarbeitungsfenster [1], in denen die untersuchten Thermoplaste den immensen Dehn- und Abkühlraten unter Gewährleistung hoher Gleichmäßigkeit und Prozessstabilität standhalten konnten, lag der Fokus auf nachgeschalteten Reckprozessen zur Optimierung der textil-physikalischen Eigenschaften des PLA-Filamentgarns (Ingeo® 6400D; Mw = 166000 g/mol).

Mittels Variationen der wesentlichen Verstreckprozessparameter (Galettentemperatur, Dehnrate, Reckgrad) konnte dabei ein weites Spektrum von supermolekularen Faserstrukturen realisiert werden. Eine quantitative Gegenüberstellung der betrachteten Verstreckregime und deren Optimierung erfolgten mit begleitenden Untersuchungen zur Aufklärung von Verarbeitungs-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen.

Die generierten Erkenntnisse ermöglichen eine gezielte Einstellung der gewünschten supermolekularen Faserstruktur des PLA-Filamentgarns im Nachreckprozess hinsichtlich des Kristallisationsgrades und der Verbesserung der Orientierung amorpher und kristalliner Bereiche zur Optimierung der textil-physikalischen Filamenteigenschaften.

Darüber hinaus ließen sich mit dem vorliegenden Versuchsaufbau kritische Bereiche (Reckgrade) ermitteln, in denen aufgrund der hohen Spannungen Mikrorisse entstehen und das damit einhergehende Spannungsweißen einen Rückgang der mechanischen Kennwerte induziert.

Durch den nachgeschalteten Verstreckprozess konnten die bislang im Rahmen des KNVB-Projekts erzielten maximalen Zugfestigkeiten und E-Module der PLA-Multifilamentgarne (Fig. 1) um bis zu 50 Prozent auf 63 cN/tex bzw. 740 cN/tex verbessert werden. Damit wurden erstmalig textil-physikalische Kennwerte erreicht, die bislang nur im Lösungsspinnprozess von PLA oder im Monofil-Schmelzspinnprozess, bzw. mit deutlich höhermolekularem PLA, realisierbar waren [2].

Literatur Literature

[1] Fraunhofer IAP annual report 2014, p. 38

[2] L.-T. Lim, R. Auras, M. Rubino: *Processing technologies for poly(lactic acid)*, Progress in Polymer Science 33, pp. 820–852 (2008)

Investigating processing-structure-properties in PLA filament yarn

Finding alternatives to fossil-based plastics means there is an increased interest in biobased, or at least partly biobased, thermoplastic polymers. In order to better establish their application potentials, and to promote their use in the plastics industry, extensive knowledge must be generated about the processing behavior and the resulting material properties of these biobased plastics.

As part of the "Network of excellence for processing biopolymers" (Fraunhofer IAP, SKZ Würzburg, IfBB Hannover, SLK Chemnitz) the Fraunhofer IAP is participating in the joint project "Processing of Bio-Based Plastics and Establishment of a Competence Network within the German Biopolymer Network organized by the Agency for Renewable Resources (FNR)". The goals of the joint project are to improve the knowledge about the processing of biobased plastics and to transfer these findings to industry. The subproject "Fiber Spinning" investigated the commercially available, (partly) biobased polyamides PA 4.10 and PA 11 and the fully biobased polyester polylactic acid (Ingeo® 6201D/6400D) in terms of their processability in the melt spinning process used to manufacture endless filament yarns.

First we identified the processing window [1] during which the investigated thermoplastic materials had to withstand tremendous strain and cooling rates while maintaining high regularity and process stability. Then we focused on the post-drawing processes in order to optimize the physical properties of the PLA filament yarn (Ingeo® 6400D; $M_w = 166000 \text{ g/mol}$).

By varying the post-drawing parameters (roller temperature, strain rate and draw factor), we were able to achieve a broad range of different super molecular structures in the resulting fibers. Comparing and optimizing the various post-drawing regimes was accompanied by investigations to identify processing-structure correlations.

The generated results enabled us to customize the degree of crystallinity and to improve orientation of the crystalline and amorphous regions of the desired super-molecular structures inside the filaments of the PLA filament yarn during post drawing, thereby optimizing the mechanical properties of the filament yarn.

We were also able to identify critical processing parameters (e.g. draw ratios) in the equipment used. High tension produced micro-scratches resulting in stress-whitening and a decline in mechanical values.

This post-drawing process enabled us to achieve significantly higher values for tensile strength (63 cN/tex) and e-modulus (740 cN/tex) of the PLA filament yarn – a 50 percent improvement over the results which had been produced by the project so far (Fig. 1). These superior mechanical values were achieved for the first time with commercially available PLA by processing a multi-filament yarn. Similar values for the textile-physical properties were reported for solution spinning or mono-filament spinning of PLA, and were achieved through the use of a high molecular weight PLA [2].



Dipl.-Phys. Evgueni Tarkhanov

Telefon +49 331 568-1512

Fax +49 331 568-3000

evgueni.tarkhanov@iap.fraunhofer.de

Dr. André Lehmann

Telefon +49 331 568-1510

Fax +49 331 568-3000

andre.lehmann@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)



1 Native unground bagasse.

2 Injection-molded test specimen of different bagasse esters.

3 Mechanical properties of different bagasse acetates und propionates plasticized with 30 masspercent of triacetin.

Biobasierte thermoplastische Kunststoffe aus Bagasse

Die energetische und stoffliche Verwertung von Biomasse, insbesondere von Biomasse-Reststoffen, ist eines der Hauptziele des 21. Jahrhunderts, um den Einsatz von fossilen Rohstoffen zu minimieren. Durch den effizienten Einsatz von Biomasse wird deren Lebenszyklus verlängert und somit ein Mehrwert geschaffen. Ein typisches Beispiel eines Biomasse-Reststoffes ist Bagasse aus Zuckerrohr. Sie fällt nach der Extraktion des Zuckers als Nebenprodukt an. Bei der Ethanolgewinnung aus Zuckerrohr waren es 2013/14 allein in Brasilien 200 Millionen Tonnen Bagasse. Davon wurden etwa 10 Prozent als Futtermittel verwertet und 90 Prozent lediglich energetisch genutzt.

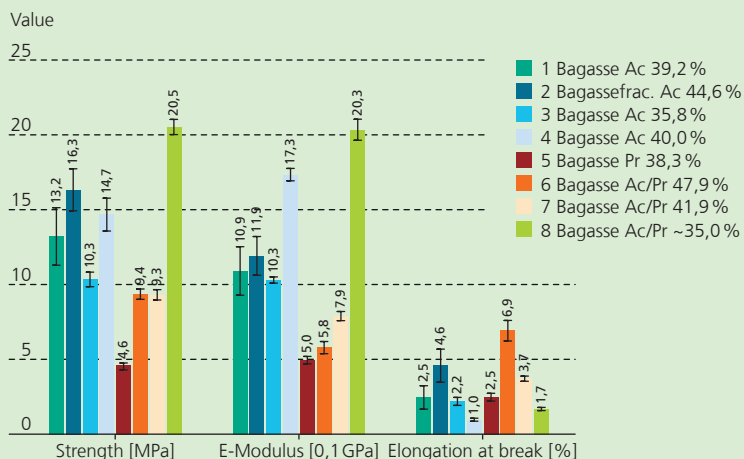
Um aus diesem Produktstrom einen Mehrwert zu generieren, wird in diesem noch laufenden Projekt die Bagasse (Fig. 1) zum einen durch chemische Modifizierung in ein Material umgewandelt, welches sich im Extruder und durch Spritzgießen thermoplastisch verarbeiten lässt und somit als biobasierter Kunststoff verwendet werden kann (Fig. 2). Dafür sind vornehmlich Veresterungsreaktionen an der Lignocellulose vorgesehen. Des Weiteren wird die Bagasse, die im Wesentlichen aus Cellulose (40–46 %), Hemicellulose (20–26 %) und Lignin (20–26 %) besteht, in ihre Einzelfractionen getrennt und diese direkt als Verstärkungs Komponente in biobasierten Kunststoffen wie z. B. Bio-PE, PLA etc., insbesondere aber in den im Projekt neu entwickelten Bagasse-Estern, eingesetzt.

Dazu wurden die Reaktionen zur Veresterung von Bagasse mit Essigsäure- und Propionsäureanhydrid unter Verwendung unterschiedlicher Katalysatoren durchgeführt. Ein sehr gut funktionierender Katalysator ist para-Toluolsulfonsäure, die im Vergleich zur Schwefelsäure die Bagasse weniger stark abbaut, wodurch die Produkte bessere mechanische Eigenschaften aufweisen. Neben der Auswahl eines geeigneten Katalysators wurden die Reaktionsbedingungen hinsichtlich der Zeit und Temperatur sowie der Raum-Zeit-Ausbeute untersucht. Zusätzlich wurde versucht, gezielt Acetat-Propionat-Mischester herzustellen, um synergistische Effekte bei den mechanischen Eigenschaften zu erzielen. Als Ausgangsmaterial kam bisher vornehmlich gemahlene Bagasse sowie eine ligninarme Bagassefraktion zum Einsatz.

In Fig. 3 sind die mechanischen Eigenschaften einiger ausgewählter Bagasseacetate, ausgehend von drei unterschiedlichen Bagasselieferungen (1,4) sowie einer Bagassefraktion (2), die im Rührreaktor umgesetzt wurden, und eine Bagasse, umgesetzt im Knetter bei einer höheren Stoffdichte (3), dargestellt. Vergleichbar geringere Festigkeiten und Moduli bei leicht erhöhter Bruchdehnung ergaben sich erwartungsgemäß bei den Propionaten (5–7). Die bisher besten mechanischen Kennwerte (20 MPa Festigkeit, 2 GPa Steifigkeit und 1,7 % Bruchdehnung) wurden mit einem Mischester (8) erzielt.



2



3

Biobased thermoplastics made from bagasse

Converting biobased waste streams into fuels and biobased materials is a primary objective of the 21st century. The concept of a bioeconomy follows the vision of a sustainable economy that minimizes and makes efficient use of all resources. The main focus is on increased utilization of renewable biological resources and reduced dependence on fossil feedstocks. One example of a biobased waste is bagasse, a fibrous residue of the sugarcane industry. It is generated when sugarcane stalks are crushed to extract the sucrose-rich juice. In 2013/14, 650 million tons of sugarcane were produced in ethanol plants in Brazil and 200 million tons of bagasse were generated. About 10 percent of the bagasse was destined to become animal feed after treatment and hydrolysis. The remaining 90 percent was discarded as waste, returned to the soil, or used to generate energy.

This is certainly a less than satisfactory situation in light of the goals of sustainably producing and utilizing renewable raw materials. To improve this situation and generate value added products, the present project transforms bagasse (Fig. 1), which mainly consists of cellulose (40–46 %), hemicelluloses (20–26 %) and lignin (20–26 %), into a thermoplastic material through chemical modification (esterification). The aim is to obtain a biobased product suitable for extrusion and injection molding (Fig. 2) and to open up new markets for this agricultural side-stream product. Another aim is to obtain and use bagasse fractions as filler and reinforcing materials in conventional (polyolefin) and biobased (bio-PE, bagasse esters) matrix materials to improve the mechanical performance of the starting matrix materials.

In the esterification process, reactions were carried out with the anhydrides of acetic acid and propionic acid using different catalysts. Para-toluenesulfonic acid is a very effective catalyst that degrades bagasse less than sulfuric acid resulting in products with better mechanical properties. In addition to finding a suitable catalyst, reaction conditions were examined with regard to time, temperature and space-time yield. Furthermore we looked at synthesizing specific acetate-propionate mixed esters to achieve synergistic effects with the mechanical properties. As a starting material we used ground bagasse as well as a bagasse fraction that was rich in cellulose and low in lignin.

Fig. 3 shows the mechanical properties of some selected bagasse esters. The acetates were based on three different bagasses – two native ones (1,4) and one bagasse fraction (2) – and were prepared in a stirring reactor. As a comparison, bagasse acetate (3) was prepared in a kneader. The bagasse propionates (5–7) exhibited a comparatively lower strength and stiffness with slightly raised elongation at break than expected. So far the best mechanical properties (20 MPa strength, 2 GPa stiffness and 1.7 % elongation at break) have been achieved by a mixed ester (8).



Dr. Bert Volkert

Telefon +49 331 568-1516

Fax +49 331 568-371516

bert.volkert@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

– Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Kooperation Collaboration

– Tecnar GmbH, Ilsfeld
– LNNano/CNPEM, Campinas (Brazil)
– Fraunhofer ISI, Karlsruhe

FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME

FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

- 42 Funktionswerkstoffe und Technologien**
Functional materials and technologies
- 46 Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 50 Herstellung flexibler Solarzellen**
in einem kontinuierlichen Pilotprozess
Using a continuous pilot scale process
to fabricate flexible solar cells
- 52 Photoaushärtbare Materialien für die**
generative Fertigung im Tissue Engineering
Photocurable materials for
3D printing in tissue engineering



pioneers in polymers



FUNKTIONSWERKSTOFFE UND TECHNOLOGIEN

Materialien und Technologien für neue Bauelemente und Anwendungen

Im Anwendungszentrum für Innovative Polymertechnologien werden verschiedene Dünnschichttechnologien für die Photovoltaik und für organische Leuchtdioden (OLED) evaluiert. Die Pilotanlage erlaubt es, wesentliche Schritte zur Entwicklung produktionstauglicher Prozesse für die Herstellung derartiger Bauelemente durchzuführen. Die weitgehend automatisierten Abläufe sichern eine gegenüber manuellen Herstellungstechniken weitaus höhere Produktivität und bessere Konstanz der Prozesse. Neben modernen Drucktechniken (Tintenstrahl, Schlitzdüse) und Bedampfungseinheiten ist die Anlage mit einem Modul für die Dünnschichtdirektverkapselung mit ALD (Atomic Layer Deposition) und einer Einheit für die Kapselung der Bauelemente ausgerüstet. Diese Technologieentwicklung ist eng mit den verschiedenen Materialentwicklungen und der Entwicklung weiterer Technologien wie z. B. zur Veränderung von Oberflächeneigenschaften und zur Herstellung von Sensoren und Aktoren verbunden.

Neue Materialsysteme

Die organische Synthesechemie eröffnet ein weites Spektrum an Möglichkeiten, um die Entwicklung von Technologien zur Bauelementherstellung mit maßgeschneiderten Lösungen zu unterstützen. Im Falle der OLEDs werden neue Materialsysteme entwickelt, die in der polymeren Hauptkette strukturoptimierte Transport- und Emittiermoleküle enthalten. Durch den Einbau entsprechender funktionaler Einheiten können diese Polymere nach der Schichtbildung thermisch oder photochemisch vernetzt werden, um die Schicht für die weitere Prozessierung zu stabilisieren. Für die organischen Feldeffekttransistoren (OFET) liegen die Schwerpunkte der Entwicklung bei neuen halbleitenden Polymeren mit hoher Ladungsträgermobilität und bei dünnen, spannungsfesten Dielektrika, die für die Herstellung luftstabiler Transistoren und Schaltungen genutzt werden können. Für den Einsatz in der organischen Photovoltaik werden maßgeschneiderte konjugierte Absorberpolymere entwickelt.

Thermochrome Materialien

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

Quantum Dots (QDs)

Die Quantum Dots sind eine Klasse von Nanomaterialien, bei denen die Absorptions- und Emissionseigenschaften durch die Einstellung der Partikelgröße und die Passivierung der Partikeloberfläche eingestellt werden. Es können Partikel hergestellt werden, deren Emission praktisch den gesamten sichtbaren Spektralbereich bis hinein in das nahe Infrarot abdecken. Diese einzigartigen Eigenschaften ermöglichen den Einsatz in verschiedensten Anwendungsbereichen, etwa als Leuchtstoffe z. B. für die Herstellung von LEDs mit maßgeschneiderten spektralen Emissionscharakteristika, in der Displaytechnologie, für die Up-conversion in der Photovoltaik, als Sicherheitsmerkmal auf Banknoten oder in Sensoren. Die Funktionalisierung der Partikeloberfläche macht den Einsatz von QDs insbesondere in Analytik und Bioanalytik interessant. Hier können QDs herkömmliche Fluorophore ersetzen, um durch bessere Stabilität und überlegene photophysikalische Eigenschaften die Sensitivität und Verlässlichkeit der analytischen Verfahren zu verbessern. Es werden neue Verfahren



erprobt, um konventionelle Cadmiumselenid-QDs und infrarotaktive QDs im Gramm-Maßstab herzustellen. Darüber hinaus werden auch Synthesen entwickelt, um cadmiumfreie QDs mit umweltfreundlichem Indiumphosphid für die LED/OLED- und Displaytechnologie sowie mit infrarotaktivem Kupferindiumsulfid für die Effizienzsteigerung in Solarzellen bereitzustellen.

Optische Funktionselemente

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

Sensoren und Aktoren

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

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

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

Oberflächenfunktionalisierung und Analytik

Das Anpassen der Oberflächeneigenschaften eröffnet den polymeren Materialien viele neue Einsatzbereiche. Die Aktivierung der Oberflächen macht es möglich, Polyethylenfolien zu bedrucken (Einkaufstüten), Polypropylen zu kleben (Chipkarten) und Polymeroberflächen zu lackieren. Die chemische Zusammensetzung einer nur wenige Nanometer dicken Oberflächenschicht ist für diese Eigenschaften verantwortlich. Dazu werden Nanotechnologien zur gezielten Einstellung von Oberflächeneigenschaften von Polymeren und mit Polymeren entwickelt. Insbesondere werden kombinierte Prozesse genutzt, bei denen die hervorragenden Eigenschaften elektrischer Entladungsplasmen für die Aktivierung inerte Oberflächen mit Gasphasen und Nasschemie verbunden wird, um mit hoher Produktivität Oberflächen mit wohl definierter chemischer Struktur herzustellen. Alle Technologieentwicklungen auf diesem Gebiet werden durch eine leistungsfähige Analytik von Oberflächen und Dünnschichten unterstützt, die unseren Kunden auch als Serviceleistung zur Verfügung gestellt werden.

FUNCTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Materials and technologies for new components and applications

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

New material systems

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

Thermochromic materials

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

Quantum Dots (QDs)

Quantum Dots (QDs) are a class of nanomaterials whose absorption and emission properties can be determined by adjusting particle size and through passivation of the particle surface. Virtually the entire visible light spectrum, all the way up to near infrared light, is accessible. These unique properties enable quantum dots to be used in a wide range of applications, for example, as luminescent materials, in display technology, for photovoltaic up-conversion, as a security feature in banknotes, and in sensors. The functionalization of the particle surface makes QDs particularly attractive in analytics and bioanalytics. Here QDs can replace conventional fluorophores in order to improve the sensitivity and reliability of the analytical process through better stability and superior photophysical properties. New processes are tested to produce

conventional cadmium selenide QDs and infrared active QDs on a gram-scale. Additionally, cadmium-free synthesis methods are being explored in order to provide environmentally friendly indium phosphide QDs for LED/OLED and display technologies, and infrared active copper indium sulfide QDs that would increase solar cell efficiency.

Optical functional elements

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

Sensors and actuators

The development of organic and hybrid converters focuses on the fields of electromechanical and capacitive sensors and actuators and nanocomposite sensors which are used, for instance, to detect magnetic fields or moisture. Piezoelectric polymers and composites, like traditional ferroelectrics or novel ferroelectrets, are being studied, processed and customized for applications such as tactile sensor arrays, impact detectors, ultrasound converters and sensors for energy

production. Moreover, new dielectric elastomers are being developed as actuators (DEAs), sensors and generators, which, among other things, allow the actuator's operating voltage to be lowered due to a considerably higher permittivity. These types of elastomers are processed as thin films with stretchable electrodes, and then used as flat or stacked actuators.

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

Surface functionalization and analytical methods

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

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Materialien – Synthese und Verarbeitung von

- Dielektrischen Elastomeren
- Elastomeren
- Elektreten
- Elektroaktiven Polymeren
- Elektrolumineszierenden Polymeren
- Halbleitenden Polymeren
- Holographischen Materialien für Oberflächenrelief- und Volumengitter
- Lumineszierenden Quantum Dots
- Photochromen Polymeren
- Photolumineszierenden Polymeren
- Photosensitiven- bzw. Photostrukturierbaren Elastomeren
- Photovernetzbaren Polymeren
- Piezochromen Polymeren
- Piezoelektrischen Polymeren
- Polymeren Nanocompositen
- Pyroelektrischen Polymeren
- Thermochromen und elektrochromen Polymeren

Funktionselemente

- Akustische Impedanzwandler
- Anisotrope Schichten
- Barrierschichten für flexible Displays
- Biokompatible Funktionsschichten
- Fluoreszenzkollektoren für die Photovoltaik
- Holographisch erzeugte Oberflächenreliefgitter in Polymermaterialien
- Holographische Volumengitter in Polymermaterialien
- Laserstäbe für die Messtechnik
- Lichtsender und -empfänger
- Optische Datenspeicher
- Polymere Elektrete für Sensoren und Aktoren
- Polymere Elektrete als Ladungsspeicher
- Spektrale Lichtwandler zum Nachweis von UV-Licht
- Strukturierte biofunktionale Oberflächen

Bauelemente

- Dielektrische Elastomer Aktoren (DEAs)
- Elektro-aktive Polymere (EAP)
- Flexible Elektroden
- Künstliche Blutgefäße
- OFETs (Organische Feldeffekttransistoren) und Dioden
- OFET-Ansteuerung von OLED-Pixeln
- OLEDs (Organische Leuchtdioden)
- OLED-Beleuchtung
- OLED-Passiv-Matrix-Displays
- OLED-Signage-Displays
- OPVs (Organische Photovoltaik Zellen) und Module
- Organische DFB-Laser
- Polymerbasierte holographische Oberflächenrelief- und Volumengitter, Polarisationsgitter, elastische Gitter
- Piezoelektrische Sensoren und Aktoren
- Piezochrome Sensoren

Oberflächentechnik

- Anti-fogging-Schichten
- Berührungslose Grenzflächenstrukturierung
- Drucken funktionaler Materialien mittels Inkjet-Druck, Slot Die Coating, Tiefdruck
- Funktionale Beschichtungen
- Hydrophile oder hydrophobe Oberflächen
- Immobilisierung von biologisch aktiven Substanzen auf polymeren Oberflächen
- Klebstofffreies Verbinden
- Metallisierung von Polymeren
- Oberflächen- und Dünnschichtanalytik
- Prozesskontrolle Beschichtung
- Replikationstechnologie und Funktionalisierung
- Rolle-zu-Rolle-Verarbeitung von Polymerfolien

Weitere Beispiele

- Biozide Oberflächen für Folien oder Textilien
- Charakterisierung der chemischen Struktur, der Topographie und der makroskopischen Eigenschaften
- Elektronisches Wasserzeichen
- Fälschungssichere Markierung von Polymermaterialien
- Fluoreszenzschichten für die Sensortechnik
- Funktionalisierung von Pulvern
- Holographische Verfärbung für Polymer-Strukturierung mit UV- und VIS-Licht
- Messung der Wasserdampftransmission durch Polymere und Barrierschichten
- OLED-Lebensdauertest
- OLEDs als Sicherheitsmerkmal
- OPV-Lebensdauertest
- Photobiozide Beschichtungen für den Pflanzenschutz
- Photolithographielinie zur Strukturierung
- Strukturierte Aktivierung von Oberflächen
- Tintenstrahldruck von OLEDs
- Wasserabweisende Textilien



Forschungsbereichsleiter | Division director
Dr. Armin Wedel

Funktionsmaterialien und Bauelemente
Functional Materials and Devices

Dr. Armin Wedel

Telefon +49 331 568-1910

Fax +49 331 568-3910

armin.wedel@iap.fraunhofer.de

Polymere und Elektronik
Polymers and Electronics

Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz

Telefon +49 331 568-1208

Fax +49 331 568-3910

silvia.janietz@iap.fraunhofer.de

Chromogene Polymere
Chromogenic Polymers

Dr. Arno Seeboth (bis 6/2016)

Telefon +49 30 6392-4258

Fax +49 30 6392-2065

arno.seeboth@iap.fraunhofer.de

Sensoren und Aktoren
Sensors and Actuators

Priv.-Doz. Dr. habil. Michael Wegener

Telefon +49 331 568-1209

Fax +49 331 568-3910

michael.wegener@iap.fraunhofer.de

APPLICATIONS AND SERVICES

Materials – synthesis and processing of

- dielectric elastomers
- elastomers
- electrets
- electroactive polymers
- electroluminescent polymers
- holographic materials: polymers, polymer-LC composites, elastomers
- luminescent quantum dots
- photochromic polymers
- photocrosslinkable polymers
- photoluminescent polymers
- photosstructurable elastomer materials
- piezochromic polymers
- piezoelectric polymers
- polymer nanocomposites
- pyroelectric polymers
- semiconducting polymers
- thermochromic and electrochromic polymers

Functional elements

- acoustic impedance transformers
- anisotropic layers
- barrier layers for flexible displays
- biocompatible functional layers
- holographically produced surface relief gratings in polymers
- holographically produced volume diffraction gratings and elements in polymer materials
- laser rods for spectral measurements
- layers for optical data storage
- light senders and receivers
- luminescent solar concentrators
- polymer electrets for sensors and actuators
- polymer electrets for charge storage
- spectral light converter for the detection of UV-light
- structured biofunctional surfaces

Components

- artificial blood vessels
- dielectric elastomer actuators (DEAs)
- electro-active polymers (EAP)
- flexible electrodes
- OFETs (organic field effect transistors) and diodes
- OFET driving OLED pixels
- OLEDs (organic light emitting diodes)
- OLED illumination
- OLED passive matrix displays
- OLED signage displays
- OPVs (organic photovoltaic cells) and modules
- organic DFB laser
- piezochromic sensors
- piezoelectric sensors and actuators
- polymer surface relief and volume grating, polarization gratings, elastic surface relief and volume gratings

Surface technology

- adhesive-free bonding
- anti-fogging coatings
- contactless interface modification
- coupling of biologically active substances to polymer surfaces
- functional coatings
- hydrophilic or hydrophobic surfaces
- metallization of polymers
- printing of active materials by inkjet printing, slot die coating, rotogravure
- process controlled organic coatings
- replication technology and functionalization
- roll-to-roll processing of polymer films
- surface and thin-film analysis

More examples

- biocidal surfaces for films and textiles
 - characterization of chemical structure, topography and macroscopic properties
 - counterfeit protection of polymer materials
 - electronic watermark
 - fluorescent layers for sensor technology
 - functionalization of powders
 - holographic method for structuring of polymers materials with UV and VIS (532 nm) light
 - inkjet printing of OLEDs
 - measurement of the water vapor transmission rate through polymers and barrier layers
 - OLED lifetime characterization
 - OLEDs as a security feature
 - OPV lifetime characterization
 - photobiocidal coatings for pest management
 - photolithography line for structuring
 - structured activation of surfaces
 - water-repellent textiles
-



1 The pilot line at the Fraunhofer IAP for processing organic electronic devices. Cleaning, surface activation, wet and vacuum deposition as well as encapsulation are integrated into successive stations.

2 Conventional (top) and inverted (bottom) architecture of organic solar cells (OSC).

3 OSC modules produced in a continuous process on the sheet-2-sheet pilot line at the Fraunhofer IAP on glass (B) and PET substrates (C), and the corresponding current-voltage characteristics of the glass module (A). An efficiency under illumination of 3.2 % (8 V, 67 mA) was obtained for the module's active area of 102 cm².

Herstellung flexibler Solarzellen in einem kontinuierlichen Pilotprozess

Im Rahmen des vom Klima- und Energiefonds der österreichischen Förderungsgesellschaft geförderten Verbundprojekts »flex!PV.at« bestand die Aufgabe des Fraunhofer IAP in der Skalierung der Herstellungsprozesse für organische Solarzellen (OSC) vom Labormaßstab auf einen Pilotmaßstab, bei dem die Prozessierung in einem kontinuierlich und teilautomatisierten Prozess erfolgt. Hierfür wurde die im Jahr 2012 installierte Pilotanlage (Fig. 1) eingesetzt. Der Aufbau der OSC (Fig. 2) erfolgte in unterschiedlichen aufeinanderfolgenden Prozessen. Glas- oder Kunststoffsubstrate (PET, PEN) mit einer Größe von 150 mm × 150 mm werden zunächst mit einer transparenten Elektrode versehen, die im vorhandenen Aufbau aus einem mittels Tintenstrahldruck hergestellten Silbergrid besteht.

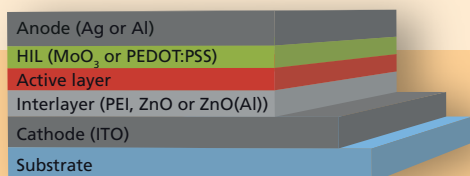
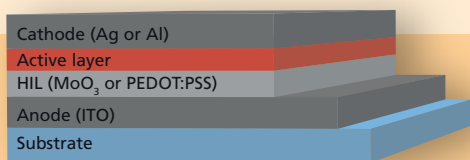
Für den Druck der aktiven Schichten können sowohl die Schlitzdüsenbeschichtung als auch der Inkjet-Druck eingesetzt werden. Für die beschriebenen Arbeiten wurden alle flüssig prozessierten Materialien mittels Inkjet-Druck [1] aufgebracht. Für einen konventionellen Deviceaufbau [2] (Fig. 2) erfolgt zunächst der Druck von PEDOT:PPS, das zum einen als Leitfähigkeitsvermittler zwischen den Gridlinien wirkt und zum anderen für den Lochtransport in der Solarzelle verantwortlich ist. Als aktives Material wurde ein Polyhexylthiophenderivat als Elektronendonator mit einem Fulleren-derivat (ICBA) als Elektronenakzeptor eingesetzt. Die Druckgeschwindigkeit liegt bei allen Schichten zwischen 100 und 150 mm/s, was zum Druck aller Schichten einen Zeitaufwand von zehn Minuten erfordert. Die Kathode, bestehend aus 30 Nanometer Calcium und 100 Nanometer Silber, wurde thermisch aufgedampft. Die rückseitige Verkapselung erfolgte mit einer Barrierefolie unter Einsatz eines doppelseitigen Klebebands durch Laminierung.

Für den invertierten Deviceaufbau [1] (Fig. 2) erfolgte nach dem Druck von Pedot:PSS der Druck einer sehr dünnen (< 10 nm) Schicht von Polyethyleimin (PEI) [3]. Die Prozessierung der aktiven Schicht erfolgte im Anschluss nach der oben beschriebenen Methode. Die Rückelektrode besteht für den invertierten Aufbau aus einer thermisch aufgedampften MoO₃-Schicht (3–5 nm) und einer Silberschicht (100 nm). Dabei moduliert das PEI die Austrittsarbeit des Pedot:PSS derart, dass dieser Schichtverbund für den Elektronentransport verantwortlich ist, während das Molybdänoxid als Lochtransport-Schicht fungiert.

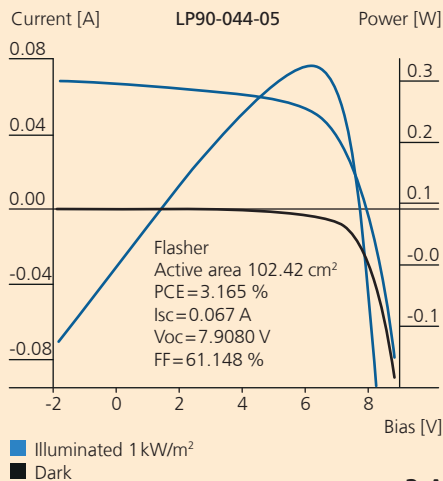
Die fertiggestellten Bauelemente sind in Fig. 3 gezeigt, wobei ein Modul auf einem Glassubstrat (3B), das zweite auf einem PET-Substrat (3C) prozessiert wurde. Die Module wurden vom Projektpartner AIT in Wien hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit charakterisiert, ein Strom-Spannungsdiagramm ist für ein auf Glas prozessiertes Modul mit konventionellem Aufbau in Fig. 3A gezeigt. Bezogen auf die aktive Fläche im Modul wurde für dieses System eine Effizienz von 3,2 Prozent bestimmt. Die auf Folie prozessierten flexiblen Module zeigten noch eine geringere Leistungsfähigkeit, weitere Prozessoptimierungen werden durchgeführt.

Literatur Literature

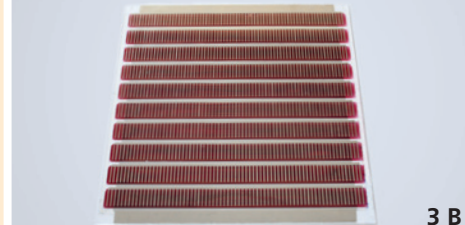
- [1] A. Lange, M. Wegener, C. Boeffel, B. Fischer, A. Wedel, D. Neher: *A new approach to the solvent system for inkjet-printed P3HT:PCBM solar cells and its use in devices with printed passive and active layers*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 94, pp. 1816–1821 (2010)
- [2] M. Scharber, N. Sariciftci: *Efficiency of bulk-heterojunction organic solar cells*, Progress in Polymer Science 38, pp. 1929–1940 (2013)
- [3] Y. Zhou, C. Fuentes-Hernandez, J. Shim, J. Meyer, A. Giordano, H. Li, P. Winget, T. Papadopoulos, H. Cheun, J. Kim, M. Fenoll, A. Dindar, W. Haske, E. Najafabadi, T. Khan, H. Sojoudi, S. Barlow, S. Graham, J. Brédas, S. Marder, A. Kahn, B. Kippelen: *A universal method to produce low-work function electrodes for organic electronics*, Science 336, pp. 327–332 (2012)



2



3 A



3 B



3 C

Using a continuous pilot scale process to fabricate flexible solar cells

The Fraunhofer IAP was tasked with scaling up the fabrication of organic solar cells (OSC) from the lab to the pilot scale as part of the cooperative project “flex!PV.at”, financed by the Austrian Climate and Energy Fund. One important task was to develop a continuous and semi-automatic process to improve reliability and yield. Processing was carried out on a pilot line that was installed at the Fraunhofer IAP in 2012 (Fig. 1). OSC fabrication (Fig. 2) was divided into several successive process steps. First a transparent electrode consisting of an inkjet-printed silver grid was deposited on glass or polymer substrates (PET, PEN) measuring 150 mm x 150 mm. Inkjet printing is the ideal deposition technique for this structure due to its digital nature.

Both, slot die coating and inkjet printing can be used to deposit the active layers. As part of this project, all solution processed layers were inkjet printed [1]. In the conventional device setup [2] (Fig. 2), a PEDOT:PSS layer is initially printed on the silver grid. This material enhances the conductivity between the grid lines and also acts as a hole transport material in the solar cell. For the active layer, a poly-(hexylthiophene) derivative acts as the electron donor in combination with a fullerene derivative (ICBA) which is the electron acceptor. Printing speed was between 100 und 150 mm/s for all layers depending on the type of print head and the ink viscosity. This led to a total printing time of around ten minutes for the entire device. The cathode, consisting of 30 nanometers of calcium und 100 nanometers of silver, was thermally evaporated. The devices were laminated with a barrier foil from the back to protect the OSC from environmental degradation.

In the inverted device architecture [1] (Fig. 2) a very thin layer (< 10 nm) of poly(ethylen imine) (PEI) [3] was printed on top of the Pedot:PSS layer. The active layer was prepared as described above. In the inverted stack, the back electrode consisted of a thermally evaporated MoO₃ layer (3–5 nm) and a silver layer (100 nm). In this device setup, the PEI modulates the work function of the Pedot:PSS making this film combination responsible for electron transport. In contrast, molybdenum oxide serves as a hole transport layer.

Two devices are shown in Fig. 3, where one module is processed on a glass substrate (3 B) and the other on a polymer substrate (PET) (3 C). Our project partner, AIT (Vienna), characterized both modules with respect to their performance. The current-voltage characteristic is shown in Fig. 3 A for the module processed on glass with a conventional stack structure. A power conversion efficiency of almost 3.2 percent was determined for the active module area. The modules on flexible substrates still exhibit a weaker performance and process optimization is ongoing.



Dr. Christine Boeffel

Telefon +49 331 568-1915
Fax +49 331 568-3910
christine.boeffel@iap.fraunhofer.de

Dr. Alexander Lange

Telefon +49 331 568-1913
Fax +49 331 568-3910
alexander.lange@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

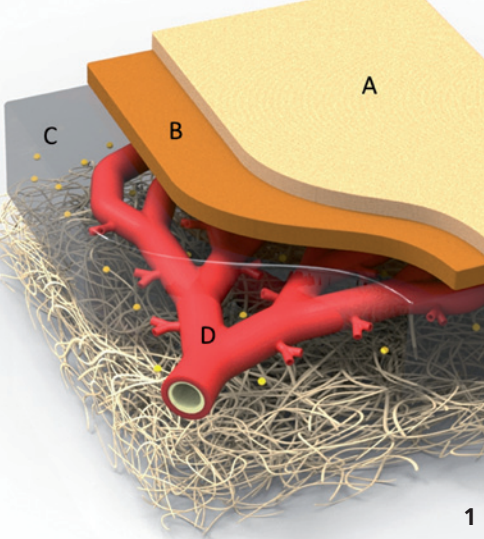
– Klima- und Energiefonds der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), Projekt flex!PV.at, Nr.838621

Kooperation Collaboration

– NanoTecCenter Weiz Forschungsgesellschaft mbH (Austria)
– crystalsol GmbH, Wien (Austria)
– Linzer Institut für Organische Solarzellen (LIOS), Universität Linz (Austria)
– Austrian Institute of Technology (AIT), Wien (Austria)
– Institut für Chemische Technologie der Universität Graz (Austria)
– Isovoltaic AG, Lebring (Austria)

Website

www.flexpv.at



1 Three-layer skin structure with A: epidermis, B: dermis, C: hydrogel seeded with adipocytes, D: 3D printed porous blood vessel network.

2 3D stereolithographically generated supply system for the skin module made from elastic photocurable materials developed at the Fraunhofer IAP. © Fraunhofer ILT

3 Cell seeding to the inner wall of porous polyacrylate tubes after biofunctionalization. © Fraunhofer IGB

4 Tear-to-tensile strength ratio of newly adapted polymers with 3 to 4 times higher tear resistance than purely polyacrylate systems which exhibit values between 2–4 cN.

5 Dip-coated tube made from adapted photopolymers that withstands the injury of a surgery needle and is sewable. © Ruhr Universität Bochum



Photoaushärtbare Materialien für die generative Fertigung im Tissue Engineering

Das Tissue Engineering (TE) befasst sich mit der künstlichen Herstellung biologischer Gewebe durch die gerichtete Kultivierung von Zellen. Vaskularisierung beschreibt die Fähigkeit eines natürlichen Organs, dasselbe mit Blutgefäßen auszustatten und zu durchdringen. Für das Überleben eines dreidimensionalen Gewebes ist die Versorgung mit Nährstoffen und Sauerstoff bzw. der Abtransport von Stoffwechselprodukten nur durch eine Vaskularisierung möglich und stellt so eine Hauptherausforderung im TE dar [1].

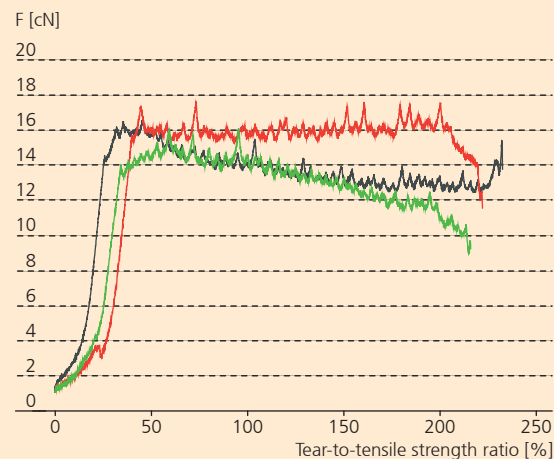
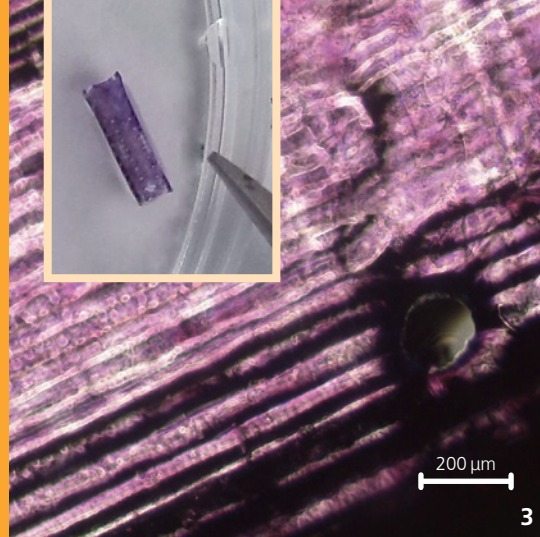
Im EU-Projekt ArtiVasc-3D wurde an einem künstlichen Hautmodell geforscht, mit dem Ziel, zukünftig Tierversuche für dermatologische Tests zu reduzieren oder gänzlich zu vermeiden. Noch sind sie nötig, um z. B. die Arzneimittelaufnahme über die Haut zu studieren. Ein weiterer Ansporn dieser Forschung lag im Bereich der regenerativen Medizin. Dort müssen Weichgewebe zur Verfügung gestellt werden, um pathologische Defekte von Unfallopfern oder Krebspatienten zu ersetzen. Im ArtiVasc-3D-Projekt wurde ein dreischichtiges Gewebe aufgebaut. In Fig. 1 wird schematisch der Aufbau der künstlich generierten Haut dargestellt. Diese besteht aus einem mechanisch stabilisierten Hydrogel (C), welches mit Fettzellen durchsetzt und mit einem künstlich generierten, porösen und im Innern biofunktionalisierten Vaskularisierungsmodul (D) durchzogen wurde. Darauf setzen die Dermis (B) und die Epidermis (A) auf.

Das Vaskularisierungsmodul wurde mittels Stereolithographie aus einem am Fraunhofer IAP entwickelten Photoharz generiert, das hinsichtlich des geforderten generativen Prozesses eine hohe Auflösung von ~1 Mikrometer gewährleisten musste, um die porösen und kapillaren Größenordnungen im verzweigten Baumodul zu ermöglichen (Fig. 2). Die Auskleidung der inneren polymeren Gefäßwände mit Epithelzellen gelang nach Biofunktionalisierung im Bioreaktor (Fig. 3 aus [4]).

Neben der geforderten Auflösung im Fertigungsprozess musste das photoausgehärtete Polymer den mechanischen Anforderungen im Einsatzort »künstliche Haut« hinsichtlich seiner Mechanik und Bioverträglichkeit angepasst werden. Auf Wissen und Erfahrungen aus dem Fraunhofer MAVO BioRap® Projekt konnte bei der Entwicklung eines elastischen Polymermaterials zur additiven Generierung mittels Licht zurückgegriffen werden, so dass bereits biokompatible Materialien mit den geforderten Elastizitätseigenschaften und Reißfestigkeiten zur Verfügung standen [2], die den Adermaterialien aus der Natur hinsichtlich dieser Parameter ähneln und auch der Belastung des Blutdruckes standhalten. Die auf Polyacrylatbasis hergestellten Materialien besitzen eine in der Literatur beschriebene, intrinsische Eigenschaft einer nur sehr geringen Weiterreißfestigkeit [3], die der Verwendung im klinischen Umgang entgegensteht. Wenn diese Materialien vernäht werden müssen, reißen die Bauteile praktisch ohne Widerstand in Richtung der angewendeten Kraft vollständig durch. Durch Substitution der üblichen Acrylatchemie gelang es im Projekt photoaushärtbare Materialien zu entwickeln, die sich durch ihre erhöhte Weiterreißfestigkeit und Vernähbarkeit (Fig. 4 und Fig. 5) für das Tissue Engineering eignen.

Literatur Literature

- [1] E. Novosel, C. Kleinhaus, P. Kluger: *Vascularization is the key challenge in tissue engineering*, Advanced Drug Delivery Reviews 63 (4–5), pp. 300–311 (2011)
- [2] W. Meyer, S. Engelhardt, E. Novosel, B. Elling, M. Wegener, H. Krüger: *Soft Polymers for Building up Small and Smallest Blood Supplying Systems by Stereolithography*, J. Funct. Biomater. 3(2), pp. 257–268 (2012)
- [3] S. Baudis, C. Heller, R. Liska, J. Stampfl, H. Bergmeister, G. Weigel: *(Meth)acrylate-based photoelastomers as tailored biomaterials for artificial vascular grafts*, Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry 47(10), pp. 2664–2676 (2009)
- [4] B. Huber, S. Engelhardt, W. Meyer, H. Krüger, A. Wenz, V. Schönhaar, G. Tovar, P. Kluger, K. Borchers: *Blood-vessel Mimicking Structures by Stereolithographic Fabrication of Small Porous Tubes Using Cytocompatible Polyacrylate Elastomers, Biofunctionalization and Endothelialization*, J. Funct. Biomater. 7, 11 (2016)



Photocurable materials for 3D printing in tissue engineering

Tissue engineering (TE) aims at the fabrication of artificial biological tissue through directed growth of cells using a variety of materials and engineering methods. Vascularization is the ability of organs to form blood vessels and capillaries. These supply the three-dimensional tissue with nutrients and oxygen and remove metabolic products. The process of vascularization poses a major challenge to TE [1].

As part of the EU project ArtiVasc-3D, a skin model was developed with the aim of reducing or avoiding the use of animal testing in dermatological trials in the future. These tests are currently still necessary, for example to investigate drug absorption through the skin. Regenerative medicine is another impetus behind the present research. Soft tissue is needed to treat pathological defects of accident victims or cancer patients. An artificial three-layer skin has been constructed as part of the ArtiVasc-3D project. The structure of this skin is shown schematically in Fig. 1: A mechanically stabilized hydrogel (C) was interspersed with fat cells and an artificially generated, porous and branched capillary module. The inner walls of the capillaries were biofunctionalized and covered with a layer of epithelia cells (D). A dermis layer (B) and an epidermis layer (A) were cultivated on top of this fatty tissue.

Stereolithography was used to fabricate the capillary module from a photo resin developed at the Fraunhofer IAP. This required a high resolution of ~1 micron to generate porous structures and capillary diameters at various lengths (Fig. 2). The inner polymeric capillary walls were biofunctionalized and endothelialized in a bioreactor (Fig. 3 taken from [4]).

In addition to the high resolution required by the production process, the mechanical properties of the photocured polymer and its biocompatibility had to be adapted for use in the "artificial skin". Therefore, the knowledge and experience gained during the Fraunhofer MAVO BioRap® project were incorporated into the present Artivasc-3D project. Here elastic and biocompatible polyacrylate-based materials were developed which had Young's moduli and tensile strengths [2] capable of withstanding the stress of blood pressure when used in a natural system. However, as most polyacrylates intrinsically have very low tear resistance [3], they are generally not suitable for clinical use which requires sewability. In Artivasc-3D, we succeeded in developing a photocurable material by substituting conventional acrylate chemistry. This resulted in increased tear resistance and sewability (Fig. 4 and Fig. 5). These materials are now ready to use in additive manufacturing processes as part of tissue engineering.



Dr. Wolfdietrich Meyer

Telefon +49 331 568-1442

Fax +49 331 568-3910

wolfdietrich.meyer@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

- EU Seventh Framework Programme (FP7), Projekt "ArtiVasc 3D", Grant agreement n° 263416

Kooperation Collaboration

- Fraunhofer ILT, Aachen
- Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum Bergmannsheil, Bochum
- Fraunhofer IGB, Stuttgart

Website

www.artivasc.eu

SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK

SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

- 56** **Prozess- und Materialentwicklung**
Process and Material Development
- 60** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 62** **Wiederbeladbare Mikropartikel für die permanente Anbindung an Textilien**
Reloadable microparticles for permanent attachment to textiles
- 64** **sb-PLA: PLA-Typen mit verbesserten Material- und Verarbeitungseigenschaften**
sb-PLA: PLA types with improved material and processing properties



pioneers in polymers



PROZESS- UND MATERIALENTWICKLUNG

Die zentralen Themen des Forschungsbereichs Synthese- und Polymertechnik sind Prozess- und Materialentwicklung. Der Forschungsbereich gliedert sich fachlich in die Abteilungen Polymersynthese, Mikroverkapselung/Partikelanwendungen und Membrantechnologie. Mitte 2015 wurde Dr. Mathias Hahn in den Ruhestand verabschiedet und Dr. Thorsten Pretsch übernahm die Leitung des Forschungsbereichs. Im Zuge dessen wurde das FuE-Portfolio um die Arbeitsgruppe Formgedächtnispolymere erweitert.

Formgedächtnispolymere

Formgedächtnispolymere sind Funktionswerkstoffe mit Netzwerkstrukturen aus Netzpunkten und sogenannten Schaltsegmenten. Typischerweise verändern diese Polymere ihre mechanischen Eigenschaften wie E-Modul und Härte signifikant während des Phasenübergangs ihrer Schaltsegmente. Um ein Polymer in eine thermisch schaltbare Form zu überführen – man spricht dabei auch von programmieren – werden die oberhalb des Phasenübergangs beweglichen Segmente nach einer Umformung durch Unterschreiten des Phasenübergangs zur Erstarrung gebracht. Das Polymer verbleibt fortan in der aufgezwungenen Form bis ein Erwärmen über die Schalttemperatur erfolgt und es daraufhin entropiegetrieben in die Ursprungsform zurückstellt. Formgedächtnispolymere haben das Potenzial, wissenschaftlich und industriell an Bedeutung zu gewinnen. Um innovationstaugliche Lösungen für Alltagsprobleme bereitstellen zu können, ist es vor allem erforderlich, die Herstellungs- und Programmierungsprozesse besser zu beherrschen und die damit verbundenen Kosten so gering wie möglich zu halten. Der Fokus der Arbeiten liegt auf neuartigen Polymermaterialien. Die Ermittlung von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen und Untersuchungen zum Einfluss der Verarbeitung sowie der Programmierung auf die Formgedächtniseigenschaften sollen das Verständnis für die Materialien vertiefen und somit die Grundlage für den erfolgreichen Transfer von Forschungsergebnissen in Anwendungen bilden. Ein mögliches Einsatzgebiet liegt im Produktschutz, wo die zu Sicherheitsetiketten weiterveredelten Polymere durch eine thermisch induzierbare Formänderung Informationen über die Echtheit eines Produkts preisgeben können. Aufgrund der guten sensorischen Eigenschaften

eröffnen sich auch Einsatzchancen als Überwachungstechnologie zum Einhalten von Kühlketten. Eine weitere spannende Anwendungsidee befasst sich mit treibhausähnlichen Folientunneln, die den Montageaufwand auf ein Minimum reduzieren, indem sie sich durch Wärmezufuhr selbst aufrichten. Hinzu kommen klassische Anwendungen wie die als Kabelschutz eingesetzten Schrumpfschläuche oder die als Packmittel bewährten Schrumpffolien.

Polymersynthese

Die Abteilung Polymersynthese entwickelt Verfahren und Technologien zur Herstellung von Polymeren. Einen Schwerpunkt der Arbeiten bilden Biopolymermaterialien. Heute ist die industrielle Einführung nachwachsender Rohstoffe für die Synthese von Kunststoffen am weitesten bei der Herstellung, Verarbeitung und Applikation von Polylactid (PLA) fortgeschritten. Um schnelle Marktfähigkeit zu erreichen, wurden die FuE-Arbeiten auf die Entwicklung von PLA-Materialien mit verbesserten Gebrauchseigenschaften für unterschiedliche Anwendungen fokussiert. Im Mittelpunkt der Bestrebungen stehen Untersuchungen zum Aufbau applikationsbezogen optimierter Polymerstrukturen. Hierfür werden Synthesemethoden wie die Copolymerisation, gezielte Endgruppenfunktionalisierung, Kettenverknüpfung und Kettenverzweigung eingesetzt. Besonders hervorzuheben sind Arbeiten zur Entwicklung eines Syntheseprozesses für Stereoblock-PLA über reaktive Extrusion. Dies stellt eine entscheidende Erweiterung der Möglichkeiten dar, die Materialeigenschaften von PLA zu verbessern und zudem variabler zu gestalten. In diesem Zusammenhang sei betont, dass bereits Maßstabsvergrößerungen am Fraunhofer IAP mit Erfolg in einer diskontinuierlichen Miniplant-Syntheselinie vorgenommen werden konnten. Somit eröffnet der Reaktivextrusions-Prozess realistische Chancen für einen erfolgreichen Technologietransfer, der durch weitere FuE-Arbeiten zur Vereinfachung des gesamten PLA-Syntheseprozesses noch verstärkt und unterstützt wird. Neben diesen Aktivitäten werden – vorwiegend getrieben durch spezielle Fragestellungen aus der Industrie – neue Polymersyntheseprozesse entwickelt oder klassische Syntheseprozesse analysiert und optimiert. Der Fokus ist dabei insbesondere auf die Heterophasenpolymerisation gerichtet. Zur Aufklärung



und Kontrolle der Prozesse hinsichtlich der Charakteristika der entstehenden Dispersionen/Polymerpartikel, der Effizienz und der prozesstechnischen Sicherheit stehen hervorragende Möglichkeiten zur Verfügung. So sind die eingesetzten automatisierten Reaktionskalorimeter (RC1e) mit inline-Sensoren, die eine Verfolgung der chemischen und partikelbezogenen Veränderungen im Reaktionssystem möglich machen, ausgerüstet.

Mikroverkapselung/Partikelanwendungen

Die Abteilung Mikroverkapselung/Partikelanwendungen fokussiert in ihren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten die Herstellung polymerbasierter Mikrokapseln und Matrixpartikel vom Nanometer- bis in den Mikrometerbereich. Seit vielen Jahren ist die Mikroverkapselung eine forschungs- und auch praxisrelevante Technologie, die schlüsselfertige Lösungen zu komplexen Aufgabenstellungen in bilateralen Industriekooperationen bereithält. Gleichzeitig fußt das wiederholte Bereitstellen innovativer Lösungen aber auch auf der technologischen Wandelbarkeit bezüglich der Material- und Prozessauswahl mit direkter Auswirkung auf Kapselgrößen und Kapselwandeigenschaften. Unter diesen Voraussetzungen hat die Stoffvielfalt der zu umhüllenden Substanzen auf bemerkenswerte Weise zugenommen, was sich branchenübergreifend in der erfolgreichen Durchführung einer Vielzahl von Industrieprojekten mit unterschiedlichsten, applikationsnahen FuE-Aufgabestellungen bemerkbar macht. In diesem Zusammenhang seien Additive für Reinigungsprodukte, Klebstoffsysteme und Futtermittel als Beispiele genannt.

Die im Jahr 2009 ins Leben gerufene »Technologieplattform Mikroverkapselung« bietet den teilnehmenden Unternehmen umfangreiche Einblicke in aktuelle FuE-Trends hinsichtlich Verkapselungsverfahren und Kapselapplikationen. Die Plattform wurde bis vor kurzem zusammen mit dem Fraunhofer IAO betrieben. Mit einer neuen strategischen Partnerschaft zwischen dem Fraunhofer IAP, dem Fraunhofer ICT und der Fraunhofer Forschungsgruppe »Partikeltechnologie und Rohstoffinnovationen« an der Technischen Hochschule Nürnberg ist nun ein Zusammenschluss gelungen, der die Basis für eine erfolgreiche Fortführung der Technologieplattform darstellt.

Neben den reaktiven und nicht reaktiven Kapselungsverfahren bildet die Synthese formaldehydfreier Aminoharze einen weiteren wichtigen Eckpfeiler in der Abteilung. So werden im Rahmen eines in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer WKI durchgeführten BMWi/AiF-Forschungsvorhabens innovative Holzwerkstoffe basierend auf formaldehydfreien Aminoharzen entwickelt. Die Industrierelevanz von formaldehydfreien Leimsystemen zeigt sich auch in einem aktuellen FNR-Forschungsvorhaben zur Entwicklung von formaldehydfreien Klebstoffen und Bindemitteln. Für die Begleitung dieses Projektes konnten mehr als 15 Unternehmen gewonnen werden.

Membrantechnologie

Die Arbeiten der Gruppe Membrantechnologie sind auf die Entwicklung von ressourceneffizienten Prozessen zur Herstellung von Membranen für verschiedene technische Anwendungen ausgerichtet. Diese erstrecken sich von porösen Membranen für die Mikro-, Ultra- und Nanofiltration bis hin zu Compositmembranen, die sowohl in der Gastrennung als auch in der Nanofiltration aus organischer Lösung angewendet werden können. Der Einsatz von Membranen in der Prozesstechnik nahm in den letzten Jahren kontinuierlich zu. Vor diesem Hintergrund wurden auf Basis von Polyacrylnitril drei neue Rezepturen für poröse Membranen entwickelt. Diese Membranen erreichen Gasflüsse von 150–300 m³/m² h bar bzw. Wasserflüsse von 100–250 L/m² h bar bei Porengrößen von 18,5–25 Nanometern und werden in einem kontinuierlichen Verfahren hergestellt. Zusätzlich wurde eine vernetzte Membran entwickelt, um auch in aprotischen, hochsiedenden Lösungsmitteln arbeiten zu können. Dieser lösungsmittelstabile Membrantyp ist kostengünstig zu fertigen und mit Porengrößen von 18–20 Nanometern sehr gut zu Compositmembranen zu verarbeiten. Membranen mit diesen Eigenschaften sind am Markt nicht erhältlich.

PROCESS AND MATERIAL DEVELOPMENT

The key research areas of the Synthesis and Polymer Technology research division include the development of processes and materials. The division divides into Polymer Synthesis, Microencapsulation/Particle Applications and Membrane Technology. In mid-2015, Dr. Mathias Hahn began his retirement and Dr. Thorsten Pretsch took over leadership of the research department. At this time the R&D portfolio was expanded to include the working group Shape-Memory Polymers.

Shape-memory polymers

Shape-memory polymers are functional materials with network structures made from netpoints and so-called switching segments. Typically the polymers' mechanical properties, such as Young's modulus and hardness, change significantly during the phase transition of the switching segments. In order to transfer a polymer to a thermally switchable form – also called programming – the flexible segments above the phase transition are solidified after a reshaping by cooling below the phase transition temperature. From then on the polymer remains in the forced shape until it is heated to above the switching temperature. At this point, entropy allows it to take on its original shape. Shape-memory polymers have the potential of playing an increasingly significant role in science and industry. In order to provide innovation-suitable solutions to everyday problems, it is especially important to better master the manufacturing and programming processes, and to keep the associated costs to a minimum. Our work focuses on novel polymer materials. Determining the structure-property relationships and investigating how processing and programming impact the shape-memory properties deepens our understanding of the materials and enables us to successfully transfer our research findings to applications. Product protection is one possible area of application. Here security labels made from refined polymers provide information about a product's authenticity by a thermally induced change in shape. Good sensory properties also provide opportunities in the area of monitoring technology to ensure cold chains are maintained. Another exciting application idea looks at greenhouse-like foil tunnels that are able to erect themselves

when heat is added, making assembly effortless. This is accompanied by traditional applications, such as shrink tubes used in cable protection or shrink films that are a tried and tested form of packaging.

Polymer synthesis

The Polymer Synthesis department develops processes and technology used to produce polymers. Research activities focus on biopolymer materials. Today the industrial implementation of renewable raw materials used in the synthesis of plastics is furthest along in the production, processing and application of polylactide (PLA). In order to quickly achieve marketability, R&D work focuses on improving the performance characteristics of PLA materials for different applications. The focus of our activities is on investigating the application-related development of optimized polymer structures. Synthesis methods, such as copolymerization, targeted end-group functionalization, chain coupling and chain branching are used. Worthy of mention is our work on developing synthesis processes for stereoblock PLA using reactive extrusion. This presents a decisive opportunity for improving the material properties of PLA to make them more variable. In this context it should be emphasized that scaling up has already been successfully achieved at the Fraunhofer IAP in a discontinuous mini-plant synthesis line. This opens up realistic opportunities to successfully transfer the technology of the reactive extrusion process. This is strengthened and supported through further R&D work that involves simplifying the entire PLA synthesis process. In addition to these activities, new polymer synthesis processes are developed and traditional synthesis processes are analyzed and optimized. This is primarily driven by special industry requirements. Focus is particularly on heterophase polymerization. We have excellent ways of clarifying and monitoring the processes with respect to the characteristics of the generated dispersions/polymer particles, efficiency, and the safety of the technical processes. For example, the automated reaction calorimeters (RC1e), are equipped with inline-sensors which monitor chemical and particle related changes in the reaction system.

Microencapsulation/particle applications

The Microencapsulation/Particle Applications department investigates the production of polymer-based microcapsules and matrix particles on a nanometer to micrometer scale. For many years microencapsulation has been a research and practice-relevant technology that provides turnkey solutions to complex tasks as part of bilateral industry partnerships. At the same time, continuous innovative solutions are also based on technological transformability in terms of selecting materials and processes that directly impact capsule size and the properties of the capsule wall. Under these circumstances there has been a dramatic increase in the material diversity of the encapsulated substances which has made itself felt across all sectors as part of many successful industry projects comprising a variety of application-related R&D tasks. Examples include additives for cleaning products, adhesive systems and animal feed.

The "Microencapsulation Technology Platform", established in 2009, provides participating companies with extensive insights into current R&D trends with regard to encapsulation processes and capsule applications. Until recently the platform was jointly run by the Fraunhofer IAO. With a new strategic partnership between the Fraunhofer IAP, the Fraunhofer ICT and the Fraunhofer Research Group "Particle technology and raw material innovation" at the University of Applied Sciences Nuremberg, a new alliance has been created that represents a basis for the successful continuation of the technology platform.

In addition to reactive and non-reactive encapsulation processes, the synthesis of formaldehyde-free amino resins represents another important cornerstone of the department. Innovative wood materials based on formaldehyde-free amino resins are developed as part of the BMWi/AiF research project, conducted in collaboration with the Fraunhofer WKI. The increasing importance of formaldehyde-free amino resins for several industrial applications is revealed by the increasing number of companies willing to support these projects in relevant public funded research projects.

Membrane technology

The Membrane Technology Group focuses on the development of resource-efficient processes that produce membranes with various technical applications. These range from porous membranes for micro-, ultra- and nanofiltration, to composite membranes that can be used in gas separation and in nanofiltration of organic solutions. The use of membranes in process technology has increased continuously in recent years. In light of this, three new polyacrylonitrile-based recipes for porous membranes have been developed. These membranes achieve gas fluxes of 150–300 m³/m² h bar and water fluxes of 100–250 L/m² h bar in conjunction with pores measuring 18.5–25 nanometer. They are produced in a continuous process. In addition, a cross-linked membrane has been developed that enables work to be carried out in aprotic, high-boiling solvents. This type of solvent-stable membrane is inexpensive to produce and can be easily processed into composite membranes as its pores measure 18–20 nanometer. Membranes with these properties are not obtainable on the market.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Synthese von Polymeren

Produktentwicklung

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

Prozessentwicklung

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

Charakterisierung

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

Mikroverkapselung und Partikelanwendungen

Partikelsynthese

- Einschlusspolymerisation von Pigmenten, Fluoreszenzmarkern und Wirkstoffen
- Morphologiekontrollierte Heterophasenpolymerisation
- Oberflächenmodifizierung synthetischer Polymerkolloide (Ligandenkopplung, Ausrüstung als Biomolekülträger)
- Partikelherstellung mittels Sprühtrocknung (auch organische Lösungsmittel möglich)
- Reaktive und nichtreaktive Mikroverkapselung von Wirkstoffen und Additiven (Pharmaka, Lebens- und Futtermittelergänzungsstoffe, Kunststoffadditive, Reaktionskomponenten für Kleb- und Dichtstoffe und andere Komponenten)

Charakterisierung

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

Membrantechnologie

Materialsynthese

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

Membranentwicklung

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

APPLICATIONS AND SERVICES



Forschungsbereichsleiter | Division director
Dr. Thorsten Pretsch

Polymer synthesis

Product development

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

Process development

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

Characterization

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

Microencapsulation and particle applications

Particle synthesis

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

Characterization

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

Membrane technology

Material synthesis

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

Membrane development

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

Formgedächtnispolymere
Shape-Memory Polymers

Dr. Thorsten Pretsch

Telefon +49 331 568-1414

Fax +49 331 568-3000

thorsten.pretsch@iap.fraunhofer.de

Mikroverkapselung/
Partikelanwendungen
Microencapsulation/
Particle Applications

Dipl.-Ing. Monika Jobmann

Telefon +49 331 568-1213

Fax +49 331 568-3000

monika.jobmann@iap.fraunhofer.de

Polymersynthese
Polymer Synthesis

Dr. Antje Lieske

Telefon +49 331 568-1329

Fax +49 331 568-3000

antje.lieske@iap.fraunhofer.de

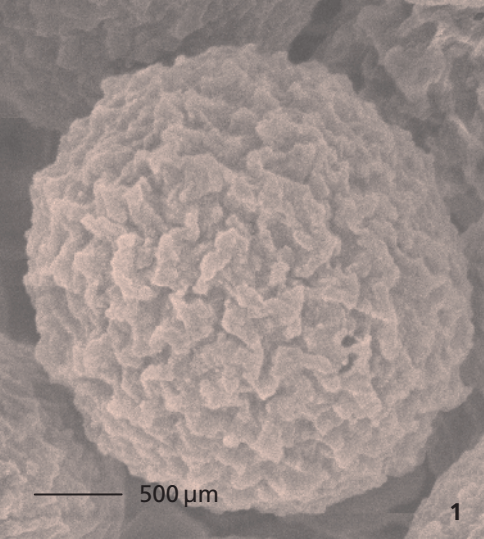
Membrantechnologie
Membrane Technology

Dr. Detlev Fritsch (bis 6|2016)

Telefon +49 331 568-1515

Fax +49 331 568-3000

detlev.fritsch@iap.fraunhofer.de

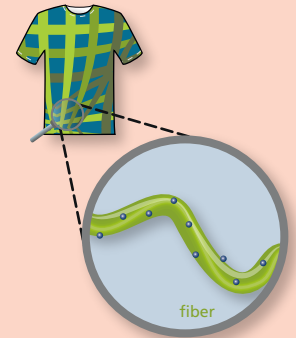


1 SEM image of the highly porous hydrophilic core (pearlcellulose).

2 Schematic representation of the working principle of the new microparticle-based textile finishing.

3 Left: The washing-off profiles of colored microparticles that contain various amounts of reactive isocyanate groups on the surface. Right: The release profiles of a sample perfume made from microparticles with various compositions.

Textile item: consists of fibers



Fibers naturally bear reactive groups on the surface

Wiederbeladbare Mikropartikel für die permanente Anbindung an Textilien

Funktionale Textilien sind Textilien mit wertsteigernden Eigenschaften wie beispielsweise antibakterielle Effekte, Parfümierung, UV-Resistenz, schwere Entflammbarkeit, schmutz-abweisendes Verhalten und vieles mehr. Standardtextilien werden oft durch ein funktionelles Finish modifiziert, um so die gewünschten Eigenschaften annehmen zu können.

Die Hauptaufgabe des Finishs besteht darin, die aktive Wirksubstanz auf die Fasern zu bringen, wobei eine ausreichende Verweilzeit, die den anwendungsspezifischen Erfordernissen entsprechen muss, sicherzustellen ist. Im Fall von medizinischen oder auch kosmetischen Textilien werden die applizierten Wirksubstanzen vollständig über die Zeit abgegeben. Aus diesem Grund ist ihre Effizienz auf eine Nutzungsperiode dieser Produkte beschränkt.

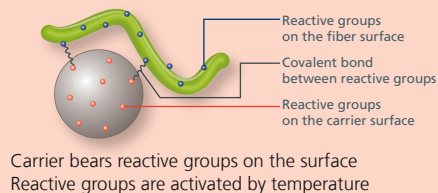
Im Rahmen eines von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderten Projekts wurde gemeinsam mit der Abteilung Lignocellulose ein neuer Typ von Textilfinishing entwickelt. Das zugrundeliegende Konzept umfasst das kovalente Immobilisieren von reaktiven Mikrocontainern auf geeigneten Substraten wie beispielsweise Textilien. Ihre permanente Präsenz auf den Substraten eröffnet dadurch eine Option zur Wiederbeladung im Sinne reversibel agierender Reservoirs. Neben einem verbesserten Adsorptionsvermögen von Textilien für aktive Ingredienzien verschiedener Substanzklassen aus Formulierungen lässt sich insbesondere auch das Release-Verhalten dieser Partikel einstellen.

Die reaktiven Mikrocontainer sind durch eine Kern-Schale-Struktur gekennzeichnet, wobei die Partikelkerne aus hochporösen Perlcellulosen (bis ca. 200 m²/g) bestehen (Fig. 1). Die porösen Partikelkerne können zusätzlich hydrophobiert werden, um so die Bandbreite ihres Anwendungsspektrums zu erweitern. Die Schalen der Mikrocontainer sind mit thermisch aktivierbaren Reaktivgruppen ausgestattet (Fig. 2), um kovalentes Fixieren durch Anbinden an reaktiven Gruppen eines Trägersubstrats zu ermöglichen.

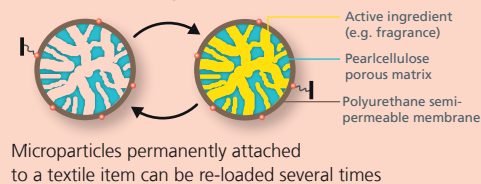
Das kovalente Fixieren erfordert moderate Temperaturen, wie sie beispielsweise während des Bügelns erreicht werden. Nach dem Immobilisieren dieser Reservoirs lassen sie sich mit Wirksubstanzen beladen, entweder durch Waschen der Textilien in einer speziellen Formulierung (z. B. die Nachbehandlung mit einer Lotion) oder durch direkte Anwendung wie beispielsweise das Besprühen der Textilien mit einem Parfüm.

Im Rahmen des erwähnten Projekts ist der Einfluss der Reaktivgruppenkonzentration auf den Partikeloberflächen sowie der Aktivierungstemperaturen auf das Immobilisieren der Mikrocontainer auf Textilfasern untersucht worden (Fig. 3). Bereits eine Behandlungstemperatur von 130 °C sowie moderate Anteile von reaktiven Gruppen genügen, um das Auswaschen farblich markierter Mikropartikel fast vollständig zu verhindern. Das Release-Verhalten eines ausgewählten Duftstoffes konnte bis zu einer Dauer von 6 Wochen nachgewiesen werden. Beladungs- und Freisetungsverhalten hängen dabei wesentlich vom Aufbau der Kapselkerne ab.

Permanent attachment of carriers to the textile fibers

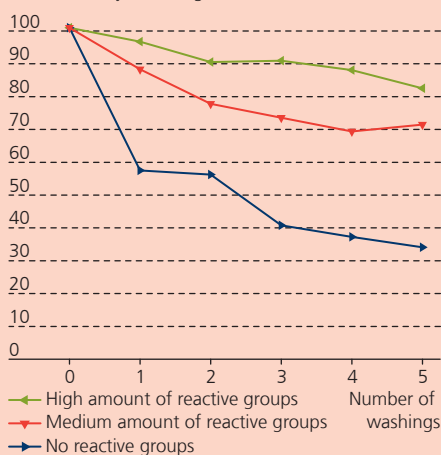


Repeatable loading/release of an active substance

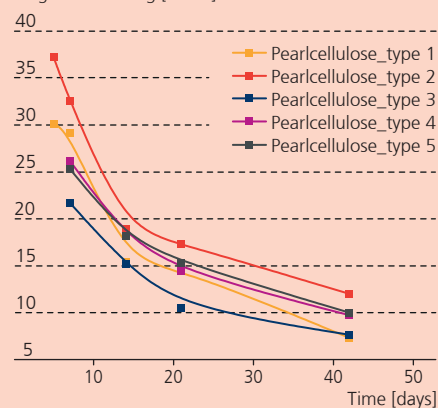


2

Color intensity from original [%]



Fragrance loading [wt. %]



3

Reloadable microparticles for permanent attachment to textiles

Functional textiles are textiles that have value added properties such as being antibacterial, odorless, scented, UV resistant, flame retardant, or soil retardant. A functional finish is often applied to traditional textiles to achieve this desired functionality.

From a technological perspective, the main function of a finish is to adhere the active substance to the fiber and to ensure that the dwell time is sufficient to fulfill the requirements specified by the application. In the case of medical and cosmetic textiles, the active substance is often fully released over time. As a result, the effective lifetime of such articles is limited.

Together with the lignocellulose department, we are developing a new type of textile finish as part of a project funded by the Agency for Renewable Resources (FNR). The new finish improves the textile's ability to absorb active substances contained in the formulation, and enables a sustained release of the active substance. The finish only needs to be affixed to the textile once, and can be repeatedly re-loaded with (an) active component(s).

The new finish is an aqueous suspension of microparticles that have a complex morphology. The microparticles consist of a porous hydrophilic core surrounded by a reactive polyurethane shell. The core of each microparticle consists of highly porous (up to 200 m²/g) cellulose beads ("pearlcellulose") synthesized in a separate step (Fig. 1). The hydrophilic core can also be modified with hydrophobic components to assist the loading mechanism and the sustained release of the hydrophobic active substances. The shell of the microparticles has two functions: to regulate the release profile of the active substance and to covalently attach the microparticles to the textile fibers (Fig. 2).

Attaching the finish to the textile requires moderately high temperatures which can be achieved by ironing the textile after it has been immersed in the finish and dried. After the microparticles have been attached, they can be loaded with active substances either by washing the textile in a formulation (e. g. after-wash lotion) or by directly applying them to the textile, for example by spraying on a perfume.

During the project we studied how the density of the reactive surface groups on the microparticles' surface influences the adhesion of the microparticles to the textile. We also examined which temperatures were required for this process. Temperatures as low as 130 °C and a moderate number of reactive groups are enough to prevent the blue-colored microparticles from washing out of the cotton textile samples (Fig. 3). The release behavior of one active substance (perfume) lasted over 6 weeks. The loading efficiency and the release profile depend on the composition of the microparticles.



Dr. Alexandra Latnikova

Telefon +49 331 568-1207

Fax +49 331 568-3000

alexandra.latnikova@iap.fraunhofer.de

Dr. Kay Hettrich

Telefon +49 331 568-1514

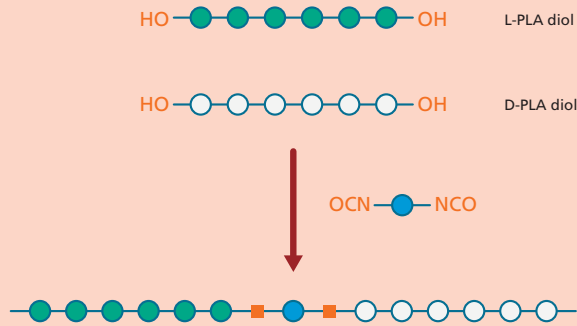
Fax +49 331 568-3000

kay.hettrich@iap.fraunhofer.de

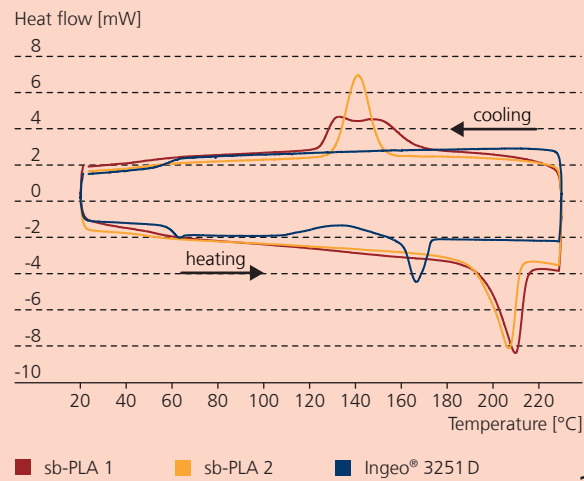
Kontakt Contact

Förderung Funding

– Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)



1



2

sb-PLA: PLA-Typen mit verbesserten Material- und Verarbeitungseigenschaften

Poly lactid (PLA) hat sich als erster rein biobasierter Massenkunststoff am Markt etabliert. Die Eigenschaftsspezifik der marktgängigen PLA-Typen sichert ein Wachstumspotenzial in den Bereichen Verpackung oder Textilfasern. Einer breiteren Anwendung mit höherer Wertschöpfung im Bereich der technischen Kunststoffe stehen jedoch vor allem unzureichende thermische Eigenschaften entgegen. Verbesserungen der Wärmeformbeständigkeit wären aber auch für Verpackungs- oder Faseranwendungen von Vorteil. Möglichkeiten hierzu eröffnen sich mit der Entwicklung von sogenannten PLA-Typen der 3. Generation, wobei eine anwendungsbezogene Optimierung der Polymerstruktur angestrebt wird. In einem über die bekannte Stereokomplexierung in Blends der optischen Isomere L- und D-PLA (sc-PLA) hinausgehenden Ansatz wurde in einem durch das Land Brandenburg mit Mitteln der Europäischen Union unterstützten Projekt das Potenzial von Stereoblock-PLA (sb-PLA) – einer PLA-Type mit kovalent verknüpften L- und D-PLA-Blöcken – untersucht.

Zur Herstellung der sb-PLA wurden mit Hydroxylgruppen terminierte L- und D-PLA-Ketten mit einem M_n zwischen 5 und 10 kD – synthetisiert über Ringöffnungspolymerisationen unter Verwendung von Butandiol als Initiator – mit einem Diisocyanat unter Ausbildung von Urethanbindungen kovalent verknüpft (Fig. 1). Es gelang, dies als reaktiven Extrusionsprozess umzusetzen, was die Möglichkeit eröffnet, sb-PLA in einem Doppelschneckenextruder – einem Aggregat, das ohnehin Bestandteil technischer PLA-Linien ist – herzustellen.

Sb-PLA mit M_n zwischen 20 und 60 kD und verschiedenen L- zu D-Verhältnissen wurden synthetisiert. Es konnte gezeigt werden, dass das die Wärmeformbeständigkeit bestimmende Kristallisationsverhalten von beiden Parametern beeinflusst wird. Alle sb-PLA-Typen zeichneten sich jedoch durch zwei entscheidende Merkmale aus: Erstens bildeten sich ausschließlich die höherschmelzenden sc-Kristalle, homochirale hc-Kristalle wurden in keinem Fall detektiert. Zweitens kristallisieren alle sb-PLA-Typen ohne jede Additivierung bei Abkühlraten von 10 K/min vollständig, während marktgängiges unadditiviertes PLA unter diesen Bedingungen praktisch nicht kristallisiert (DSC in Fig. 2). Entsprechend wiesen sb-PLA-Formkörper Wärmeformbeständigkeiten (HDT B) bis > 90 °C auf, während solche aus marktgängigem PLA über eine HDT B von ca. 60 °C verfügten.

Neben der Verbesserung der thermischen Eigenschaften führt die schnelle Kristallisation der sb-PLA-Typen auch zu Vorteilen bei der Verarbeitung: In Spritzgussversuchen beim Unternehmen Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH mit einem Produktionswerkzeug zur Herstellung von Schwefel-Atomen für den Molekülbaukasten von Cornelsen Experimenta (Fig. 3) konnte schlagzähmodifiziertes sb-PLA mit um ca. 35 Prozent geringeren Zykluszeiten als entsprechend schlagzähmodifiziertes kommerzielles PLA (35 s vs. 53 s) verarbeitet werden. Der für die Produktion normalerweise verwendete Kunststoff ABS wird mit Zykluszeiten von 25 Sekunden verarbeitet, was den mit sb-PLA erreichten Fortschritt widerspiegelt.

1 Principle of sb-PLA synthesis.

2 DSC traces of two sb-PLAs (D/L = 50/50) with different molecular weights compared to commercial PLA Ingeo® 3251 D (10 K/min, 2nd run).

3 Models of sulfur atoms which were injection molded from sb-PLA.



3

sb-PLA: PLA types with improved material and processing properties

Poly lactide (PLA) has established itself as the first biobased-only plastic. The property profiles of commercial PLA types ensure that there is further growth potential in the areas of packaging and textile fibers. However, their limited thermal properties prevent them from being more widely applied as engineering plastics with a higher added value. Improving their heat distortion temperature would also create advantages for packaging and fiber applications. The development of so-called 3rd generation PLA, associated with an application-related optimization of the polymer structure, is one way of achieving this objective. We investigated the potential of stereoblock-PLA (sb-PLA) – a PLA structure with covalently linked L- and D-PLA blocks – using an approach that goes beyond stereocomplexation in blends of the optical isomers L- and D-PLA (sc-PLA). Our investigations were part of a project supported by the State of Brandenburg using funds from the European Union.

We synthesized sb-PLA using hydroxyl terminated L- and D-PLA chains (PLA diols) with M_n between 5 and 10 kD as precursors. These were obtained through ring opening polymerizations of L- and D-lactide, with butane diol as the initiator. The isomeric PLA diols were covalently linked by a diisocyanate, thus forming urethane bonds between the isomeric blocks (Fig. 1). We succeeded in implementing a reactive extrusion process for the latter step, enabling the synthesis of sb-PLA within a twin-screw extruder – a unit that is already commonly part of technical PLA lines.

When synthesizing different sb-PLAs with M_n between 20 and 60 kD and varying ratios of L- to D-blocks, we found that both parameters influence their crystallization – and thus their heat distortion temperature. Nevertheless, all sb-PLA types had two key features: Firstly, only the higher-melting stereocrystals formed; no homochiral crystals were detected. Secondly, all sb-PLA types crystallized completely at cooling rates of 10 K/min without any additive, whereas commercial PLA without additives did not crystallize at all under these conditions (DSC in Fig. 2). According to these findings, molded parts made from sb-PLA had heat distortion temperatures (HDT B) of up to > 90 °C, while those from commercial PLA had an HDT B of about 60 °C.

In addition to improved thermal properties, the sb-PLA types crystallized quickly, which is an advantage during processing. Injection molding trials were carried out under production conditions at Hesco Kunststoffverarbeitung, an experienced injection molding company. Using a production tool for the manufacturing of sulfur atoms from a molecule construction kit from Cornelsen Experimenta (Fig. 3), impact modified sb-PLA had a cycle time that was about 35 percent faster than impact modified commercial PLA (35 s vs. 53 s). ABS, a plastic which is normally used in production, has a process cycle time of 25 seconds, which clearly reflects the level of progress brought about by sb-PLA.



Dr. Antje Lieske

Telefon +49 331 568-1329

Fax +49 331 568-3000

antje.lieske@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

– Ministerium für Wirtschaft
und Energie des Landes
Brandenburg (MWE)
mit Mitteln der EU

Investition in Ihre Zukunft!



Kooperation Collaboration

– Hesco Kunststoffverarbeitung
GmbH, Luckenwalde
– Uhde Inventa-Fischer GmbH,
Berlin
– Linotech GmbH, Forst
– PSS GmbH, Mainz

SPEZIALPOLYMERE

SPECIALTY POLYMERS

- 68** Spezialpolymere – vom molekularen Design bis zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
Specialty Polymers – from molecular design to structure-property relationships
- 72** Anwendungen und Dienstleistungen
Applications and services
- 76** Entwicklung von Mikroskopie-Bildanalysen zur Partikel- und Grenzflächen-Charakterisierung
Development of microscopy image analysis for particle and interface characterization
- 78** Mit Antikörpern Tumore schnell erkennen
Using antibodies to quickly identify tumors
- 80** Synthese hochfunktionaler Transmembranprotein-Polymer-Konjugate
Synthesis of highly functional transmembrane protein-polymer conjugates



SPEZIALPOLYMERE – VOM MOLEKULAREN DESIGN BIS ZU STRUKTUR-EIGENSCHAFTS-BEZIEHUNGEN

Polymere sind aufgrund ihrer vielen Strukturvariablen Alleskönner. Als Substanzen mit maßgeschneiderter Struktur und spezifischem Eigenschaftsprofil spielen Spezialpolymere daher eine Schlüsselrolle in Systemlösungen aller Art, vor allem für »high added-value«-Anwendungen. Funktionalität und Mehrwert der Systeme werden maßgeblich durch die Wirkung der Polymere erreicht, die dank ihres speziellen Designs in der Regel nur in geringen Mengen eingesetzt werden müssen. Entscheidend für die effektive Entwicklung von Spezialpolymeren ist es, die Fähigkeit zum molekularen Design mit dem Verständnis von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen und optimalen Synthesewegen zu verbinden. Das verlangt, Polymersynthese, molekulare Analytik und Charakterisierung der Eigenschaften in großer Breite und auf hohem Niveau miteinander zu kombinieren, da nur so die gewünschten Effekte erzielt und die anwendungsspezifischen Systemeigenschaften implementiert werden können. Diese Aspekte spiegeln sich in den folgenden Beiträgen zum Einsatz von Spezialpolymeren in kolloidaler Form bzw. an Grenzflächen und in der Nanomedizin anschaulich wider. Essenziell für den Erfolg unserer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ist dabei weiterhin die Kenntnis des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik, der Überblick über mögliche Ansätze und deren Wirtschaftlichkeit sowie unser Verständnis für die Bedürfnisse unserer Auftraggeber, um so adäquate und innovative Lösungen für die an uns herangetragenen Fragestellungen zu erarbeiten.

Typische Anwendungsfelder von Spezialpolymeren

Die Anwendungsfelder und Einsatzmöglichkeiten von Spezialpolymeren sind praktisch unbegrenzt. Entsprechend breit sind die Aktivitäten des Forschungsbereichs angelegt. Einen speziellen Schwerpunkt unserer Aktivitäten bilden Spezialpolymere für wässrige Systeme, sowohl synthetischer als auch biogener Art. Dies umfasst nicht nur die für uns etablierten Arbeitsthemen wie Wassermanagement, Waschmittel oder Körperpflege und Kosmetik, sondern auch in immer stärkeren Maß

medizinisch-pharmazeutisch geprägte Aufgabenstellungen und solche in der (Bio)Sensorik. Dafür haben wir unsere Kompetenzen z. B. im Kontext von Polymermaterialien für den biomedizinischen Bereich in den letzten Jahren gezielt erweitert. So verfügen wir über Labore der Sicherheitsstufen S1 und S2 sowie über die Arbeitserlaubnis für den Umgang mit pathogenen Krankheitserregern nach § 44 Infektionsschutzgesetz.

Je nach Einsatzgebiet und Anforderungsprofil entwickeln wir neue Stoffe und Produkte auf Basis sowohl synthetischer Polymere als auch natürlicher Polymere. Das Substanzspektrum beinhaltet gleichermaßen ungeladene »nicht-ionische« als auch geladene Polymere, d. h. Polyelektrolyte und Ionomere. Verstärkt kommen Spezialprodukte wie Polyampholyte und Polyzwitterionen dazu, die gleichzeitig positiv und negativ geladene Gruppen tragen. Sie ähneln in ihrem Verhalten vielfach Proteinen und zeichnen sich durch ausgeprägte Biokompatibilität und Antifouling-Eigenschaften sowie durch große Toleranz gegen hohe Salzfrachten aus.

Angepasst an die jeweils geforderten Anwendungsprofile beschäftigen wir uns mit Spezialpolymeren in Lösung, im Festzustand, als (Hydro)Gele oder in Form organisch-anorganischer Hybridmaterialien. Gleichermaßen wichtig sind Polymerkolloide und die Beschichtung bzw. Funktionalisierung von Oberflächen. Gerade in den letztgenannten Fällen bewirken oft geringe Einsatzmengen massive Effekte, d. h. die Polymere entfalten eine große Hebelwirkung. So steht neben dem Einsatz von Spezialpolymeren z. B. als Absorbentien, Flockungsmittel, Viskositätsregler, Emulgatoren, Waschhilfsstoffe, Entschäumer oder Ionenaustauscher die Verwendung als Papierchemikalien, Haarpflegemittel, Lacke, Klebstoffe oder Betonhilfsmittel sowie als Latizes oder Depot- und Verkapselungsmaterialien, für medizinische Materialien oder bakterizide Oberflächen.



Unseren Projektpartnern können wir nicht nur spezifisch umgrenzte, sondern bei Bedarf auch umfassende Lösungsansätze anbieten. Wir können unsere Kompetenzen in einer kompletten Entwicklungslinie bündeln, die sich von Monomer- und Polymersynthese über Methodik, Verfahrensentwicklung und – zusammen mit dem Fraunhofer PAZ – bis zum Scale-up erstreckt und Analytik und Charakterisierung in wässrigen Systemen sowie Untersuchungen zur geplanten Anwendung einschließt. Dies wird ermöglicht durch den ausgewogenen Kompetenzmix in unserem Team und im gesamten Fraunhofer IAP, durch die große Erfahrung unserer Wissenschaftler und Techniker sowie die exzellente Ausstattung der Labore.

Spezialpolymere für Anwendungen in wässrigen Systemen

Nicht nur in den erwähnten spezifischen Anwendungsfeldern, sondern auch generell sind Polymersysteme, die in Wasser hergestellt, verarbeitet oder angewendet werden, Materialien der Wahl, vor allem wenn es gilt, technische und wirtschaftliche Effizienz mit Umwelt- und biologischer Verträglichkeit oder Nachhaltigkeit zu verbinden. Da Wasser nicht nur ungiftig, unbrennbar und praktisch überall verfügbar ist, sondern sich auch problemlos entsorgen bzw. wiederverwerten lässt, ist Wasser ein ideales Lösungs- und Dispergiermittel. Dies macht nicht nur die Entwicklung neuer wasserbasierender Spezialpolymere, sondern auch die Umstellung von traditionell mit organischen Lösungsmitteln hergestellten bzw. verarbeiteten Produkten auf wasserbasierende Alternativen attraktiv. Dabei ergeben sich jedoch einige spezielle Anforderungen, da für die meisten Polymere Wasser weder ein gutes Lösemittel noch chemisch inert ist und zudem besondere physikalische Eigenschaften aufweist. 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. Entsprechend haben wir nicht nur besondere Kompetenzen bezüglich der Herstellungsverfahren, sondern auch spezieller Analyse- und Untersuchungsmethoden entwickelt.

Bevorzugte Zugangswege

Radikalische Polymerisationen bilden einen besonderen Schwerpunkt unserer Entwicklungsarbeiten, da sie in Wasser weitgehend ungestört ablaufen. Dabei befassen wir uns sowohl mit der Stoff- als auch der methodischen und der verfahrenstechnischen Seite. Neben der eigentlichen Polymersynthese beinhaltet die Stoffentwicklung auch die Synthese neuer Bausteine, also von Monomeren, Initiatoren, Kettenreglern und Inhibitoren sowie von Additiven. Wir haben u. a. diverse Techniken der kontrollierten radikalischen Polymerisation mit besonderem Blick auf den Einsatz in wässrigen Systemen entwickelt. Diese Methoden bieten einen relativ einfachen Zugang zu Polymeren mit besser definierten molekularen Parametern und besonderer Architektur. So lassen sich z. B. funktionale Stern-, Block- oder Gradienten-Copolymere herstellen, die neue Möglichkeiten für die Entwicklung von Spezialpolymeren eröffnen. Auf der Verfahrenseite haben bei uns Polymerisationen in Dispersion und in dünnen Schichten ein besonderes Gewicht. In allen Fällen erlaubt die geschickte Wahl des Verfahrens nicht nur eine Optimierung der Herstellung und der etablierten Produkteigenschaften, sondern auch die Entwicklung neuer Eigenschaftsprofile.

Die in diesem Jahresbericht beispielhaft vorgestellten Arbeitsthemen des Forschungsbereichs adressieren zum einen die Wichtigkeit von Charakterisierungsmethoden für Entwicklung und Einsatz von Spezialpolymeren, hier anhand der Kombination von optischer Mikroskopie mit einer qualifizierten Bildauswertung. Zum anderen werden die neuen Arbeitsgebiete der sogenannten Nanomedizin und der Polymer-Protein Hybridmaterialien vorgestellt, in denen den Spezialpolymeren vielfältige Aufgaben zufallen.

SPECIALTY POLYMERS – FROM MOLECULAR DESIGN TO STRUCTURE-PROPERTY RELATIONSHIPS

Polymers are all-rounders thanks to their manifold structure variables. As substances with a tailor-made structure and specific property profile, specialty polymers play a key role in all kinds of system solutions, particularly in “high added-value” applications. The systems’ functionality and added value are primarily achieved through the effect of the polymers which, thanks to their special design, usually only need to be applied in small quantities. The ability to link molecular design with the understanding of structure-property relationships and optimal synthesis routes is decisive in effectively developing specialty polymers. This requires the combination of polymer synthesis, molecular analytics and characterization of the properties on a broad scale and at a high level as this is the only way to achieve the desired effects and to implement the application-specific system properties. These aspects are illustrated in the following articles on the use of specialty polymers in colloidal form, at interfaces, and in nanomedicine. Our knowledge about the current state of science and technology, possible approaches and their cost-effectiveness, and our understanding of our clients’ needs are essential to the success of our research and development activities. They enable us to develop innovative solutions for the tasks that we are charged with.

Typical fields of application for specialty polymers

The application fields and possibilities of specialty polymers are practically unlimited. The activities of our research division are just as broad reaching. A special focus of our activities is on specialty polymers for aqueous systems – both synthetic and biogenic. These not only include our established lines of work, such as water management, cleaning agents, personal care products and cosmetics, but to a growing degree, also

medical and pharmaceutical aspects and (bio)sensory applications. To do this, we expanded our competencies recently, for example in terms of polymer materials for biomedical applications. Thus we have at our disposal S1 and S2 laboratories and a permit to work with pathogenic agents in accordance with Section 44 of the Infection Protection Act.

Depending on the area of application and profile requirements, we develop new materials and products based on both synthetic and natural polymers. Our spectrum of substances equally contains uncharged “non-ionic” and charged polymers, i.e. polyelectrolytes and ionomers. A growing number of special products are being added to this spectrum, such as polyampholytes and polyzwitterions that simultaneously carry positively and negatively charged groups. Their behavior is similar to that of proteins. They are characterized by their distinct biocompatibility and anti-fouling properties, and by their strong tolerance to high salinity.

Adapting to the required application profile, we work with specialty polymers in solution, solid form, as (hydro)gels and in the form of organic-inorganic hybrid materials. Polymer colloids and the coating and functionalization of surfaces are just as important. Often small quantities produce suffice for massive effects, particularly in the latter cases, i.e. the polymers produce a large leveraging effect. Specialty polymers are used, for example, as absorbents, flocculants, viscosity regulators, emulsifiers, washing additives, defoamers and ion exchangers. They are also used as paper chemicals, hair care products, paints, adhesives, concrete additives, latex, depot and encapsulation materials, in medical materials and bactericidal surfaces.

We provide our project partners with both specific and, where needed, comprehensive solutions. We are able to bundle our competencies in a complete line of development that includes monomer and polymer synthesis, methodology, process development and – together with the Fraunhofer PAZ – upscaling, analysis and characterization in aqueous systems, and investigations of the planned application. This is achieved through the balanced mix of competencies found throughout our team and the entire Fraunhofer IAP, by the vast amount of experience possessed by our scientists and technicians, and as a result of our excellently equipped laboratory facilities.

Specialty polymers for applications in aqueous systems

Polymer systems that are produced, processed or applied in water are the materials of choice in general and in the specific applications fields mentioned above, particularly when it comes to combining technical and economic efficiency with environmental and biological compatibility and sustainability. Water is not only non-toxic, non-flammable and almost universally available, it can also be easily disposed of or recycled. Thus it is an ideal solvent and dispersing agent. This makes the development of new water-based specialty polymers and the shift away from organic solvents towards water-based alternatives in the production and processing of products so attractive. There are several special requirements, since, for most polymers, water is neither a good solvent nor is it chemically inert. Furthermore it exhibits special physical properties. In order to ensure a high affinity to water, water-based polymers typically carry ionic or highly polar groups. This leads to complex interactions between the polymers themselves, and to an even larger degree, with the water. Accordingly we have special competencies when it comes to the production process, and have also developed the necessary special analysis and investigation methods.

Preferred access routes

Radical polymerizations are a particular focus of our development work as they largely occur undisturbed in water. We investigate the materials, the methodology and the technical processes. In addition to the actual polymer synthesis, material development also consists of the synthesis of new building blocks made from monomers, initiators, chain regulators, inhibitors and additives. We have developed a diverse range of methods of controlled radical polymerization with a particular focus on the use of aqueous systems. These methods enable relatively simple access to polymers with better defined molecular parameters and a special architecture. For example, functional star, block or gradient co-polymers can be produced which opens up new possibilities for the development of special polymers. In terms of processes, special importance is placed on polymerizations in dispersion and in thin layers. In every case, by carefully selecting the process, we are able to not only optimize production and established product properties, we can develop new property profiles as well.

Our department's research topics, presented in this annual report, address the importance of characterization methods in the development and use of specialty polymers, here based on the combination of optical microscopy and qualified image assessment. At the same time new areas of research – nanomedicine and polymer protein hybrid materials – are presented in which specialty polymers perform a range of tasks.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Polymere in wässrigen Medien

Ausgewählte Anwendungen

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

Neue Synthesen und Verfahren

- Chemische Modifizierung von Polymeren
- Dispersions- und Emulsionspolymerisation in wässrigen und inversen Systemen
- Kontrollierte Polymerisationen
- Neue Funktionsmonomere, Initiatoren und Kettenregler
- Polymerisation an Grenzflächen und in dünnen Filmen
- Reaktionen in ionischen Flüssigkeiten
- Sol-Gel-Verfahren
- Vinylpolymerisation in Masse und Lösung

Definierte Molekül- architekturen

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

Spezialdispersionen

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

Modellkolloide

- Farb-, Fluoreszenz- oder magnetische Markierung für Diagnostik, Sensoren und medizinische Therapien
- Gitter aus Polymerkolloiden einheitlicher Größe als optische Sensorelemente (z. B. für Farberkennung, Abstandsmessung und als Masken)
- Präparation von Oberflächen als Träger von Biomolekülen für die medizinische Diagnose und die gezielte Wirkstofffreisetzung

Hydrogele

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

Komplexe chemische und Oberflächenanalyse von Polymeren, Additiven und Tensiden

- (Konfokale) Fluoreszenzmikroskopie, digitale 2D- und 3D- Mikroskopie
- Oberflächenanalyse durch Ellipsometrie, Oberflächenplasmonenresonanz und UV/VIS-Reflexionsmessungen

Biologische in vitro Untersuchungen

- Biokompatibilitätsuntersuchungen
- Grenzflächenbiologie
- Mikrobiologische Untersuchungen mit humanpathogenen Erregern nach § 44 IfSG
- Prüfungen auf Zytotoxizität
- Untersuchungen mit primären humanen Zellen
- Zellkulturen (Primär- und Zelllinien)

Analytik von Biomaterialien für die Medizintechnik

- Kontaktwinkelmessung
- Mikroskopische Untersuchungen
- Refraktionsindexbestimmung von Flüssigkeiten und Polymeren
- Restmonomeren- und Restlösemittelbestimmung
- Untersuchungen ophthalmologischer Implantate und Explantate

Entwicklung von Medizinprodukten

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

Biotechnologie

- Bestimmung der Zusammensetzung von Biomasse
- Entwicklung/Optimierung von Fermentationsprozessen (Upstream)
- Entwicklung/Optimierung von Aufarbeitungsprozessen (Downstream)
- Fermentative Herstellung von Monomeren (z.B. Milchsäure) für die Polymersynthese und von Biopolymeren (z.B. PHB, Strukturproteinen)
- Fraktionierung von Cellulose, Hemicellulose und Lignin
- Gentechnische Arbeiten S1
- (Heterologe) Proteinexpression (z.B. Peroxidasen) und Aufarbeitung
- Multibioreaktoranlage mit Online-Analytik (pH, pO_2 , Biomasse, Zuluft/Abluft)
- Nutzung von Biomasse als Quelle für neue Rohstoffe
- Nutzung von Biomassereststoffen als Substrat bei Fermentationen
- Scale-Up von Up- und Downstream-Prozessen



Forschungsbereichsleiter | Division director
Prof. Dr. André Laschewsky (bis 3|2016)

Prof. Dr. André Laschewsky

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

Materialien für Life Science (bis 3|2016)
Materials for Life Science (until 3|2016)

Dr. Erik Wischerhoff

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

Funktionspolymere
für die Medizintechnik
Functional Polymers
for Medical Technology

Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321
Fax +49 331 568-331321
joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

Funktionale Proteinsysteme/
Biotechnologie (seit 4|2016)
Functional Protein Systems/
Biotechnology (since 4|2016)

Prof. Dr. Alexander Böker

Telefon +49 331 568-1112
Fax +49 331 568-3000
alexander.boeker@iap.fraunhofer.de

APPLICATIONS AND SERVICES

Polymers in aqueous media

Selected applications

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

New syntheses and processes

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

Defined molecular architectures

- block and graft copolymers
- graft and comb structures
- ionomers
- polyelectrolytes with tailored charge density, ionic strength, variable hydrophobic-hydrophilic balance
- polyzwitterions
- polymeric surfactants
- polymer protein hybrid materials
- reversible and irreversible gels
- “smart” polymers

Special dispersions

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

Model colloids

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

Hydrogels

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

Complex chemical and surface analysis of polymers, additives and surfactants

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

Biological in vitro investigations

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

Analysis of biomaterials for medical engineering

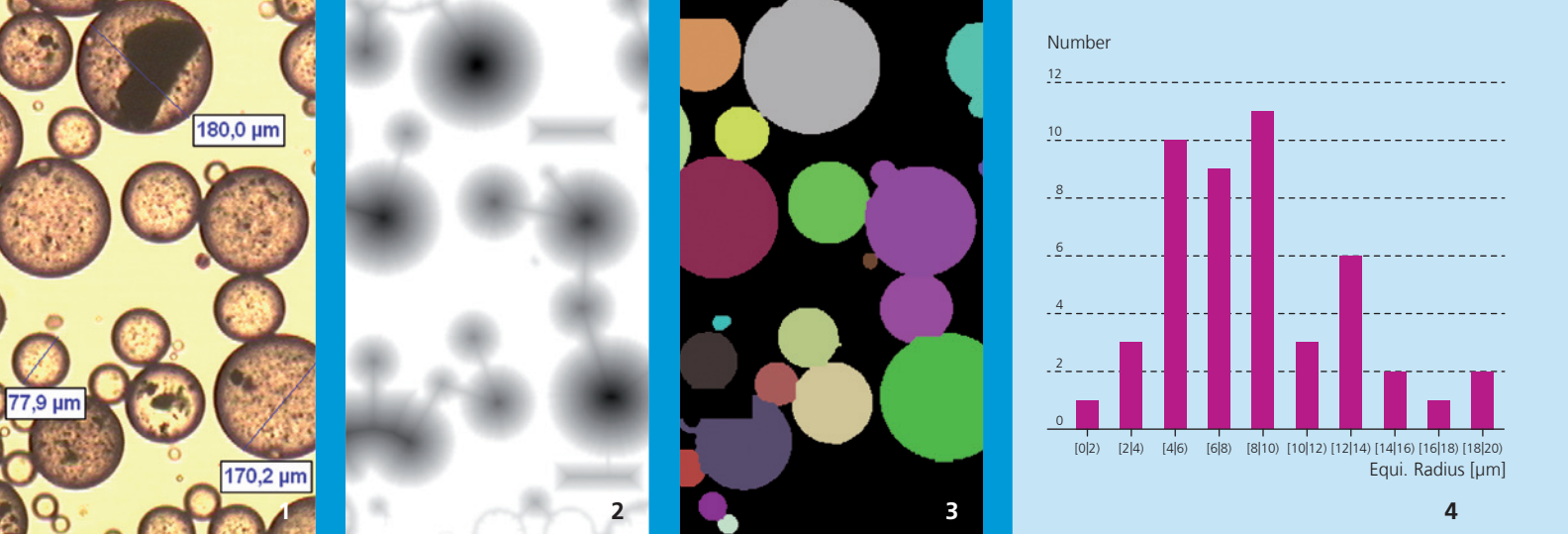
- contact angle measurement
- microscopic analysis
- measurement of refraction indices of liquids and polymer films
- identification and quantification of solvents and monomer residues
- examination of ophthalmologic implants and explants

Development of medical devices

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

Biotechnology

- determination of biomass composition
- development/optimization of fermentation processes (upstream)
- development/optimization of downstream processes
- fermentative production of monomers (e.g. lactic acid) for polymer synthesis, and biopolymers (e.g. PHB, structure proteins)
- fractionation of cellulose, hemicellulose and lignin
- genetic engineering research, safety level 1
- (heterologous) protein expression (e.g. peroxidases) and purification
- multi-bioreactor plant with online analytics (pH, pO₂, viable biomass, gas inlet/outlet)
- scale-up of upstream and downstream processes
- utilization of biomass as a source of new resources
- utilization of biomass residues as a substrate for fermentations



Entwicklung von Mikroskopie-Bildanalysen zur Partikel- und Grenzflächen-Charakterisierung

Die Lichtmikroskopie in Kombination mit einer angepassten Bildauswertungssoftware ist eine ausgesprochen flexible Analyseverfahren, die sich für die effiziente Lösung vieler Fragestellungen hervorragend eignet.

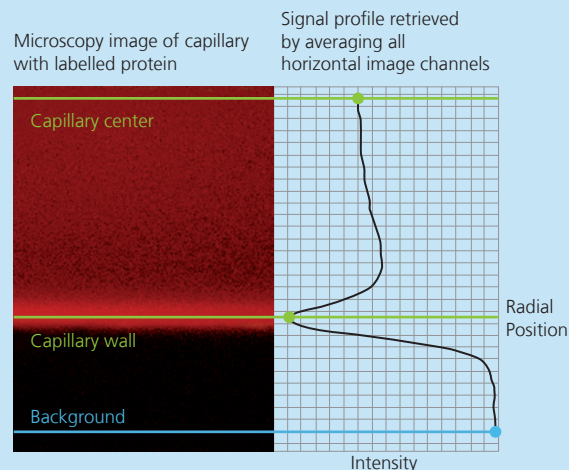
Mittels Lichtmikroskopie lassen sich Bildsequenzen unterschiedlichster Proben über einen breiten Größenordnungsbereich mit wenig Aufwand aufnehmen. Die elektronische Bildauswertung erlaubt es, sowohl eine Vielzahl von Informationen in kurzer Zeit zu akquirieren als auch große Bildmengen zu analysieren. Programmierungsumgebungen – wie etwa die von uns genutzte Mathematica-Software – ermöglichen es, leistungsfähige Verfahren der Bildauswertung zu entwickeln, die über die Fähigkeiten der typischerweise mit Mikroskopen gelieferten Standardsoftware weit hinausgehen.

Ein verbreitetes Problem, das wir gut mittels automatisiert arbeitender Bildauswerteverfahren lösen können, ist die Partikelgrößenbestimmung im Mikrometerbereich. Dies lässt sich instruktiv am Beispiel einer lichtmikroskopischen Aufnahme von pigmentierten Eudragit®-Kapseln (Fig. 1) erläutern. Die Schwierigkeit besteht darin, Analyseabläufe zu entwickeln, die komplexe morphologische Strukturen selbstständig erkennen, um dann Parameter wie Größe, Form und Ausrichtung der einzelnen Partikel zu ermitteln. Die Verwendung geeigneter Bildtransformationen und morphologischer Filter (Fig. 2) erlaubt eine Segmentierung (Fig. 3), die über eine Analyse der Partikelgröße (Fig. 4) hinaus auch die Analyse weiterer Parameter wie zum Beispiel Elongationen oder Positionskoordinaten der einzelnen Partikel ermöglicht. Da diese in Fig. 1 bis Fig. 4 veranschaulichte Bildauswertung automatisiert abläuft, ist sie besonders zur Auswertung großer Bildmengen geeignet.

In einem anderen Beispiel wurden im Rahmen einer Auftragsarbeit für ein Unternehmen verschiedene Antifouling-Beschichtungen für Glas-Kapillaren entwickelt und mittels fluoreszenzmarkierter Proteine getestet. Auf diese Aufgabe zugeschnitten haben wir ein Mikroskopieverfahren entwickelt, dessen Herzstück eine automatisierte Bildauswertesoftware ist. Mit diesem Verfahren war es möglich, große Bildmengen und damit auch die notwendige große Anzahl von Kapillaren quantitativ zu analysieren und so die Funktionalität der Antifouling-Beschichtungen adäquat zu bewerten. Fig. 5 zeigt die fluoreszenzmikroskopische Aufnahme eines Kapillarabschnitts sowie das für Kapillaren typische Fluoreszenzprofil in radialer Richtung, wie es mittels der Software bestimmt wurde. Die Software ist in der Lage, alle für die Abschätzung der Belegungsdichte notwendigen Daten aus dem Fluoreszenzprofil eigenständig zu ermitteln und aufzubereiten. Auf der Basis von 400 Kapillartests, bei denen über 4000 Bilder analysiert wurden, ließen sich die Beschichtungen so effizient optimieren.

Die hier vorgestellten Untersuchungen zeigen exemplarisch, wie vielseitig die Mikroskopie in Verbindung mit einer qualifizierten Bildauswertung eingesetzt werden kann.

- 1 Microscopy image of pigmented Eudragit® capsules, captured with an Axioskop 2 (Zeiss). Courtesy of Dipl.-Ing. Monika Jobmann.
- 2 Transformation of Fig. 1 which preserves all essential image information. Every pixel value is replaced by its absolute distance to the background. Thus, a morphological structure is obtained that is suitable for segmentation.
- 3 Segmentation of the image from (Fig. 2) using morphological transformation (watershed transformation).
- 4 Differential number distribution of particle radius (equivalent radius) retrieved from Fig. 3.
- 5 Microscopy image of a capillary (left) with a respective radial intensity profile (right). Some automatically detected features are highlighted. Microscope: CKX-41 (Olympus), objective: 10×, Exc.: 590 nm–650 nm, Em.: 670 nm–740 nm.



5

Development of microscopy image analysis for particle and interface characterization

Combining light microscopy with a customized image evaluation software produces a very flexible method of analysis that is excellent for effectively solving a range of characterization problems.

Light microscopy captures image sequences of different samples over several orders of magnitude with relatively little effort. Electronic image analysis enables a wide range of information to be gathered in a short period of time. At the same time, a large quantity of images can be analyzed. Programming environments, such as the Mathematica software we used, allow us to develop powerful image analysis techniques which far exceed the capabilities of conventionally supplied microscopy software.

Determining particle size in the micrometer range is one common issue that can be efficiently resolved using automated image analysis methods. This is instructively illustrated on a light microscopy image of pigmented Eudragit® capsules (Fig. 1). The difficulty lies in developing analysis processes that autonomously identify complex morphological structures in order to then determine parameters such as size, shape and orientation of the individual parameters. The use of suitable image transformations and morphologic filters (Fig. 2) allows for segmentation (Fig. 3) that extends beyond the analysis of particle size (Fig. 4) and enables the analysis other parameters, such as elongation or positional coordinates of the individual particles. Since the image analysis illustrated in figures 1 to 4 is performed automatically, it is particularly suitable for processing large sets of images.

We were also commissioned by a company to develop several antifouling coatings for capillaries which had to be tested by means of many different fluorescently-labeled proteins. We developed a microscopy technique that was especially designed for this task, which had an automated image evaluation software at its core. This method enabled us to quantitatively analyze large sets of images as well as a high number of capillaries so that we could adequately evaluate the functionality of the antifouling coatings. Fig. 5 shows the fluorescent microscopic image of a section of capillary and the fluorescence profile, typical for capillaries, in a radial direction as determined by the software. The software uses the fluorescence profile to independently extract and refine all of the data required to estimate the protein density at the surface. We were able to efficiently optimize the capillary coatings based on 400 capillary tests in which more than 4,000 images were analyzed.

The investigations presented above illustrate the versatility of software-supported microscopy image analysis.

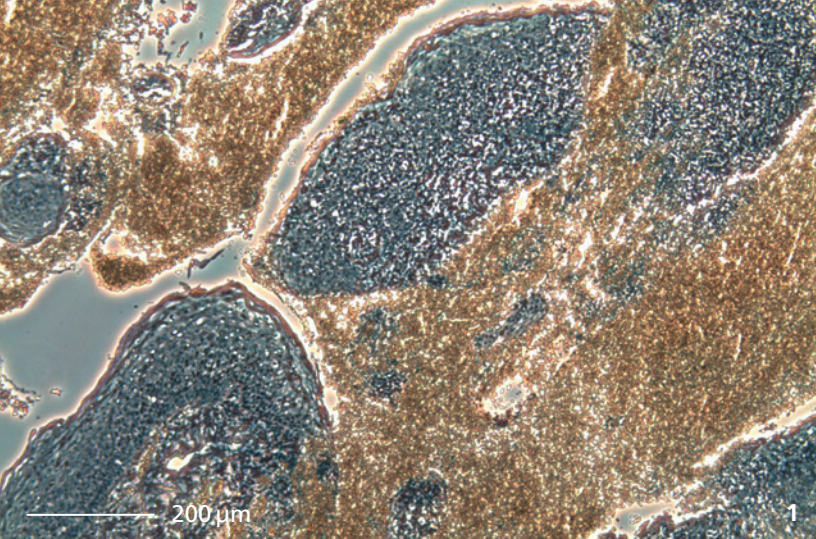


Dr. René Kalbitz

Telefon +49 331 568-1317
 Fax +49 331 568-3000
 rene.kalbitz@iap.fraunhofer.de

Dr. Erik Wischerhoff

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



1 Tumor cells.

2 Even a cell phone camera is sufficient to examine tissue samples for tumor cells.

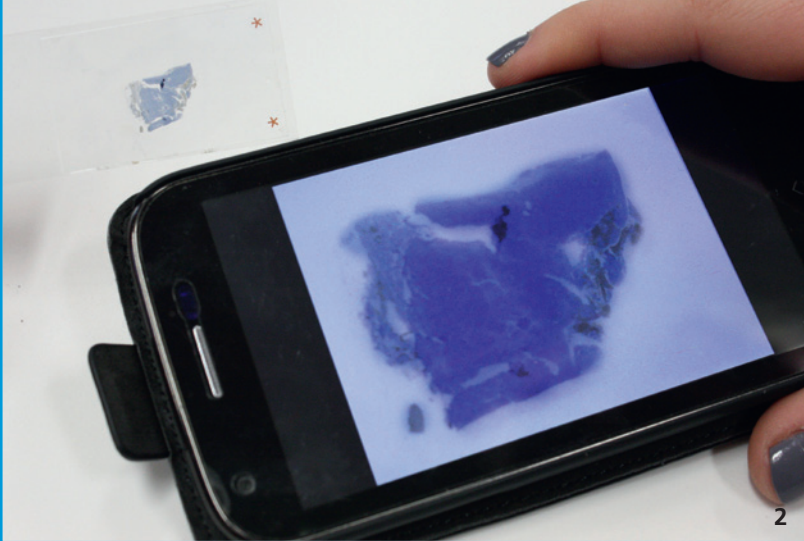
Mit Antikörpern Tumore schnell erkennen

Antikörper bekämpfen Viren und Bakterien. Sie heften sich aber auch in einer charakteristischen Weise an Krebszellen. Diese Eigenschaft wird genutzt, um Krebszellen in Gewebeproben nachzuweisen. Die am Fraunhofer IAP entwickelten Schnelltests können Chirurgen bereits während der Operation anwenden – innerhalb weniger Minuten und ohne ein teures Gerät.

Mithilfe einer MRT-Aufnahme, auf der ein Tumor hell aufleuchtet, kann der Chirurg das Geschwür genau lokalisieren und die Operation beginnen. Die Schwierigkeit liegt darin, das kranke Gewebe komplett zu entfernen, ohne zuviel gesundes Gewebe wegzuschneiden. Da sich Tumore asymmetrisch ausbreiten, ist es bei Gewebeschnitten nicht einfach, diese exakt zu lokalisieren. Bisher untersucht der Histologe dann die bei der Operation herausgeschnittenen Gewebeproben mit hochauflösenden Mikroskopen. Er identifiziert die für Krebszellen charakteristischen Strukturen und signalisiert dem Chirurgen, ob noch Geschwüre enthalten sind oder nicht. Das kann jedoch mehrere Tage dauern.

Am Fraunhofer IAP wurde ein polymerbasierter Schnelltest entwickelt, der es mit Hilfe eines einfachen Mikroskops ermöglicht, in einem Gewebeschnitt Tumorzellen von gesunden Zellen zu unterscheiden. Chirurgen können den Test noch im OP-Saal anwenden. Das spart Zeit und Kosten. Untersuchungen haben gezeigt, dass auf Tumorzellen Rezeptoren sitzen, an denen bestimmte, speziell gezüchtete Antikörper anhaften – zum Beispiel Östrogen-Antikörper an Brust-Karzinomen. Mit Hilfe dieser »Immundiagnostika« ist der Chirurg innerhalb weniger Minuten in der Lage nachzuprüfen, ob das kranke Gewebe vollständig entfernt wurde. Einmal auf die Gewebeprobe gesetzt, machen sich die Antikörper eigenständig auf die Suche nach ihrem Gegenpart – die für sie typischen Rezeptoren. Nachdem der Chirurg die Antikörper auf die Gewebeprobe aufgetragen hat, gibt er eine farbige Wasserlösung hinzu, mit der einzelne Enzyme des Antikörpers oxidieren. Die Farbe der Lösung ändert sich: An den Gewebestellen, an denen das geschieht, befindet sich krankes Gewebe (Fig. 1). Der Test ist sehr vielseitig: Je nach Tumorart können verschiedene Antikörper verwendet oder kombiniert werden. Zur Sicherheit färbt ein Gegentest im nächsten Schritt die gesunden Zellen charakteristisch ein. Sobald beide Tests keine Tumorzellen mehr detektieren, kann der Chirurg die Operation abschließen.

Im Prinzip ist es möglich, die Farbänderung mit einem Smartphone oder einer günstigen Kamera zu erkennen (Fig. 2). Ein interessanter Ansatz für Krankenhäuser, die sich keine teuren diagnostischen Geräte leisten können, zum Beispiel in Entwicklungs- oder Schwellenländern. Derzeit wird daran gearbeitet, die farblichen Kontraste zwischen gesunden und kranken Gewebezellen noch deutlicher sichtbar zu machen.



Using antibodies to quickly identify tumors

Antibodies fight viruses and bacteria. They also attach themselves in a characteristic way to cancer cells. This characteristic is used to verify cancer cells in tissue samples. The rapid test developed at the Fraunhofer IAP can be used by surgeons during an operation. It only takes a few minutes and does not require expensive equipment.

Using an MRI scan in which the tumor is illuminated, the surgeon can precisely locate the growth and begin the operation. The difficulty is to completely remove the diseased tissue while maintaining as much healthy tissue as possible. Since tumors expand asymmetrically, it is difficult to exactly locate the tumor when cutting out the tissue. Until now the histologist has examined the extracted tissue during the operation using high-resolution microscopes. Structures that are characteristic to cancer cells are identified and a signal is given to the surgeon as to whether cancer growths are still present. This can take several days.

The Fraunhofer IAP has developed a polymer-based rapid test which enables tumor cells to be differentiated from healthy cells in a section of tissue using only a simple microscope. Surgeons can use the test in the operating theater. This saves time and money. Tests have shown that tumor cells have receptors to which certain, specially generated antibodies attach – for example estrogen antibodies to breast carcinomas. Using this form of “immune diagnostics” the surgeon is able to test within minutes whether the diseased tissue has been completely removed. Once they have been placed on the tissue sample, the antibodies independently search for their counterparts – the receptors typical to them. After the surgeon has applied the antibodies to the tissue sample, a colored aqueous solution is added which oxidizes the individual enzymes of the antibody. The color of the solution changes in places on the tissue sample that still contain diseased tissue (Fig. 1). The test is very versatile: depending on the type of tumor, different antibodies can be used or combined. As a safety measure, a counter-test characteristically dyes the healthy cells in a subsequent step. As soon as neither test detects tumor cells, the surgeon can conclude the operation.

In principle it is possible to detect the changes in color with a smartphone or inexpensive camera (Fig. 2). This represents an interesting approach for hospitals that are unable to afford expensive diagnostic equipment, for example in developing or emerging countries. Currently we are working on making the color contrast between the healthy and diseased tissue cells more apparent.



Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-331321

joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

Dr. Christian Schmidt

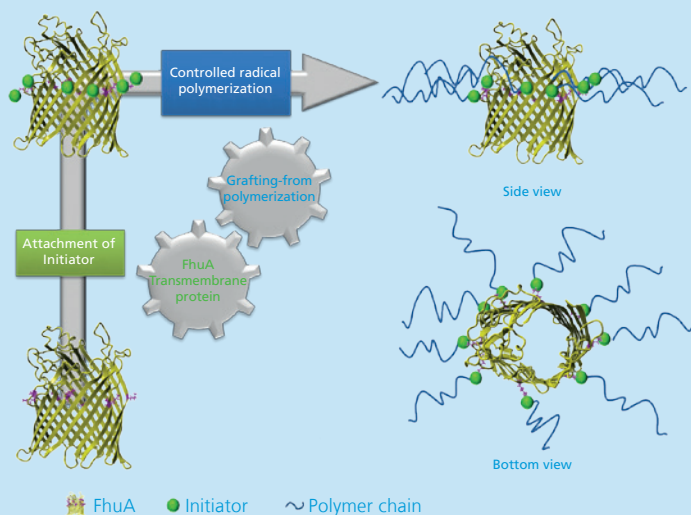
Telefon +49 331 568-1456

Fax +49 331 568-331321

christian.schmidt@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
- Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)



1 Overview of the strategy for generating transmembrane protein-polymer conjugates.

2 Scheme of the synthesis of FhuA macroinitiator and FhuA-PNIPAAm conjugates.

3 Sedimentation coefficients of unmodified FhuA (blue) and FhuA-PNIPAAm (red), analyzed using analytical ultracentrifugation.

Synthese hochfunktionaler Transmembranprotein-Polymer-Konjugate

Protein-Polymer-Konjugate repräsentieren ein aktives Forschungsgebiet mit Anwendungen z. B. zur Verabreichung von pharmazeutischen Wirkstoffen, für biologische Sensorsysteme und zur Diagnostik [1]. Während bisher globuläre Proteine für die meisten Studien verwendet wurden, kann das Forschungsgebiet auf die Proteinklasse der hochfunktionalen Membranproteine ausgedehnt werden. Nach bestem Wissen beschreiben wir erstmals die Konjugatsynthese mit einem Transmembranprotein [2], was die Entwicklung neuer Anwendungsfelder ermöglicht. Unser Kooperationspartner, die Gruppe von Professor Ulrich Schwaneberg (RWTH Aachen), hat genetisch veränderte Varianten des β -Fass-Transmembranproteins FhuA (ferric hydroxamate uptake protein component A) hergestellt, die speziell für die Konjugatsynthese gestaltet wurden (Fig. 1).

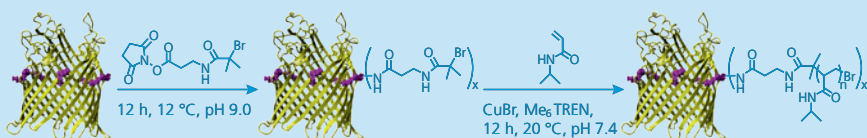
Im ersten Schritt wurde ein wasserlöslicher Polymerisationsinitiator an die Aminreste der Aminosäure Lysin gebunden und der sogenannte Protein Makroinitiator synthetisiert. Die Lysine sind in einem Ring oberhalb des hydrophoben Bereichs von FhuA und ausschließlich an der Kanalaußenseite angeordnet, um das Blockieren des Kanals durch Polymerketten zu verhindern. Anschließend wurde eine kontrollierte radikalische Polymerisation des Monomers *N*-Isopropylacrylamid (NIPAAm) von der Proteinoberfläche durchgeführt (Fig. 2). Hierfür wurden Reaktionsbedingungen gefunden, die eine erfolgreiche Modifikation bei Erhalt der Stabilität, Faltung und Löslichkeit des vergleichsweise empfindlichen Membranproteins ermöglichen.

Die herausfordernde Charakterisierung der Konjugate erfolgte mit MALDI-ToF-Massenspektrometrie, SDS-PAGE, Circular dichroismus (CD) Spektroskopie, analytischer Ultrazentrifugation (AUZ) und dynamischer Lichtstreuung (DLS). AUZ Messungen zeigten eine Verschiebung des Sedimentationskoeffizienten von FhuA-PNIPAAm-Konjugaten sowie eine deutlich breitere Verteilung, wie für ein Konjugat im Vergleich zu dem unmodifizierten Protein zu erwarten ist (Fig. 3).

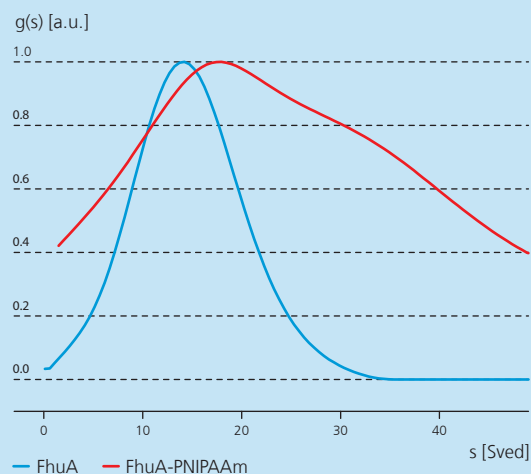
Solche Transmembranprotein-Polymer-Konjugate ermöglichen die Herstellung von ultradünnen Polymermembranen mit Proteinkanälen als Poren in der Membran. Dazu wird eine Polymerisation mit einem geringen Anteil eines verlinkbaren Comonomers durchgeführt. Nach Assemblierung der Konjugate an der Wasser/Luft-Grenzfläche kann die Polymermatrix durch Verlinken der Polymerketten gebildet werden. Unsere Gruppe hat ähnliche Membranen mit Ferritin-Polymer-Konjugaten hergestellt, die über einheitliche Poren nach Denaturieren des Proteins verfügen [3]. Bei Membranen mit FhuA ist das Protein selber die Pore, die Denaturierung entfällt und darüber hinaus kann der Proteinkanal auch im Poreninnern funktionalisiert werden. Diese Arbeiten werden zurzeit im Rahmen eines BMBF-Forschertandems gefördert.

Literatur Literature

- [1] U. Glebe, B. Santos de Miranda, P. van Rijn, A. Böker: *Synthetic Modifications of Proteins*, RSC Smart Materials No. 16, Ed. A. Böker, P. van Rijn, RSC, (2015)
- [2] H. Charan, J. Kinzel, U. Glebe, D. Anand, T. Mirzaei Garakani, L. Zhu, M. Bocola, U. Schwaneberg, A. Böker: *Grafting PNIPAAm from β -barrel shaped transmembrane nanopores*, J. Am. Chem. Soc., eingereicht (2016)
- [3] P. van Rijn, M. Tutus, C. Kathrein, N. C. Mougín, H. Park, C. Hein, M. P. Schürings, A. Böker: *Ultra-Thin Self-Assembled Protein-Polymer Membranes: A New Pore Forming Strategy*, Adv. Funct. Mater. 24, p. 6762-6770 (2014)



2



3

Synthesis of highly functional transmembrane protein-polymer conjugates

Protein-polymer conjugates are a current field of research that can be used in areas such as drug delivery, biosensing and diagnostics [1]. While most studies have targeted globular proteins, using transmembrane proteins broadens the range of applications by incorporating this highly functional class of proteins. To the best of our knowledge, we report for the first time the conjugate formation with a transmembrane protein that allows developing new application fields [2]. Our cooperation partner, the group of Prof. Ulrich Schwaneberg (RWTH Aachen), genetically reengineered different variants of the β -barrel transmembrane protein ferric hydroxamate uptake protein component A (FhuA). These variants are designed to be well-suited as targets for polymerization reactions (Fig. 1).

In the first modification step, a water-soluble polymerization initiator was linked to the amine residues of the amino acid lysine to form the so-called protein macroinitiator. The lysines are distributed in a ring above the hydrophobic region of FhuA and are exclusively on the outside of the protein to prevent blockage of the channel by polymer chains. Then a controlled radical polymerization (CRP) of the monomer *N*-isopropylacrylamide (NIPAAm) was performed from the surface of the protein (Fig. 2). Reaction conditions were adjusted to enable successful modification without influencing the stability, folding and solubility of comparably sensitive membrane proteins.

MALDI-ToF mass spectrometry, SDS-PAGE, circular dichroism (CD) spectroscopy, analytical ultracentrifugation (AUC) and dynamic light scattering (DLS) were used to carry out the challenging characterization of the conjugate formation. As expected for a conjugate, AUC measurements showed that the sedimentation coefficient of the FhuA-PNIPAAm conjugates shifted to higher values and a much broader distribution than when the unmodified protein was used (Fig. 3).

Such transmembrane protein-polymer conjugates enable ultra-thin polymer membranes to form with protein channels acting as pores in the membrane. Therefore, a polymerization is performed using a small amount of a crosslinkable co-monomer. After the conjugates assemble at the air-water interface, the polymer matrix can be created by crosslinking the polymer chains. Our group formed similar membranes with ferritin-polymer conjugates and obtained uniform pores in the membrane after denaturation of the protein [3]. For membranes with FhuA, the protein is the pore itself. No denaturation is required and, moreover, the protein can be further functionalized inside the protein channel. This work is funded by BMBF as part of a "Forschertandem".



Dr. Ulrich Glebe

Telefon +49 331 568-3201
Fax +49 331 568-3000
ulrich.glebe@iap.fraunhofer.de

Himanshu Charan

Telefon +49 331 568-3205
Fax +49 331 568-3000
himanshu.charan@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

– Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
– Basistechnologietandem »Chirale Membranen«, FKZ 031A164C

Kooperation Collaboration

– Prof. Dr. Ulrich Schwaneberg, RWTH Aachen

PILOTANLAGENZENTRUM PAZ

PILOT PLANT CENTER PAZ

- 84 Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum PAZ**
Polymer technology at the Pilot Plant Center PAZ
- 88 Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 90 Superelastische Multipfropfcopolymere
für den Einsatz in Pumpen sowie
in der Medizin- und Lebensmitteltechnik**
Superelastic, multigrafted copolymers for use
in pumps and medical- and food technology



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 IMWS – 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.

10 Jahre Fraunhofer PAZ

2015 konnte das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum auf zehn Jahre erfolgreiche Arbeit am Forschungsmarkt zurückblicken. Aus diesem Anlass veranstaltete das Fraunhofer PAZ mit den beiden beteiligten Fraunhofer-Instituten IAP und IMWS am 19. Oktober 2015 eine Festveranstaltung in Schkopau. Zum Jubiläum im ValuePark® Schkopau gratulierten unter anderem Prof. Dr. Johanna Wanka, Bundesministerin für Bildung und Forschung, Dr. Reiner Haseloff, Ministerpräsident des Landes Sachsen-Anhalt und Prof. Dr. Sabine Kunst, Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg. Mehr als 140 Gäste aus Politik, Wirtschaft und Forschung nahmen an der Veranstaltung teil.

Entwicklung des Fraunhofer PAZ

Das Fraunhofer PAZ ist, wie die große Anzahl der bislang bearbeiteten Projekte belegt, 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.

Schwerpunkte im Bereich Synthese liegen neben der Übertragung neuartiger Polymersysteme in den Pilotmaßstab und der Mustermengensynthese auch mehr und mehr in der Verfahrensentwicklung von Polyreaktionen. In der Polymerverarbeitung nehmen Materialentwicklung und Optimierung der Verarbeitungsbedingungen einen hohen Stellenwert in der Projektbearbeitung ein. Die Finanzierung der Forschungsarbeiten am Pilotanlagenzentrum nach dem Fraunhofer-Modell funktioniert und ist durch einen hohen Industrieanteil gekennzeichnet.

Im Rahmen der »Regionalen Innovationsstrategie« der Landesregierung Sachsen-Anhalts soll das Fraunhofer PAZ bis 2018 weiter ausgebaut werden. So wurden Mittel für die bauliche und apparative Erweiterung in Höhe von 15 Millionen Euro aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE beantragt.

Polymersynthesetechnikum

Aufgrund der positiven Personalentwicklung wurde der Bereich Polymersynthese unter der Leitung von Professor Michael Bartke in zwei Abteilungen strukturiert, die eng miteinander verzahnt arbeiten.

In der Abteilung Synthese- und Produktentwicklung, unter der Leitung von Dr. Ulrich Wendler, der auch den Bereichsleiter Professor Bartke vertritt, werden die Aktivitäten auf den Gebieten der Synthese- und Materialentwicklung und auch das Projektmanagement betrieben. In der Abteilung Scale-up und Pilotierung, seit dem 1. Juli unter der Leitung von Dipl.-Ing. Marcus Vater, werden der Betrieb der Pilotanlage und die Projektabwicklung organisiert.

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 Pilotanlagenmaßstab sowie die Entwicklung und Optimierung einzelner Verfahrensstufen bis hin zur Entwicklung neuer Verfahren.



Ein wichtiger Schwerpunkt im Jahr 2015 war ein Folgeprojekt aus dem Vorjahr im Bereich Polyester für einen internationalen Kunden. Das Projekt beinhaltet umfangreiche Modifikationen der am PAZ bestehenden, mehrstufigen kontinuierlichen Polyesterlinie. In einer vollkontinuierlichen Kampagne wurden über 12 Tage am Stück im Dreischichtbetrieb unterschiedliche Verfahrensparameter und deren Auswirkungen auf die resultierenden Produkte untersucht.

Weitere Kundenprojekte wurden auf dem Gebiet Synthesekautschuk durchgeführt. So wurde 2015 für einen internationalen Kunden eine Kampagne zur Untersuchung und Energieoptimierung der Polymerabtrennung aus dem Lösungsmittel untersucht. Dabei wurde auch das am Fraunhofer PAZ selbst entwickelte und patentierte Verfahren »Strippung mit kurzer Verweilzeit« eingesetzt.

Weiterhin wurden im Labor vorbereitende Projekte und Machbarkeitsstudien durchgeführt. So wurde für einen großen Kunststoffhersteller ein partikelbildendes Verfahren zur Herstellung eines Polykondensats für Anwendungen in der Medizintechnik erprobt.

Im Bereich der öffentlich geförderten Forschung wurde 2015 ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördertes Projekt zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Herstellung von Synthesekautschuk mit gutem Erfolg weitergeführt. Eine Erfindungsmeldung wurde getätigt und die entsprechende Patentanmeldung befindet sich in der Vorbereitung.

Ein weiteres vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des VIP-Programms (Validierung des Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung) gefördertes Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung und Maßstabsübertragung von Multiblockcopolymeren mit spezifischen Eigenschaftsprofilen.

2015 konnte zudem ein Fraunhofer-internes Verbundprojekt zur Entwicklung von biomimetischem Synthesekautschuk eingeworben und gestartet werden. Zusammen mit unseren Partnern Fraunhofer IME, ISC, IWM und IMWS sollen innovative Kautschukcomposits auf Polyisoprenbasis entwickelt werden.

Polymerverarbeitung

Der Bereich Polymerverarbeitung wurde unter Leitung von Professor Peter Michel neu strukturiert und setzt sich aus den beiden neu gebildeten Gruppen »Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge« und »Hochleistungsthermoplaste« zusammen.

Unter der Leitung von Ivonne Jahn entwickelt die Gruppe Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge anwendungsspezifische kurz-, lang- und endlosfaserverstärkte Thermoplastverbunde sowie prototypische Halbzeuge. Die Umsetzung prozesstechnischer Aufgabenstellungen erfolgt vom Labor bis in den Pilotmaßstab.

Die Gruppe Hochleistungsthermoplaste wird geleitet von Dr. Matthias Zscheyge und beschäftigt sich mit der Bauteil- und Technologieentwicklung für thermoplastische Leichtbaustrukturen auf Basis von endlosfaserverstärkten Halbzeugen. Die Entwicklung startet bei der virtuellen Prozess- und Strukturlegung und vollzieht sich bis zur prototypischen Bauteilfertigung.

In engem Kundenkontakt wurden zahlreiche Bauteilabmusterungen auf den Großmaschinen vorgenommen. Für die Realisierung eines neuartigen Hybrid-Spritzgussprozesses wurde eine vollautomatisierte Fertigungszelle, bestehend aus einer Spritzgussanlage, einem Sechs-Achs-Roboter, einer Infrarot-Heizstation und einem Versuchswerkzeug im Technikumsmaßstab aufgebaut.

Mit BioFrame, der Entwicklung von Bio-Laminatwerkstoffen für Extrusionsrahmenprofile, konnte ein weiteres Projekt im Rahmen des Spitzenclusters »BioEconomy« gewonnen werden.

POLYMER TECHNOLOGY AT THE PILOT PLANT CENTER PAZ

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

The Fraunhofer PAZ turns 10

In 2015 the Fraunhofer Pilot Plant Center celebrated ten years of working successfully on the R&D market. This was marked by a celebration in Schkopau on October 19, 2015 which was organized by the Fraunhofer PAZ and the two participating Fraunhofer Institutes IAP and IMWS. Federal Minister of Education and Research, Prof. Dr. Johanna Wanka, Minister-President of Saxony-Anhalt, Dr. Reiner Haseloff, and Brandenburg's Minister of Science, Research and Culture, Prof. Dr. Sabine Kunst congratulated the Fraunhofer PAZ on its jubilee. More than 140 guests from politics, business and science attended the event at the ValuePark® in Schkopau.

Development of the Fraunhofer PAZ

The Fraunhofer PAZ is an established research institute and, as the large number of successfully completed projects can attest to, it has been widely embraced by the plastic production and processing industry. This is attributed to its ability to bundle synthesis and processing. It is also the result of the broad range of technological capabilities offered by its plants, which allow a wide range of technically important processes to be flexibly reproduced on a pilot plant scale.

Our expertise in the area of synthesis includes scaling-up innovative polymer systems to the pilot plant scale, the synthesis of sample quantities and, to an increasing degree, the development of polymerization processes. In the area of polymer processing, developing materials and optimizing processing conditions are high on the agenda of our projects. Research funding at the Pilot Plant Center operates according to the Fraunhofer model and is marked by a high proportion of industry-funded research.

Plans are in place to further expand the Fraunhofer PAZ by 2018 as part of the government of Saxony-Anhalt's "Regional Innovation Strategy". A funding application for 15 million euros has been submitted to the European Regional Development Fund (ERDF) to expand our premises and equipment.

The polymer synthesis plant

Due to positive HR developments, the Polymer Synthesis Department, under the leadership of Professor Michael Bartke, has been organized into two further departments that work in close collaboration with one another.

The Synthesis and Product Development Department carries out activities in the areas of synthesis and material development, as well as project management. The department is run by Dr. Ulrich Wendler, who is also deputy to Division Director Professor Bartke. Marcus Vater is a qualified engineer who has led the Scale-up and Pilot Testing Department since July. This department organizes pilot plant operation and manages projects.

The main fields of activity of the polymer synthesis plant include the supply of samples up to the ton-scale, which are later developed into products and applications, and the scaling up of new polymer synthesis from the lab to the pilot plant scale. This is accompanied by the development and optimization of individual process steps on up to the development of new processes.

An important focus of 2015 was a follow-up project from the previous year for an international polyester client. The project involved extensive modifications to PAZ's multi-step, continuous polyester line. We investigated various process parameters and their impact on the resulting product as part of a fully continuous campaign which was carried out over 12 days of three-shift operation.

Other customer projects took place in the area of synthetic rubber. In 2015 a campaign was carried out for an international client to investigate and energetically optimize polymer separation from the solvent. The process "stripping with short residence times", developed and patented by the Fraunhofer PAZ, was used in the project.

Other preparatory projects and feasibility studies were carried out in the lab. For example, a particle-forming process used to produce polycondensates for medical technology applications was tested for a major plastics producer.

In the area of publicly-funded research, 2015 saw the successful continuation of a project funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy to increase energy efficiency during the production of synthetic rubber. An invention disclosure has been announced and preparations are underway to apply for a patent.

Another project, funded by the Federal Ministry for Education and Research as part of the VIP Program (Validation of the Innovation Potential of Scientific Research), investigates the development and scaling-up of multi-block copolymers with specific property profiles.

2015 also saw the acquisition and start of an internal Fraunhofer joint project to develop biomimetic synthetic rubber. Innovative polyisoprene-based rubber composites will be developed in conjunction with our Fraunhofer partners IME, ISC, IWM and IMWS.

Polymer processing

The Polymer Processing Department, under the leadership of Professor Peter Michel, was restructured and now consists of the two newly-formed groups "Thermoplastic Semi-Finished Fiber Composites" and "High-Performance Thermoplastics". The Thermoplastic Semi-Finished Fiber Composites group, headed by Ivonne Jahn, develops application-specific short-, long- and endless fiber-reinforced thermoplastic composites and prototypes of semi-finished products. Process engineering is carried out on lab to pilot-plant scales.

Dr. Matthias Zscheyge heads the group High-Performance Thermoplastics which looks at developing components and technologies for thermoplastic, light-weight structures based on endless fiber-reinforced semi-finished products. The development begins with the virtual design of processes and structures, and encompasses the production of component prototypes.

Frequent component sampling is carried out on large-scale equipment in close collaboration with our customers.

In order to achieve a novel hybrid injection molding process, a fully automated pilot-scale production cell has been built which consists of an injection molding facility, a six-axis robot, an infrared heating station, and an experimental tool.

BioFrame, another project acquired within the framework of the "BioEconomy" Cluster, develops bio-laminate materials for extrusion frame profiles.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Leistungen

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

Pilotanlage – Synthese

Ausrüstung

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

Designparameter der Synthesereaktoren

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

Pilotanlage – Verarbeitung

Ausrüstung

Extrusion

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

Spritzguss

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

Polymercharakterisierung

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

APPLICATIONS AND SERVICES



Forschungsbereichsleiter | Division director
Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke

Services

- characterization of material structure and correlation with properties
- contract synthesis: production of small lots and test batches in pilot-scale
- 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
- particle size measurement (laser diffraction)
- rheological measurement (incl. polymer solution)
- SEC in different eluents (THF, DMF, HFIP, water systems)

Pilot plant – synthesis

Equipment

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

Design parameters of synthesis reactors

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

Pilot plant – processing

Equipment

Extrusion

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

Injection molding

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

Synthese
 Synthesis

Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke

Telefon +49 3461 2598-120

Fax +49 3461 2598-105

michael.bartke@iap.fraunhofer.de

Synthese und Produktentwicklung
 Synthesis and Product Development

Dr. Ulrich Wendler

Telefon +49 3461 2598-210

Fax +49 3461 2598-105

ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de

Scale-Up und Pilotierung
 Scale-up und Pilot Testing

Dipl.-Ing. Marcus Vater

Telefon +49 3461 2598-230

Fax +49 3461 2598-105

marcus.vater@iap.fraunhofer.de

Verarbeitung
 Processing

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Michel

Telefon +49 345 5589-203

Fax +49 345 5589-101

peter.michel@imws.fraunhofer.de



1 Equipment used in the synthesis and coupling of polystyrene grafts.

2 Bifunctional anionic copolymerization of isoprene with different initiator concentrations.

3 50 L stainless steel stirred tank reactor for isoprene polymerization.

Superelastische Multipfropfcopolymere für den Einsatz in Pumpen sowie in der Medizin- und Lebensmitteltechnik

Im Rahmen des Förderprogramms VIP des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) werden elastomere Materialien für spezielle Anwendungszwecke u. a. in der Medizin und Lebensmitteltechnik entwickelt. Als Bausteine dienen gut bekannte Monomere, durch deren Polymerisation spezielle Strukturen zugänglich sind (Polymerarchitektur). Zur Thematik verzweigter Copolymere wurde in den vergangenen Jahrzehnten eine Vielzahl von wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht, die sich sowohl präparativen Aspekten als auch deren materialtechnischem Verhalten widmen [1–4].

Die betrachteten Copolymere bestehen aus einer elastomeren Haupt- bzw. Rückgratkette und Seitenzweigen aus Polystyrol. Die Verteilung der Seitenzweige entlang der Rückgratkette kann dabei sowohl statistisch als auch regelmäßig sein. Die Verknüpfungspunkte können trifunktional, tetrafunktional oder auch hexafunktional sein. Für alle Strukturen sind mehrere z. T. sehr aufwendige Synthesewege beschrieben. Eine wesentliche Aufgabenstellung ist die Überprüfung dieser Wege im Hinblick auf eine spätere Realisierung im technischen Maßstab. Es handelt sich dabei um Kombinationen von Reaktionsschritten mit anionischem Kettenwachstum (Homo- und Copolymerisation), Kopplungsreaktionen zwischen Polymerketten mit reaktiven Kettenenden bzw. Generierung von reaktiven Zentren durch polymeranaloge Umsetzung. Die ausgewählte Reaktionsvariante geht von der Bildung der Polystyrol-Pfropfäste und deren Umsetzung mit Siliciumtetrachlorid aus (Fig. 1). Anschließend wird lebendes Polyisoprenyl-Lithium mit dem chlor-silanhaltigen PS gekoppelt (Fig. 2).

Mit dem ausgewählten Syntheseweg werden dann Screening-Experimente im Labormaßstab durchgeführt. Mit Hilfe der Erkenntnisse und Ergebnisse der analytischen Untersuchungen können die günstigsten Reaktionsparameter sowie die Polymerstruktur festgelegt werden. Dies ist eine Voraussetzung für die Überführung der Laboruntersuchungen in den Maßstab des 50 L-Rührreaktors (Fig. 3).

Die erhaltenen Copolymere zeigen eine Phasenseparation, wobei die weiche Elastomerphase als Matrix fungiert. Innerhalb dieser Matrix orientieren sich die Polystyrolketten in eigenen kugelförmigen oder zylindrischen Bereichen. Die Phasenseparation wirkt wie eine physikalische Vernetzung und ist eine Ursache des makroskopischen Verhaltens. Aus den Eigenschaftsuntersuchungen der unterschiedlich verzweigten Isopren-Styrol Polymere mit variablem Styrolgehalt und variabler Anzahl von Verknüpfungspunkten ist bekannt, dass sich ein besonders vorteilhaftes Eigenschaftsprofil bei Styrolanteilen zwischen 14 und 23 Volumenprozent (Ausbildung der Kugelmorphologie) ergibt. Durchschnittlich sind mindestens 3–4 Verknüpfungsstellen der Pfropfäste für die angestrebten mechanischen Eigenschaften notwendig. Die Länge der Pfropfäste sollte vorzugsweise zwischen 7 und 9 kg/mol liegen. Somit ergeben sich Gesamtmolmassen von 300–500 kg/mol. Für die Zugfestigkeit und Bruchdehnung ausgewählter Materialien konnten z. T. bessere Werte als die ausgewählter kommerzieller Referenzprodukte ermittelt werden.

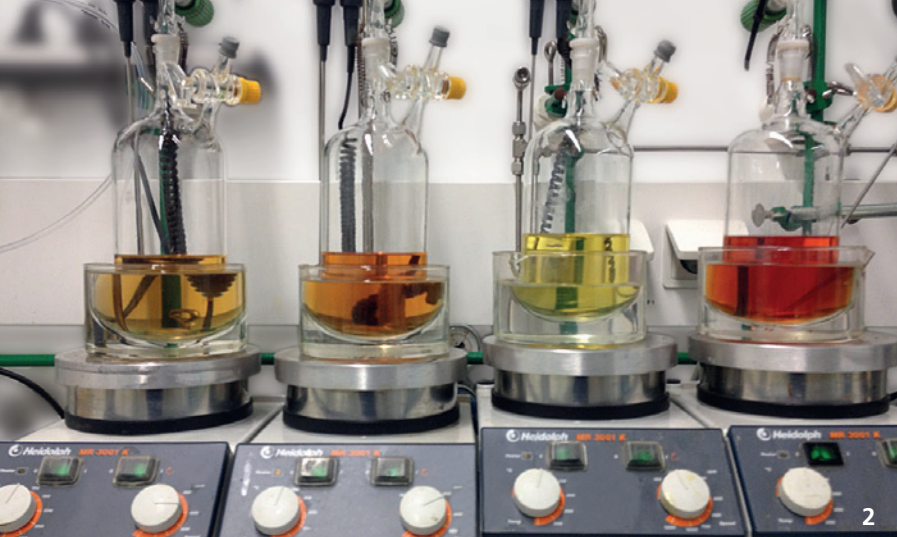
Literatur Literature

[1] D. Uhrig, J. W. Mays: *Synthesis of combs, centipedes and barbwires: Poly(isoprene-graft-styrene) regular multigraft copolymers with trifunctional, tetrafunktional and hexafunktional branch points*, *Macromolecules* 35, p. 7182 (2002)

[2] R. Schlegel, U. Staudinger, M. Thunga, R. Weidisch, G. Heinrich, D. Uhrig, J. W. Mays, H. Iatrou, N. Hadjichristidis: *Investigations on mechanical properties of PI-PS multigraft copolymers*, *Europ. Polym. J.* 45, p. 2902 (2009)

[3] D. Uhrig, R. Schlegel, R. Weidisch, J. W. Mays: *Multigraft copolymer superelastomers: Synthesis, morphology and properties*, *Europ. Polym. J.* 47, p. 560 (2011)

[4] J. W. Mays, S. P. Gido, R. Weidisch: *Multigraft copolymers as superelastomers*, *WO 2012/045006 A1*



Superelastic, multigrafted copolymers for use in pumps and medical- and food technology

Elastomeric materials are developed for special applications in medicine and food technology as part of a project funded by the VIP program of the German Ministry for Education and Research. Special polymer structures (polymer architectures) can be obtained by polymerizing well-known monomers which are used as building blocks. A significant number of scientific papers on branched copolymers have been published in recent decades that look at both preparative aspects as well as the resulting material properties [1–4].

The copolymers studied here have an elastomeric backbone and polystyrene side chains. The side chains are distributed either statistically or uniformly along the backbone. The connections can either be trifunctional, tetrafunctional or hexafunctional. A number of synthetic pathways can be found in the literature for all mentioned structures, some of which are very elaborate. An essential part of the project is to examine these pathways to see whether they are technically feasible on a larger scale. Synthesis includes combinations of reaction steps with anionic chain growth (both homo- and copolymerization), coupling reactions between polymer chains with reactive chain ends, and/or the generation of reactive centers through polymer analogous conversion. The selected synthesis route starts with the formation of PS grafting branches which are subsequently converted with silicon tetrachloride (Fig. 1). Then living polyisoprene lithium is coupled with the PS containing chlorosilane (Fig. 2)

Screening experiments are performed for the selected synthesis route. The findings and analytical results can be used to determine the most appropriate reaction conditions and polymer structures. This optimization is a precondition for scaling-up synthesis to a 50 liter pilot scale stirred tank reactor.

The copolymers obtained exhibit microphase separation, with the soft elastomeric phase serving as a matrix phase. Within this matrix, the polystyrene chains align themselves to their own spherical or cylindrical domains. Phase separation acts as a physical cross-linking and is the root-cause for the macroscopic properties of the material under observation. Material property mapping of the different grafted isoprene-styrene copolymers shows that beneficial property combinations can be obtained for a styrene content of between 14 and 23 percent by volume (formation of spherical morphology). On average, a minimum of 3 to 4 connections of the grafted branches are necessary to obtain the required mechanical properties. The length of the branches should preferably be between 7 and 9 kg/mol. This results in a total molar mass of around 300–500 kg/mol. Some selected materials exhibited better tensile strength and elongation at rupture than selected commercial reference products.



Dr. Hendrik Budde

Telefon +49 3461 2598 - 225

Fax +49 3461 2598 - 105

hendrik.budde@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– »Validierung des Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung« – VIP, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Kooperation Collaboration

– Fraunhofer IMWS, Halle

POLYMERMATERIALIEN UND COMPOSITE PYCO POLYMERIC MATERIALS AND COMPOSITES PYCO

- 94 Polymermaterialien und Composite PYCO**
Polymeric Materials and Composites PYCO
- 98 Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 100 Wiederverwertung der Kabinenverkleidung moderner
Flugzeuge als Beispiel für chemisches Recycling
duromerbasierter Faserverbundkunststoffe**
Reuse of cabin lining elements for modern
aircrafts as an example of the chemical recycling
of thermoset-based fiber-reinforced polymers
- 102 CFK-Werkstoffe für die Luftfahrt mit intrinsischer Dämpfung**
Aerospace CFRP with intrinsic damping

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



POLYMER MATERIALIEN UND COMPOSITE PYCO

Der seit dem 1. Januar 2016 zum Fraunhofer IAP gehörende Forschungsbereich Polymermaterialien und Composite PYCO entwickelt an den Standorten Teltow und Wildau hochvernetzte Polymere (Thermosets oder Reaktivharze/Duromere) für Anwendungen im Leichtbau sowie der Mikro- und Optoelektronik für alle wesentlichen Industriebranchen, insbesondere für die Verkehrstechnik (vor allem Luftfahrt), die Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Gerätetechnik.

Schwerpunkt sind dabei die Entwicklungen für den Einsatz im Leichtbau. Derartige Leichtbautechnologien bilden neben Industrie 4.0 und Elektromobilität eine der Grundsäulen für die Zukunftsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Dies fand auch Eingang in den Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung, worin festgehalten ist, dass »die Förderung von Leichtbautechnologien [...] ein wichtiger Beitrag zur Ressourceneffizienz« sei und »Deutschland zum Leitanbieter in diesem Sektor« entwickelt werden solle. Es werde also »branchenübergreifend die material- und technologieoffene Industrialisierung von Leichtbaukonzepten« weiter gefördert und ausgebaut.¹ Diese thematische Festlegung verdeutlicht eindrucksvoll die Wichtigkeit und auch vor allem die Zukunftsfähigkeit der Thematiken des Forschungsbereichs.

Materialforschung

Der Forschungsbereich PYCO beschäftigt sich mit der Entwicklung von Materialien aus vernetzten Kunststoffen und Verbundwerkstoffen (Composite) aus mehreren miteinander verbundenen Materialien – vor allem Faser-Kunststoff-Verbunde. Die Fasern – hauptsächlich Kohlenstoff-, Glas- oder Naturfasern – werden dabei als technische Textilien in Form von Geweben, Gestriicken, Gewirken, Vliesen oder Filzen in einer Matrix aus Harz in speziell auf die spätere Anwendung angepasste Geometrien eingelassen, um hervorragende Materialeigenschaften bei vergleichsweise geringer Masse erreichen zu können.

Die Expertise – und auch ein Alleinstellungsmerkmal des Forschungsbereichs PYCO – besteht in der Spezialisierung auf so genannte Reaktivharze, in der Fachliteratur auch als thermosetting resins bezeichnet. Durch chemische Reaktion entsteht aus den Reaktivharzen ein engmaschiges Kunststoffnetzwerk. Der englische Begriff Thermosets für diese Art von Kunststoffen, die im deutschsprachigen Raum auch als Duroplaste bekannt sind, wird deshalb verwendet, weil er in anschaulicher Art und Weise den Unterschied zu der weit bekannteren und auch verbreiteteren Kunststoffart Thermoplast verdeutlicht. Stark vereinfacht kann man dies so beschreiben, dass Thermoplaste schmelzbar und somit plastisch verformbar und Thermosets einmal ausgehärtet weder schmelz- noch verformbar sind. Beide Arten von Kunststoffen haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile.

Thermosets können so designt werden, dass sie bei niedrigen Temperaturen bis hin zur Raumtemperatur gehärtet werden können, sie eine gute Medienbeständigkeit (gegen Flüssigkeiten, Gase usw.) haben, sie hohe Temperaturen aushalten können (> 250 °C) und sie unter Belastung nicht kriechen bzw. sich dehnen, da ihre dreidimensionale Netzwerkstruktur starr ist. Deshalb sind sie auch für tragende Strukturanwendungen einsetzbar.

Die Reaktivharzentwicklungen werden beim Forschungsbereich PYCO beginnend beim Monomer bis hin zum fertigen Bauteil, einschließlich der dazu erforderlichen grundwissenschaftlichen Arbeiten, durchführt. Namhafte andere polymerphysikalische Institute und Lehrstühle in Deutschland befassen sich vor allem mit Thermoplasten und Kautschuken und weniger mit Reaktivharzen bzw. Thermosets.

In der Praxis beginnt die Forschungs- und Entwicklungsarbeit des Forschungsbereichs bei der Definition von Bauteilbeanspruchungen. Dies geschieht in der Regel gemeinsam mit dem Kunden und wird bis hin zu den Fragen der zugrundeliegenden Chemie heruntergebrochen und auch in dieser Komplexität bearbeitet.



Für das Forschungsprofil bedeutet dies, dass die Verkehrstechnik den größten Teil der Arbeit des Forschungsbereichs abdeckt, sei es zu Lande, zu Wasser, in der Luft oder im Weltraum. Hinzu kommen dann noch (opto-)elektronische Anwendungen, Beiträge zur Energiewende sowie Werkzeuganwendungen im Anlagenmaßstab und Anwendungen im Bauwesen, wie beispielsweise neuartige Carbonfaserbetone.

PYCO ist bereits seit Mitte der 2000er Jahre auf Leichtbautechnologien fokussiert, was sich auch in den massiven, weitgehend aus eigenen Rücklagen getätigten Investitionen in Maschinen und Technologien widerspiegelt. So wurden am Standort Wildau seit 2009 eine neuartige modular konfigurierbare horizontale Imprägnieranlage, eine RTM-Anlage, eine Industriemikrowelle zur homogenen Härtung faserverstärkter Kunststoffbauteile, ein Autoklav, eine Spritzgießanlage für Thermoplast- und Duromermaterialien und vieles mehr aufgebaut, um sowohl der Industrie als auch der Forschung an Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstituten in der Region und darüber hinaus Möglichkeiten der Kooperation in Forschung und Entwicklung anzubieten, die bis dato nicht verfügbar waren.

Anwendungsspektrum

Das thematische Spektrum des Forschungsbereichs umfasst neue (auch hochgefüllte) (Nano-)Materialien, Prepregs, Kernwerkstoffe, Schichtverbunde, faserverstärkte Polymere, Sandwichstrukturen, bistabile Displays, integrierte optische Bauelemente und Barrierschichten.

Die Anwendungsformen der Reaktivharze für den Leichtbau sowie die Mikro- und Optoelektronik sind vor allem: Klebstoffe, Beschichtungen, Lacke, Bindemittel, Inmolds/Gelcoats, Gießharze, Prepregharze, Resin Transfer Molding (RTM), Pultrusionsharze und Schäume. Diese haben dann besondere Eigenschaften, wie etwa hohe Flammfestigkeit, hohe Bruchzähigkeit (d. h. geringe Sprödigkeit), geringer Volumenschwund,

schnelle und latente Härtebarkeit, Wiederlösbarkeit (bei Klebstoffen), gute Barriereigenschaften (gegen Wasser und Sauerstoff), angepasste Ausdehnungskoeffizienten (CTE), angepasste Brechungsindizes, Reparatureignung oder Recycelbarkeit. Da diese Eigenschaften häufig gegenläufig sind, wird dem Ausbalancieren dieser Eigenschaften besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Beginnend mit der Monomersynthese werden in weiteren Entwicklungsschritten die Prepolymerherstellung, einschließlich des Einbaus auch selbst entwickelter Coreaktanden, wie Flammfestmacher, Zähmodifikatoren (Toughener) bzw. (selbst entwickelte) Füllstoffe oder andere funktionelle Verbindungen untersucht.

Es werden Verarbeitungseigenschaften entwickelt, Prototypen (häufig gemeinsam mit dem Anwender) hergestellt und charakterisiert sowie Qualitätssicherungsmerkmale erarbeitet. Je nach vom Anwender gewünschter Entwicklungsstufe resultieren am Ende der Entwicklung Reaktivharz-Formulierungen, faserverstärkte Materialien, Sandwichstrukturen oder andere gewünschte Bauteile als Demonstratoren.

Polymerforschung in Brandenburg und darüber hinaus

Gemeinsam mit den anderen Forschungsbereichen des Fraunhofer IAP leistet der Forschungsbereich PYCO einen wesentlichen Beitrag zu einer regionalisierten Exzellenz über Berlin und Potsdam hinaus. Kooperationen u. a. mit der Technischen Hochschule Wildau (FH) bringen die Expertise der Polymerforschung, ob Thermosets wie beim Forschungsbereich PYCO oder Thermoplaste, Elastomere oder andere Spezialitäten, wie bei den anderen Forschungsbereichen des Fraunhofer IAP, in die Fläche des Landes Brandenburgs. Der Forschungsbereich PYCO ist neben allen wesentlichen Luftfahrtzulieferern in dem im Frühjahr 2016 gestarteten und wesentlich durch Airbus und Lufthansa Technik initiierten Hamburger Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung (ZAL) vertreten und legt damit den Grundstein für die weitere erfolgreiche Tätigkeit im Leichtbau für die Luftfahrt und darüber hinaus.

1 *Deutschlands Zukunft gestalten*, Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 18. Legislaturperiode, <https://www.cdu.de/sites/default/files/media/dokumente/koalitionsvertrag.pdf>, S. 15, (2013)

POLYMERIC MATERIALS AND COMPOSITES PYCO

The Polymeric Materials and Composites PYCO research division joined the Fraunhofer IAP on January 1, 2016. Located in Teltow and Wildau, it develops highly crosslinked polymers (thermosets and reactive resins/duromers) for lightweight construction, and micro- and optoelectronic applications for all major industry sectors, in particular, transport technology (above all aviation), information and communication technology, and equipment technology.

Its main focus is on developing technology that is used in lightweight construction. In addition to industry 4.0 and electromobility, these types of lightweight construction technologies form one of the cornerstones of the future sustainability of Germany's economy. This has been incorporated into the coalition treaty of the current federal government which states that "promoting lightweight technologies makes an important contribution to efficient use of resources" and that "we want Germany to develop into a leading provider in this sector". Hence "the industrialisation of lightweight construction concepts with an open approach to materials and technology across sectors" should continue to be promoted and expanded.¹ This thematic strategy impressively underscores the importance and, above all, the future sustainability of the aspects of this research division.

Material research

The PYCO research division looks at the development of materials made from crosslinked plastics and composites that are made up of multiple materials that are bound together – particularly fiber-plastic compounds. The fibers – primarily carbon, glass or natural fibers – are used in technical textiles such as woven, knitted, crocheted, non-woven and felt fabrics. These are embedded in a resin matrix in special geometric shapes that are used in later applications. This results in excellent material properties that have a comparatively low weight.

The expertise – and the unique selling proposition of the PYCO research division – is its specialization in so-called reactive resins, also called thermosetting resins in the literature. A tightly knit plastic network is created through a chemical reaction. The term "thermoset" is used for this type of plastics which clearly sets it apart from the much more widely known and distributed type of plastics called thermoplastics. In very simple terms, thermoplastics can be melted and, thus, are deformable. Once thermosets cure, they can no longer be melted or reshaped. Both types of plastics have their specific advantages and disadvantages.

Thermosets can be designed to be cured at low temperatures up to room temperature. They have a good media resistance (against liquids, gases, etc.) and they can withstand high temperatures (> 250 °C). They don't creep or stretch under load because their three-dimensional network structure is rigid. Therefore they can also be used in load-bearing structural applications.

The reactive resins are developed in the PYCO research division, beginning with the monomer and ending with the finished component. Included in this is the necessary fundamental scientific work. Other renowned polymer physics institutes and chairs in Germany have turned their attention to thermoplastics and rubbers and less to reactive resins or thermosets.

In practical terms, the research division's R&D work starts by defining component loads. This is usually done in conjunction with the client. This is broken down into questions of underlying chemistry and developed at this level of complexity. In terms of research profile, this means that transport technology makes up most of the work of the research division, be it on land, on water, in the air, or in space. This is joined by (opto) electronic applications, contributions to the energy transition, tool applications at plant scale, and applications for the construction industry, such as innovative carbon-fiber concrete.

PYCO has focused on lightweight construction technologies since the mid-2000s. This is reflected in its vast investment in machinery and technologies which was mostly taken from its own reserves. An innovative modularly configurable, horizontal impregnation line; a resin transfer molding system; an industrial microwave for homogenous curing of fiber-reinforced plastic components; an autoclave; an injection molding plant for thermoplastic and thermoset materials and much more has been set up at the Wildau site in order to provide new R&D opportunities to industry and to the research that is being conducted at universities and non-university institutions in the region and beyond.

Range of applications

The research division's range of research topics includes new (also highly filled) (nano)materials, prepegs, core materials, multilayer composites, fiber-reinforced polymers, sandwich structures, bistable displays, integrated optical components and barrier layers.

The types of applications of reactive resins for lightweight construction and micro- and optoelectronics include: adhesives, coatings, varnishes, binding agents, in-mold/gel coats, cast resins, prepeg resins, resin transfer molding (RTM), pultrusion resins and foams. These are given special properties, such as high flame resistance, high fracture toughness (low brittleness), low volume shrinkage, fast and latent curing, removability (in adhesives), good barrier properties (against water and air), specially adapted coefficients of thermal expansion (CTE), specially adapted refractive indices, reworkability and recyclability. As these properties are often in opposition to one another, particular attention is paid to optimally balancing these properties. Starting with monomer synthesis, further development steps examine prepolymer manufacturing, including the incorporation of our own co-reactants such as flame retardants, tougheners and (our own) fillers, as well as other functional compounds.

Processing properties are developed, prototypes (frequently in conjunction with the user) are manufactured and characterized, and quality assurance criteria are developed. Depending on the development stage required by the client, the results at the end of the development phase include reactive resin systems, fiber-reinforced materials, sandwich structures and any other components in the form of demonstrators.

Polymer research in Brandenburg and beyond

Together with other research departments of the Fraunhofer IAP, the PYCO research division contributes significantly to a regionalized excellence that stretches beyond Berlin and Potsdam. Collaborations with the Wildau Technical University of Applied Sciences distribute our expertise in polymer research throughout the state of Brandenburg – be that in thermosets, like at PYCO, or thermoplastics, elastomers or other specialties provided by other IAP research departments. Like all other major aviation suppliers, the PYCO research division is a member of the Hamburg Center for Applied Aviation Research (ZAL) that was initiated, primarily by Airbus and Lufthansa Technik, in spring 2016. Thus, it has laid the cornerstone for other successful activities in lightweight construction applications in aviation and beyond.

1 *Shaping Germany's Future*, Coalition treaty between CDU, CSU and SPD, 18th legislative period, <http://www.kas.de/wf/en/33.36853/>, S. 11, (2014)

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Synthese und Modifizierung	Leistungen	(Weiter-)Entwicklung spezieller Charakterisierungsmethoden	PYCO unterstützt Unternehmen und Forschungseinrichtungen bei
Lineare, verzweigte und vernetzte: – Struktur- und Funktionspolymere durch: – Polyaddition – Polykondensation – Polymer-analoge Reaktionen inkl.: – Recycling – Verkapselung – Partikel	– Entwicklung und Modifizierung von Polymeren und Compositen für Anwendungen im Leichtbau, in der Mikro- und Optoelektronik für Klebstoffe, Füllstoffe, Beschichtungen, Laminier- und Gießharze, Schäume, dünne Funktionsschichten, Prepregs, Lamine und Sandwichstrukturen – Charakterisierung und Testung von Polymeren und Compositen – (Weiter-)Entwicklung und Anpassung von Charakterisierungsmethoden – Verarbeitung von Polymeren (auch zu Compositen mit anderen Materialien) – Anwendungsorientierte Analysen für Produkteinführungen – Beratung, Erstellung von Studien und Expertenberichten	– Kontinuierliche Flüssigkeitschromatographie – Nano-TMA/TGA/DVS – Volumendilatometrie (in Kooperation mit InnoMat GmbH (Teltow)) – Optische Rissverfolgung (OCT) – Wellenleitertechnologie – Freilaufendes Torsionspendel – Permeationsmessplatz	– Polymerentwicklung – Neuen Messtechnologien zur Polymercharakterisierung – Implementierung neuer Technologien und deren Anpassung an spezifische Produktionsbesonderheiten
Pilotanlage		Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	
– Faserverstärkte Composite – Lamine, Prepregs – Papier- und Textilbeschichtung – Leichtbaumaterialien (Sandwiches, Kernmaterialien)		– Mechanische, temperaturabhängige, elektrische und optische Eigenschaften – Adhäsionsphänomene – Verarbeitungseigenschaften	

APPLICATIONS AND SERVICES

Synthesis and modification

Linear, branched, and crosslinked:

- structural and functional polymers

through:

- polyaddition
- polycondensation
- polymer-analogue reactions

including:

- recycling
- encapsulation
- particles

Pilot plant

- fiber-reinforced composites
- laminates, prepregs
- paper and textile coating
- lightweight materials (sandwiches, core materials)

Services

- development and modification of polymers and composites for applications in lightweight design, as well as in the fields of micro- and optoelectronics, adhesives, underfillers, coatings, laminating and casting resins, foams, thin functional layers, prepregs, laminates, and sandwiches

- characterization and testing of polymers and composites
- development, advancement and adaptation of characterization methods
- processing of polymers (also as composites with other materials)
- application-oriented analysis for product introduction
- consulting, preparation of studies and expert reports

Development and advancement of special characterization methods

- continuous liquid chromatography
- nano-TMA/TGA/DVS
- volume dilatometry (in cooperation with InnoMat GmbH (Teltow, Germany))
- optical crack tracing (OCT)
- waveguide measurement technology
- free running torsion pendulum
- permeation testing device

Structure-property relationships

- mechanical, thermal, electrical, and optical properties
- adhesion phenomena
- processing properties

PYCO is supporting companies and research institutes when it comes to

- polymer development
- new measurement techniques for polymer characterization
- implementation of new technologies and their adaptation to specific production peculiarities



Forschungsbereichsleiter (komm.) |
Division director (acting)
Dr. Christian Dreyer

Leichtbauwerkstoffe und
alternative Härtungsmethoden
Lightweight Design Materials and
Alternative Curing Methods

Dr. Christian Dreyer

Telefon +49 3328 330-284
Fax +49 3328 330-282
christian.dreyer@iap.fraunhofer.de

Standardharze
Commodity Resins

Dr. Sebastian Steffen

Telefon +49 3328 330-246
Fax +49 3328 330-282
sebastian.steffen@iap.fraunhofer.de

Strukturharze
Structural Resins

Dipl.-Phys. Christoph Uhlig

Telefon +49 3328 330-290
Fax +49 3328 330-282
christoph.uhlig@iap.fraunhofer.de

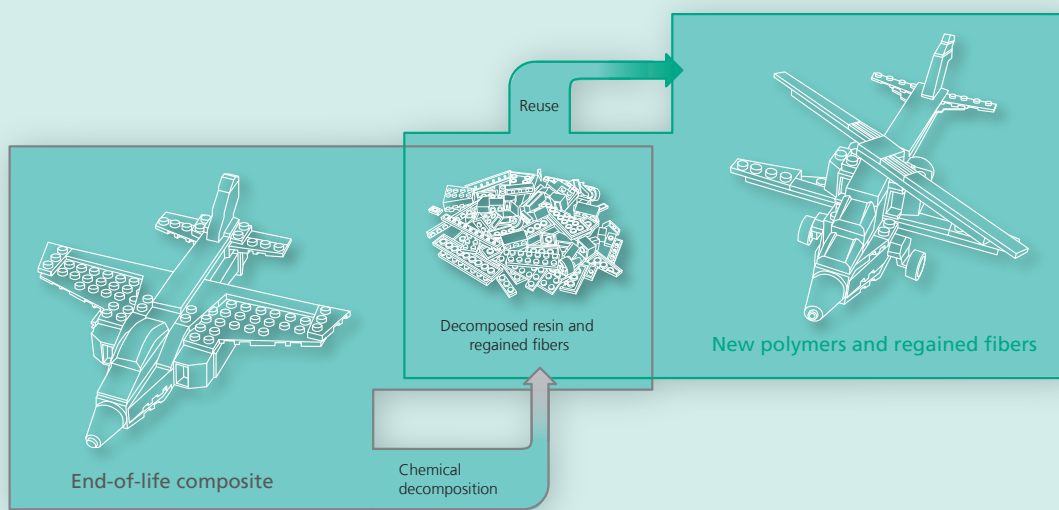
Dr. Olaf Kahle

Telefon +49 3328 330-276
Fax +49 3328 330-282
olaf.kahle@iap.fraunhofer.de

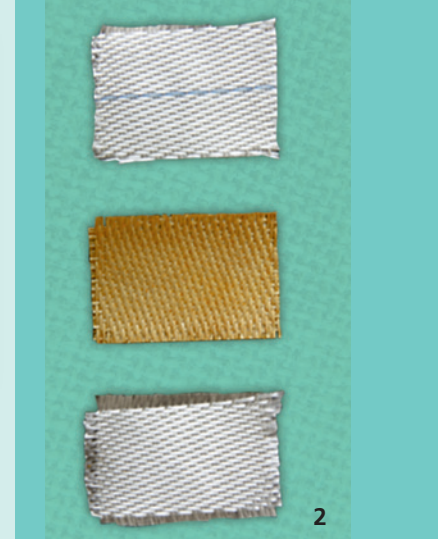
Verarbeitungstechnik
Processing Technologies

Björn Schöbe

Telefon +49 3328 330-361
Fax +49 3328 330-282
bjorn.schoebe@iap.fraunhofer.de



1



2

Wiederverwertung der Kabinenverkleidung moderner Flugzeuge als Beispiel für chemisches Recycling duromerbasierter Faserverbundkunststoffe

Der Einsatz duromerbasierter Composite als Leichtbaumaterialien nimmt – vor allem in der Luftfahrt – kontinuierlich zu [1]. Nach aktuellem Stand kann aber bereits jetzt die Kabinen- und Frachtverkleidung von Flugzeugen nicht oder kaum wiedergewonnen werden. Airbus prognostiziert für den Zeitraum von 2014 bis 2033 eine Anzahl von etwa 6.500 ausrangierten Flugzeugen [2], [3]. So werden in diesem Zeitraum etwa 88.000 Tonnen Abfall anfallen (ohne den zusätzlichen Abfall durch die alle fünf Jahre stattfindende Kabinensanierung). Verschiedene Recyclingansätze für die anfallenden Composite sind zwar denkbar, die meisten sind allerdings entweder kosten- und energieintensiv, beinhalten ein komplettes Downcycling der Harzmatrix oder führen zu einer signifikanten Verschlechterung des Eigenschaftsprofils der gewonnenen Fasern.

Dem Forschungsbereich Polymermaterialien und Composite PYCO ist es gelungen, ein Recyclingverfahren zu entwickeln, das insbesondere auch für die End-of-Life-Kabinenverkleidung von Flugzeugen geeignet ist. Durch die Verwendung dieses Verfahrens können nicht nur die Honeycombs und langen Fasern zurückgewonnen werden, sondern es kann ebenfalls die bei diesem chemischen Prozess zersetzte Duromermatrix bei der Synthese neuer Polymere Einsatz finden. Das Prinzip dieses einfachen chemischen Recyclingprozesses ist in Fig. 1 beschrieben.

Das Fraunhofer PYCO forscht bereits seit zwanzig Jahren auf dem Gebiet des Recyclings von Duromeren, in erster Linie mit dem Schwerpunkt des chemischen Recyclings von Polycyanuraten [4], [5], [6]. Je nach verwendetem Recyclingreagenz kann eine Polymermatrix bestehend aus Polycyanuraten unter relativ milden Bedingungen innerhalb einer Stunde zerlegt werden. Die Fasern werden hierbei ohne wesentliche Veränderung der mechanischen Eigenschaften wiedergewonnen und die zersetzte Harzmatrix kann verwendet werden, um neue Polymere zu synthetisieren.

Der neue Ansatz ist nun, diesen chemischen Recyclingprozess auf andere Harzklassen zu übertragen, vor allem auf Phenol- und Benzoxazinharze. Die Zersetzung phenolharzbasierter Decklagen demontierter Verkleidungselemente eines Airbus A 320 sowie Laminaten aus luftfahrtzertifizierten Prepregs wurde mit verschiedenen Recyclingmitteln getestet. In Abhängigkeit von Harz und Reagenz können die Fasern des Verbunds – zum Teil bereits nach wenigen Minuten – vollständig oder mit Restharz behaftet zurückgewonnen werden (Fig. 2).

Der entwickelte chemische Recyclingprozess ist ein einfaches und kostengünstiges Verfahren zur Rückgewinnung der Fasern und der Matrix und kann in weniger als einer Minute abgeschlossen werden. Darüber hinaus zeigen die wiedergewonnenen Fasern ähnliche Eigenschaften wie neue (Fig. 3).

Der hier vorgestellte Recyclingprozess wurde bereits für die Phenolharze sowie für weitere Duromerklassen patentiert.

Literatur Literature

[1] PlasticsEurope Deutschland e.V.: *Mobilität – umweltschonender ans Ziel gelangen*, Dresden (2007)

[2] Airbus: *Global Market Forecast 2014–2033*, www.airbus.com/company/market/forecast?elD=maglisting_push&tx_maglisting_pi1%5BdocID%5D=40815 (2014)

[3] K. J. Thomé-Kozmiensky, D. Goldmann: *Flugzeug-Recycling – Neue Ansätze zur Rohstoffrückgewinnung*, Recycling und Rohstoffe, Band 5, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin (2012)

[4] D. Söthje: *Recycl- and Repairable Thermoset Matrices for High Performance Fiber Reinforced Polymers Based on Polycyanurates*, PhD Thesis, BTU Cottbus–Senftenberg (2015)

[5] C. Dreyer, et al.: *Progress in Recycling of Composites with Polycyanurate Matrix*, Advances in Chemical Engineering and Science 4, pp. 167–183, <http://dx.doi.org/10.4236/aces.2014.42020> (2014)

[6] C. Dreyer, et al.: *Chemical Recycling and Repair of (Fiber-Reinforced) Thermosetting Resins with Cyanurate Structures*, in Proceedings: Meeting of the Thermoset Resin Formulators Association at the Green Valley Ranch Resort Spa Casino in Henderson, Nevada (USA), 14.–16. 9. 2014

1 Basic approach to chemical composites recycling: The thermoset matrix of a composite (symbolized by an airplane) can easily be decomposed using a specific reagent. The fibers of the composite can be regained and directly reused. The decomposed thermoset matrix can be reused to synthesize new polymers.

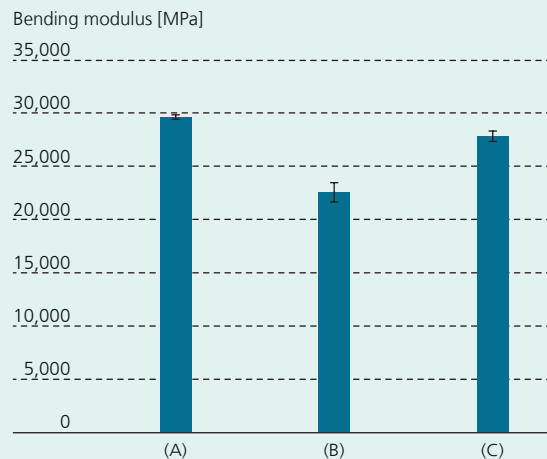
2 Virgin glass fiber fabric (top), recycled glass fiber fabric with matrix residue (middle), recycled glass fiber fabric with entirely matrix-free fibers (bottom).

3 Bending modulus of three different samples:

(A) reference laminate containing virgin fabric.

(B) laminate manufactured from regained fabric with resin residue on the fiber.

(C) laminate manufactured from recovered matrix-free fabric.



3

Reuse of cabin lining elements for modern aircrafts as an example of the chemical recycling of thermoset-based fiber-reinforced polymers

Thermoset-based composites are used more and more as lightweight materials, especially for applications in aviation [1]. Today the cabin and cargo lining of an aircraft – especially the lightweight components consisting of thermosets and reinforcement fibers – cannot be recovered and are barely recyclable. Airbus predicts that 6,500 aircraft will be decommissioned between 2014 and 2033 [2], [3]. This means nearly 88,000 metric tons of waste will be produced over this time period (not to mention the additional waste due to routine cabin renovations at least every five years). Different thermal, mechanical and chemical recycling approaches for composites are available, but most of these recycling approaches are either cost intensive, need a lot of energy, are a downcycling of the resin matrix, or lead to a deterioration of the properties of the recovered fibers. The result is that they can usually no longer be used in aircraft applications.

The Polymeric Materials and Composites PYCO research division at the Fraunhofer IAP has developed a recycling process for end-of-life cabin lining components. By using this process, honeycombs and long fibers with excellent mechanical properties can be recovered, and the decomposed matrix resin can be reused in the synthesis of new polymers. The basic approach is described in Fig. 1.

PYCO has been working on chemically recycling thermosets for twenty years now, mainly with a focus on polycyanurates [4], [5], [6]. Depending on the particular recycling agent, the polycyanurate-based matrix can be decomposed under relatively mild conditions within one hour, while the fibers can be regained without any significant change to the mechanical properties. The decomposed resin can then be used to resynthesize polymers.

A new approach is to transfer this chemical recycling process to other thermoset classes, especially those used in cabin lining elements like phenolic resin systems and benzoxazines. The decomposition of phenolic plies from original, dismantled lining elements of an Airbus A 320, as well as laminates made from commercially available certified aircraft prepregs have been tested with different recycling agents. Depending on the resin and on the chemical agent, the fibers of the composites can be recovered completely matrix free or with a residual matrix (Fig. 2).

This chemical recycling process is an easy and inexpensive way to recycle composites and recover fibers and can be completed in less than a minute. In addition, the mechanical properties of the recovered fibers are similar to virgin fibers (Fig. 3).

Patents for the developed recycling process have already been filed for the phenolic resins and the other resin classes.



Dr.-Ing. Dominik Söthje

Torsten Lerz, M. A., M. Sc.

Telefon +49 3328 330-284

Fax +49 3328 330-282

torsten.lertz@iap.fraunhofer.de

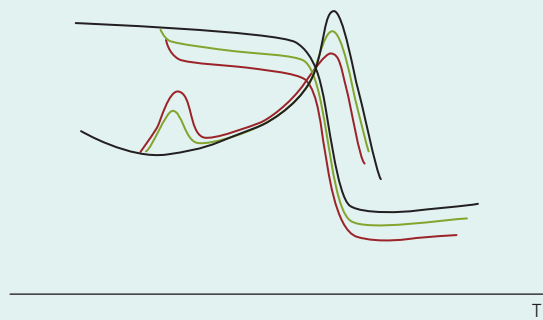
Kontakt Contact

Förderung Funding

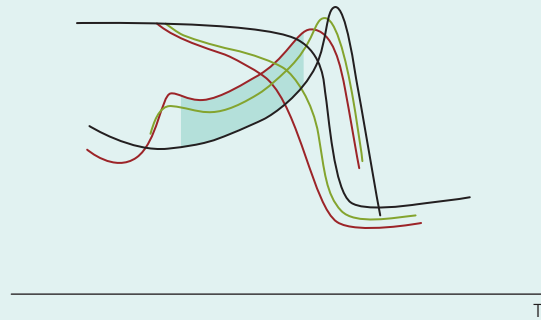
– Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Luftfahrt-forschungsprogramm LuFo V-1, FKZ 20K1305B

Kooperation Collaboration

– Airbus Operations GmbH, Hamburg



1



2

CFK-Werkstoffe für die Luftfahrt mit intrinsischer Dämpfung

Gegenläufige offene Rotoren (CROR) sind neuartige treibstoffsparende Flugzeugantriebe. Mit diesen ist jedoch ein bisher ungelöstes Lärmproblem in der Kabine verbunden. In einem Projekt des Luftfahrtforschungsprogramms (LuFo) wurden daher gemeinsam mit Airbus, der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg und der TU Hamburg-Harburg Lärminderungskonzepte für die Kabine untersucht. Unter anderem ging es dabei auch um die Weiterleitung des Schalls über den Rumpf in die Kabine hinein. Hierbei stellt das Druckschott ein zentrales Problem dar und es wurden Konzepte untersucht, die Schalleinleitung über das Druckschott zu mindern.

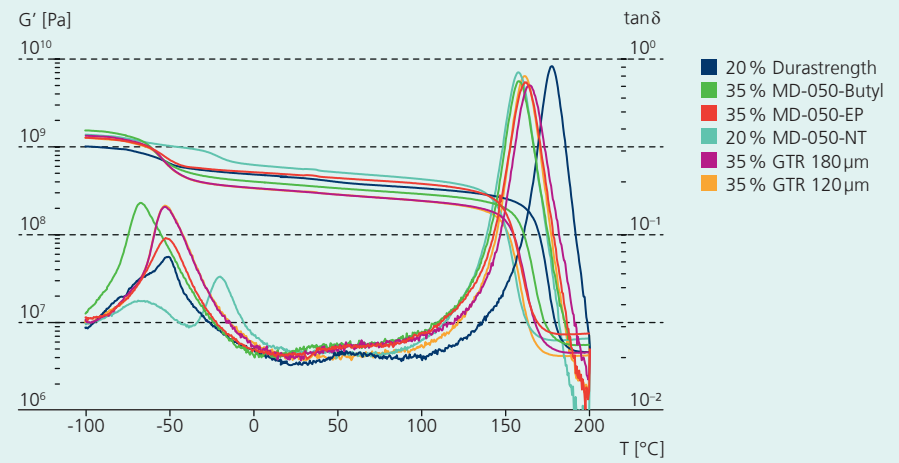
Druckschotte werden bereits heute aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) gefertigt. Es existieren Konzepte, akustische Dämpfung im CFK über das Einlaminieren einer Elastomerfolie zu erreichen. Damit verbunden ist allerdings ein intolerabler Verlust an Schersteifigkeit und -festigkeit. Würde dagegen die Elastomerphase in partikulärer Form eingebracht, könnte es möglich sein, bei weitgehender Bewahrung von Steifigkeit und Festigkeit gezielt ein Dämpfungsmaximum im gewünschten Frequenz- und Temperaturbereich zu erzeugen.

Im Forschungsbereich PYCO bestehen langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Bruchzähmodifizierung von Reaktivharzen. Die dabei auftretenden Fragestellungen ähneln der Aufgabenstellung, intrinsische Dämpfung zu erzielen. Phasenverhalten von Zweiphasensystemen wurden schon seit langem mittels dynamisch-mechanischer Analyse untersucht.

Die Zielstellung für Matrixharze mit intrinsischer Dämpfung ist schematisch in Fig. 1 und Fig. 2 verdeutlicht: Angestrebt wird ein Verlustspektrum mit einem ausgeprägten Verlustpeak der Elastomerphase, aber keinen erhöhten Verlusten zwischen Matrixharz- und Elastomer-Peak. Unerwünscht sind hingegen hohe Verluste auch im Temperaturbereich zwischen beiden Verlustpeaks.

Es wurden Modifikatoren der Gruppen Block-Co-Polymere, reaktive flüssige Kautschuke, Core-Shell-Partikel sowie kryo-gemahlene Festkautschuk-Partikel untersucht. Block-Co-Polymere sowie reaktive flüssige Kautschuke zeigen im Allgemeinen unvollständige Phasenseparation und damit Verlustspektren wie in Fig. 2. Core-Shell-Partikel können zwar ein Verlustspektrum wie in Fig. 1 gezeigt erzeugen, durch das Anquellen der Schale wird jedoch ein hoher Viskositätsanstieg bewirkt. Daher können keine hohen Anteile erreicht werden. Am besten geeignet scheinen kryo-gemahlene Festkautschuk-Partikel zu sein. Auf Grund des vergleichsweise geringen Viskositätsanstiegs können hohe Anteile eingebracht werden. Damit können hohe und scharf ausgeprägte Verlustpeaks erhalten werden (Fig. 3). Jede gewünschte Temperatur und Frequenz des Dämpfungspeaks könnte durch die Elastomerchemie eingestellt werden. Auch im UD-CFK wurden gut ausgeprägte Dämpfungspeaks erzielt.

- 1 Schematic DMA curves of an epoxy resin with different amounts of modifier with a loss spectrum favorable for CFRP intrinsic damping.
- 2 Schematic DMA curves of an epoxy resin with different amounts of modifier with a loss spectrum unfavorable for CFRP intrinsic damping.
- 3 DMA curves of an epoxy resin modified with different amounts of various cryo-milled solid rubber particles.



3

Aerospace CFRP with intrinsic damping

The counter-rotating open rotor (CROR) is a new fuel-saving jet propulsion concept for civil aircrafts. One of the drawbacks of such an engine is that it causes a high level of noise in the cabin. Airbus, Hamburg University of Applied Sciences, TU Hamburg-Harburg and PYCO have joined forces as part of a LuFo project to develop new ways of reducing cabin noise. The rear pressure bulkhead is one source of noise transmission into the cabin. One objective of the project was, therefore, to develop measures to reduce noise transmission through the pressure bulkhead.

Pressure bulkheads in modern civil aircrafts are made of carbon fiber-reinforced plastics (CFRP). There are concepts that achieve acoustic damping in CFRP structures by co-laminating an elastomeric film. However, this causes an intolerable loss in shear stiffness and strength. Introducing a finely dispersed particulate elastomeric phase into the resin matrix of a CFRP is one way to enable damping in the required frequency and temperature range while maintaining CFRP stiffness and strength. The PYCO research division has years of experience in toughening thermosets. One of the toughening routes we investigated was to introduce an elastomeric phase. Dynamic mechanical analysis was used to study phase separation behavior and the knowledge gained about the relationship between phase morphology and loss peak was incorporated into this project.

The desired loss spectrum for such an acoustic intrinsic damping is shown schematically in Fig. 1 and Fig. 2: A loss spectrum with pronounced loss peaks but no increased losses between the respective peaks of the elastomeric and matrix phase is the best way to combine damping at a defined temperature and frequency and structural properties in the working temperature range. Increased losses between both peaks (as shown in Fig. 2) are undesirable since this would reduce stiffness in the working temperature range.

We investigated reactive liquid rubbers, core shell particles, cryo-milled solid rubbers and modifiers that are classified as block co-polymers. Block co-polymers and reactive liquid rubbers showed incomplete phase separation and therefore loss spectra similar to Fig. 2. Core shell particles produced loss spectra as shown in Fig. 1, but the swelling of the shell in the resin caused a dramatic increase in viscosity. Therefore, high loading was difficult to achieve. Cryo-milled solid rubbers led to only moderate increases in viscosity so that high loading (up to 35 percent rubber particles) was achieved along with high and well-pronounced loss peaks (Fig. 3). Every required temperature and frequency of the loss peak (and thus for the maximum in acoustic damping) could, in principle, be produced by choosing the appropriate elastomer chemistry. UD preregs were made that contained different amounts of such rubber particles in the resin matrix. Well-pronounced loss peaks were achieved in these CFRP plates.



Dipl.-Phys. Christoph Uhlig

Telefon +49 3328 330-290
Fax +49 3328 330-282
christoph.uhlig@iap.fraunhofer.de

Dr. Olaf Kahle

Telefon +49 3328 330-276
Fax +49 3328 330-282
olaf.kahle@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

– Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie (BMW),
LuFo IV-4-Vorhaben
"Comfortable Cabin for Low
Emission Aircraft" (COCLEA),
FKZ 20K1120C

Kooperation Collaboration

– Airbus Operations GmbH,
Hamburg
– Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
– Technische Universität
Hamburg-Harburg

FAKTEN, EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN

FACTS, EVENTS, PUBLICATIONS

106 Rückblick 2015
Review 2015

108 Ausstattung
Equipment

114 Zusammenarbeit
Collaboration

122 Patente
Patents

124 Publikationen
Publications

133 Anfahrt
How to reach us

134 Standorte
Locations

□ pioneers in polymers



RÜCKBLICK 2015

REVIEW 2015



3. Potsdamer Tag der Wissenschaften, Potsdam, 9. 5. 2015



Tag der offenen Tür im Verarbeitungstechnikum Biopolymere, Schwarzheide, 19. 9. 2015



Medica 2015, Düsseldorf, 16.–19. 11. 2015



Verabschiedung des Institutsleiters Prof. Dr. Hans-Peter Fink, Potsdam-Golm, 4. 3. 2015



Dr. Joachim Storsberg erhält den Preis »Silver Cornea«, Wisla, 6. 3. 2015



Verabschiedung des Forschungsbereichsleiters für Synthese- und Polymertechnik Dr. Hahn, Potsdam-Golm, 28. 5. 2015



15. Schwarzheider Kunststoffkolloquium, Schwarzheide, 22.–23. 9. 2015



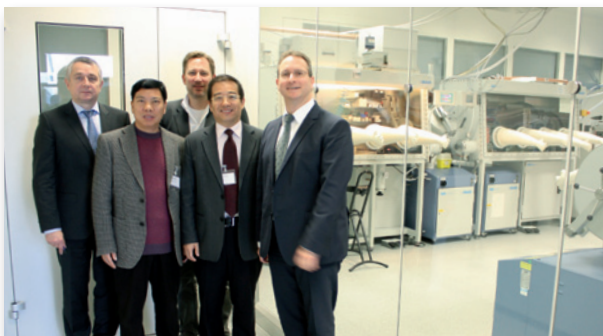
Workshop »Verarbeitung von Biopolymeren in der Folienproduktion«, Schwarzheide, 10. 6. 2015



Festveranstaltung »10 Jahre Fraunhofer PAZ«, Schkopau, 19.10.2015



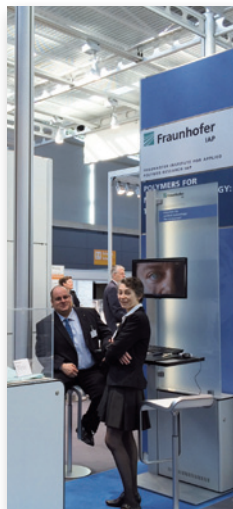
Verleihung des Hugo-Geiger-Preises an Dr. Christian Ippen, München, 16.11.2015



Besuch einer chinesischen Delegation im Fraunhofer IAP, Potsdam-Golm, 3.11.2015



Photonik Akademie, Potsdam-Golm, 12.3.2015



Medtec Europe 2015, Stuttgart, 3.–5.6.2015



7. Biopolymer-Kolloquium, Berlin, 22.1.2015



Internationale Grüne Woche, Berlin, 16.–25.1.2015

AUSSTATTUNG EQUIPMENT

Polymersynthese – Polymerverarbeitung

Reaktoren und Kneten

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

Pilotanlage PLA-Synthese

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

Prozessanalyse

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

Probenvorbereitung und Probenaufarbeitung

- Labor- und Technikums-zentrifugen
- Ultrazentrifugen
- Ultrafiltrationsanlagen
- Hochdruckhomogenisator
- Ultraschallhomogenisator
- Bead Beater-Homogenisator
- Gefriertrocknungsanlagen

- Sprühtrockner
- Wirbelschichttrockner
- Dispergiergerät
- Kugel-, Schneid-, Zentrifugalmühlen
- Cryo-Schwingmühle
- Kolloidmühle
- Labormixer für Pulver
- TURBULA® Mischer
- Pflugschar-Mischer
- Siebmaschinen
- Jet-Kocher
- Lösungsaggregate für Volumen von 3 bis 10 kg
- Thermische Gradientenbank
- Granulatrockner
- Umluft- und Vakuumtrockenschränke
- Klimakammer

Compound-Herstellung

- Konische Doppelschneckenextruder für Kleinstmengen ab 5 cm³
- Zweischnckencompounder
- Flexibel konfigurierbare Doppelschneckenextruder, Schneckendurchmesser: 12 mm, 18 mm, 25 mm und 27 mm; Verfahrenslänge: bis 52 D, mit gravimetrischen Dosiereinheiten
- Wasserbäder
- Bandabzüge
- Granulierer
- Luft-Heißabschlag
- Schmelzepumpen
- Physikalische Verschäumungseinheit Optifoam
- Labor-Prüfwalzwerk
- Plattenpressen bis 300 × 300 mm² Pressfläche
- Extrusionsblasformmaschine
- 3D-Drucker, Fused Deposition Modeling, Stereolithographie

Folienherstellung

- Einschnckenextruder, Schneckendurchmesser: 20 mm, 25 mm und 30 mm
- Werkzeuge für Gießfolien und Flachfolien in 1-Schicht, 3-Schicht und 5-Schicht Ausführung
- Labor-Blasfolien-Anlagen
- Chill-Roll Anlagen
- Monoaxiale Labor-Reckanlage für Folien und Fasern
- Thermoform und Skin-Pack-Geräte

Spritzgießen

- Kolben-Spritzgießgerät für Kleinstmengen
- Spritzgießautomaten mit 220 kN, 350 kN und 550 kN Schließkraft
- Plastifiziereinheiten für Thermoplaste und Duomere
- Spritzgießwerkzeuge für Thermoplaste und Duomere

Faserspinnanlagen

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

Carbonfaseranlagen

- 2 × 2 m Horizontal-Rohröfen bis 950 °C zur Stabilisierung
- 4 m Horizontal-Rohröfen bis 2000 °C zur Carbonisierung
- Kontinuierlicher spannungs- und dehnungsgeregelter Fadentransport für bis zu 3000 Filamente im Geschwindigkeitsbereich von 1,5 bis 50 m/h

Oberflächen, Filme und Membranen

- Kaltaktives Plasmagerät
- Atmosphärendruckplasmagerät mit Gasmischeinheit
- Labor-Plasmareaktoren
- Pilot-Plasmaanlage
- Plasmaanlage für Bahnenware
- Excimer-Strahler
- Corona-Treater
- Derivatisierungskammer
- Metallisierungsgeräte
- Atomlagenabscheidung (ALD)
- Easycoater
- Rotary Coater
- Spincoater
- Automatisches Filmziehgerät
- Membranziehmaschine für Flachmembranen
- Kontinuierliche Waschanlage für Flachmembranen

Pilotanlagenzentrum PAZ

- Suspensionslinie
- Emulsionslinie (batch und konti)
- Massepolymerisationslinie (batch und konti)
- Hochviskostechnik I Kneten
- Hochviskostechnik II Scheibenreaktor
- Lösungspolymerisation (batch und konti)
- Rührkesselskaskade
- Begasungsreaktor bis 100 bar, 300 °C

Polymeranalytik und Charakterisierung

- Sprühtrockner
- Bandrockner
- Fließbettrockner
- Gleichlaufende parallele Doppelschneckenextruder unterschiedlicher Größe
- Injection Molding Compounder KM 1300–14 000 IMC (Schließkraft 1300 Tonnen)
- Spritzgießmaschine KM 200 (Schließkraft 200 Tonnen)

Organische, elektronische Bauelemente

- Pilotlinie für gedruckte Elektronik
- Inkjet-Drucker
- Schlitzdüsendrucker
- Aufdampfanlage (thermisch und Elektronenstrahl)
- Sputteranlage
- Atomic Layer Deposition (ALD)
- UV-Reinigung
- UV-Presse
- Displaycharakterisierung

Biotechnikum, S1

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

Lasertechnik

- Ar⁺-Laser (365 nm, 457 nm, 476 nm, 488 nm, 514 nm)
- Festkörperlaser (532 nm)
- Gewinn/Verlust-Wellenleiter-Messplatz: VBL (Variable Stripe Length) und SES (Shifting Excitation Spot) Methode
- HeNe-Laser (633 nm)
- Holographie-Aufbau mit Ar⁺-Laser (364 nm)
- Holographie-Aufbau mit Ar⁺-Laser 488 nm, in-situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- Holographie-Aufbau mit Festkörperlaser 355 nm, in-situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- Holographie-Aufbau mit Festkörperlaser 532 nm in situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- Kr⁺-Laser (647 nm, 674 nm)
- Messplatz für DFB-Polymer-Laser: 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
- Eluenten: Wasser, DMSO, THF, Dichlormethan, Dimethylformamid/LiBr Hexafluorisopropanol/Na-Trifluoroacetat

- dn/dc-Bestimmung
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatograph mit DAD-Detektor
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatographen mit Massenspektrometer
- Gaschromatograph mit Massenspektrometer, Headspace
- Combustion Ionenchromatograph
- Titrator
- Tensiometer
- Dünnschicht-Chromatograph (TLC)

Spektroskopie

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

Rheologie

- Rotationsviskosimeter
- Oszillationsrheometer
- Schmelzindex-Prüfgeräte
- Verdünnungs-Viskosimeter
- Rheometer-Hochdruckmesszelle für Lösungsviskosität bis 160 °C
- Gefrierpunkt-Osmometer
- Automatische Kapillar-Viskosimeter für Lösungsviskosität
- Mooney-Viskosimeter

Morphologie und Strukturaufklärung

- Rasterelektronenmikroskop inkl. Röntgenmikroanalyse (EDX) und Rückstreuelektronendetektor, Ausrüstung für Kryopräparation feuchter Proben
- Transmissionselektronenmikroskop; Ultradünnschnitttechnik, Kryomikrotomie, Abdrucktechniken
- Lichtmikroskope mit Video- und Bildanalysetechnik
- Röntgengeräte für Weitwinkelstreuung (WAXS) und Kleinwinkelstreuung (SAXS)
- Quecksilberporosimetrie
- Volumetrische Gasadsorption (BET)
- Dynamische Wasserdampfsorption
- Polarisations-Mikroskopie

AUSSTATTUNG EQUIPMENT

Materialkenndaten

- Cone-Kalorimeter
- Dynamisches Scanning-Kalorimeter (DSC)
- Dynamisch-mechanische Analyse (DMA)
- Thermogravimetrische Analyse (TGA)
- Partikelgrößenmessgeräte
- Zetapotenzial-Analysengeräte
- Trübungsphotometer
- Polarimeter
- Klimatisiertes mechanisches Prüflabor mit Universal-Zugprüfmaschine, Kerbschlaggerät, Dauerbiegeprüfgerät, Fasernassscheuerprüfgerät, Härteprüfgerät, Dickenmessgerät, Vibroskop zur Bestimmung der Feinheit von Fasern
- Bruchzähigkeit (OCT)
- Permeationsmessstände für Gase und Flüssigkeiten
- Porometer für durchgängige Poren im Bereich 500 bis $< 0,02 \mu\text{m}$
- Geräte zur Bestimmung der Materialfeuchte
- Digitales Biegeschwinger-Dichtemessgerät
- Dichtebestimmung von Festkörpern und Flüssigkeiten
- Helium-Pyknometer zur Dichtebestimmung
- Ladungsträgerbeweglichkeit
- OLED-Lebensdauerprüfung
- Suntester
- Optical-Calcium-Test
- Membrantestanlage für Gase
- Thermisch-Mechanische Analyse (TMA, Dilatometrie)
- M-Linien-Messplatz (Bestimmung des Brechungsindex, Doppelbrechung und Schichtdicke)
- Abbe-Refraktometrie

Oberflächenanalyse

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

DNA- und Proteinanalytik

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

Mikro- und zellbiologische Testverfahren

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

Polymermaterialien und Composite PYCO

- 3D-Profilometrie
- CNC-Bearbeitung von FVKs und Metallen
- Dissolver
- Präzisionshärtungsöfen
- Elektronenstrahlanlage
- Klimakammer
- Vertikale Imprägnieranlage für bahnförmige Materialien
- Horizontale und vertikale Pilotimprägnieranlagen
- Heizpressen (max. $1500 \times 1500 \text{ mm}$)
- Autoklav
- RTM-Anlage
- Prepreg-Technologie
- Mikrowellenhärtung (8 m^3 Ofen und kontinuierlich)
- Optische Charakterisierung dünner Schichten
- Duroplastspritzguss

Ausführliche Informationen zu unserem umfangreichen Analytikangebot finden Sie unter:

www.polymer-analytik.de

Polymer synthesis – Polymer processing

Reactors and kneaders

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

Pilot plant PLA synthesis

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

Process analysis

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

Sample preparation and reprocessing

- laboratory and pilot plant centrifuges
- ultracentrifuges
- ultrafiltration system
- high pressure homogenizer
- ultrasonic homogenizer
- bead beater homogenizer
- freeze dryers
- spray dryer
- fluidized bed dryer
- disperser
- ball, cutting and ultracentrifugal mills
- CryoMill
- colloid mill
- laboratory mixer for powder
- TURBULA® mixer
- ploughshare batch mixer
- screening machines
- jet cooker
- dissolving aggregates for volumes of 3 to 10 kg
- film formation bank
- pellet dryer
- air-circulation and vacuum drying ovens
- climate chamber

Compound processing

- conical twin screw extruders for compounding of small volume ($> 5 \text{ cm}^3$) samples
- twin screw compounder
- flexible configurable twin screw extruders, screw diameters: 12 mm, 18 mm, 25 mm and 27 mm, processing length: up to 52 D, equipped with gravimetric feeders
- water baths
- band take-offs
- pelletizer
- hot-cut air pelletizer
- melt pumps
- physical foaming equipment Optifoam
- testing roll mill
- platen presses up to $300 \times 300 \text{ mm}^2$ press area
- extrusion blow molding machine
- 3D printers, fused deposition modeling, stereolithography

Film manufacturing

- single screw extruders, screw diameters: 20 mm, 25 mm and 30 mm
- tools for cast-film and flat-film processing in monolayer, 3-layer and 5-layer version
- laboratory blown film lines
- chill-roll units
- monoaxial laboratory stretching unit for film and monofilament
- thermoforming and skin pack equipment

Injection molding

- piston injection molding machine for small amounts
- injection molding machines with 220 kN, 350 kN and 550 kN clamping force
- plastification units for thermoplastics and thermosets
- injection molding tools for thermoplastics and thermosets

Fiber spinning lines

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

Carbon fiber equipment

- $2 \times 2 \text{ m}$ horizontal tube ovens up to 950°C for stabilization
- 4 m horizontal tube oven up to 2000°C for carbonization
- continuous tension and strain controlled fiber transportation up to 3000 filaments in the speed range from 1.5 to 50 m/h

AUSSTATTUNG

EQUIPMENT

Polymer analysis and characterization

Surfaces, films and membranes

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

Pilot Plant Center PAZ

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

Organic electronic components

- pilot line for printed electronics
- inkjet printer
- slot die coater
- evaporation chamber with thermal and e-beam evaporation
- sputter facility
- atomic layer deposition (ALD)
- UV cleaning
- UV press
- display characterization

Biotechnology pilot plant, S1

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

Laser technology

- Ar⁺ laser (365 nm, 457 nm, 476 nm, 488 nm, 514 nm)
- solid state laser (532 nm)
- profit/loss-optic measuring system: VBL (Variable Stripe-Length) and SES (Shifting-Excitation Spot) method
- HeNe laser (633 nm)
- holographic structure with Ar⁺ laser (364 nm)
- holographic setups with Ar⁺ laser 488 nm, in-situ monitoring of diffraction efficiency
- holographic set-up, holographic structuring of polymers with 355 nm solid state-laser, in-situ-monitoring of diffraction efficiency
- holographic setups, holographic structuring of polymers with 532 nm solid state-laser, in-situ-monitoring of diffraction efficiency
- Kr⁺ laser (647 nm, 674 nm)
- measuring station for DFB polymer lasers: 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

- Eluents: water, DMSO, dichloromethane, dimethylformamide/LiBr, hexafluorisopropanol/ Natrifluoroacetat
- dn/dc-determination
- high performance liquid chromatograph with DAD-detector
- high performance liquid chromatographs with mass spectrometer
- gas chromatograph with mass spectrometer, headspace
- combustion ion chromatograph
- titrator
- tensiometer
- thin-layer chromatograph (TLC)

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 (MIR, NIR)
- ATR-FTIR spectrometer
- heatable ATR spectrometer and DRIFT unit
- FT-Raman spectrometer
- fluorescence spectrometer
- high performance fluorescence spectrometer
- CCD-spectrometer
- X-ray photoelectron spectrometer (XPS)
- mass spectrometer
- ICP optical emission spectrometer
- surface plasmon resonance (SPR) spectrometer
- UV/VIS microscope spectrometer
- quantum yield measurement setup
- dielectric spectroscopy
- ellipsometer

Rheology

- rotational viscometer
- oscillation rheometer
- melt-flow-index measurement devices
- dilution viscometer
- rheometer high pressure cell modules for solution viscosity up to 160 °C
- freezing point osmometer
- capillary viscometer for solution viscosity
- Mooney viscometer

Morphology and structure elucidation

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

Material characteristics

- Cone calorimeter
- dynamic scanning calorimeter (DSC)
- dynamic mechanical analysis (DMA)
- thermogravimetric analysis (TGA)
- particle size analyzers
- zetapotential analyzers
- turbidity photometer
- polarimeter

- air-conditioned mechanical test laboratory with universal tensile testing machine, impact tester, bending endurance tester, wet fiber abrasion machine, hardness gauge tester, thickness gauge tester, vibroscope for determination of fineness of fibers
- fracture toughness (OCT)
- gas and liquid permeation analyzers
- capillary flow porometer
- moisture meter for plastics
- digital oscillating U-tube density meter
- system for density determination of solids and liquids
- helium gas pycnometer
- charge mobility
- OLED lifetime testing
- suntester
- optical calcium test
- gas permeability tester
- thermal mechanical analysis (TMA, dilatometry)
- device for m-line measurement (determination of refractive index, birefringence, and layer thickness)
- Abbe refractometry

Surface analysis

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

DNA and protein analysis

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

Micro and cell biological test procedure

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

Polymeric Materials and Composites PYCO

- 3D-profilometry
- CNC treatment of FRPs and metals
- dissolver
- precision curing furnace
- electron beam curing plant
- climatic chamber
- vertical technology impregnation drum for web-shaped preregs
- horizontal and vertical pilot impregnation plants
- hot presses (max. 1,500 × 1,500 mm)
- autoclave
- RTM-technology
- prepreg technology
- microwave curing (8 m³ oven and continuously)
- optical characterization of thin layers
- thermoset injection molding

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

www.polymer-analytik.de

ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

Zusammenarbeit Collaboration

Fraunhofer-Institute Fraunhofer Institutes

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

Fraunhofer ENAS, Institut für Elektronische Nanosysteme, Chemnitz

Fraunhofer FEP, Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnologie, Dresden

Fraunhofer FOKUS, Institut für Offene Kommunikationssysteme, Berlin

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

Fraunhofer IAO, Institut für Arbeitswirtschaft und -organisation, Stuttgart

Fraunhofer IBMT, Institut für Biomedizinische Technik, St. Ingbert

Fraunhofer ICT, Institut für Chemische Technologie, Pfinztal

Fraunhofer ICT-MM, Institut für Chemische Technologie, Mainz

Fraunhofer IFAM, Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Bremen

Fraunhofer IGB, Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik, Stuttgart

Fraunhofer IIS, Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen

Fraunhofer IKT, Institut für Keramische Technologien und Systeme, Dresden

Fraunhofer ILT, Institut für Lasertechnik, Aachen

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

Fraunhofer IMS, Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg

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 IMWS, Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen, Halle

Fraunhofer IWU, Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Dresden

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

Fraunhofer IZM, Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Berlin

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

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

Hochschulen in Deutschland Universities in Germany

Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

Beuth Hochschule für Technik Berlin, Fachbereich Pharma- und Chemietechnik

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl für Thermophysik

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Physik

Freie Universität Berlin, Institut für Chemie

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Angewandte Optik

Hochschule Hannover, Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe

Hochschule Merseburg (FH)

Hochschule Niederrhein, Krefeld

Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo, Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik

Hochschule Reutlingen

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

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Organische Chemie

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

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

Ruhr-Universität Bochum, Analytische Chemie

Technische Hochschule Wildau, Biosystemtechnik, Fachbereich Ingenieurwesen

Technische Universität Berlin, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fachgebiet Polymer-technik/Polymerphysik, Institut für Physik, Institut für Chemie

Technische Universität Braunschweig, Institut für Hochfrequenztechnik

Technische Universität Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau, Zentrum für Mikrotechnologien

Technische Universität Dresden, Institut für Pflanzen- und Holzchemie

Technische Universität Karlsruhe, Institut für Technische Chemie und Polymerchemie

Technische Universität München, Institut für Physik

Universität Bayreuth, Fachbereich Chemie, Polymer Engineering

Universität Bielefeld, Physikalische und Biophysikalische Chemie

Universität Darmstadt, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

Universität Erlangen-Nürnberg, Materials for Electronics and Energy Technology

Universität Jena, Institut für Organische Chemie und Makromolekulare Chemie

Universität Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik

Universität Leipzig

Universität Marburg, Institut für Pharmazeutische Chemie

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

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

Polymermaterialien und Composite PYCO **Polymeric Materials and Composites PYCO**

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Polymermaterialien, Fachgebiet Leichtbau mit strukturierten Werkstoffen

Fachhochschule Münster, Fachbereich Chemieingenieurwesen

Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Fachbereich Holzingenieurwesen

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Chemie

Technische Hochschule Wildau (FH), Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

Hochschulen im Ausland **Foreign universities**

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

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

Colorado State University, Department of Clinical Sciences, Fort Collins, CO (USA)

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

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

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

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Reator Multipropósito Brasileiro, São Paulo - SP (Brazil)

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

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

ZUSAMMENARBEIT

COLLABORATION

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

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

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

The University of Texas at Austin, College of Natural Sciences, Department of Molecular Biosciences, Austin, TX (USA)

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

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

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

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

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

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

University of Campinas, Laboratório de Nanotecnologia e Energia Solar (LINES), Campinas (Brazil)

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

University of Durham, Durham (UK)

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

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

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

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

University of Liverpool, Department Chemistry, Liverpool (UK)

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

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

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

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

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

University of Seville, Department of Physical Chemistry, Seville (Spain)

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

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

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

Polymermaterialien und Composite PYCO Polymeric Materials and Composites PYCO

Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA), Villeurbanne (France)

Andere Forschungseinrichtungen Other research institutions

Acondicionamiento Tarrasense Associación, Barcelona (Spain)

Acreo Swedish ICT AB, Norrköping (Sweden)

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

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

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM, Berlin

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

Centre Nationale de la Recherche Scientifique, CNRS, Palaiseau (France)

Charité, Berlin

CIDETEC IK4, San Sebastian (Spain)

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

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

EU Joint Research Center, Ispra (Italy)

Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen gGmbH, FILK, Freiberg

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Berlin

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

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

Institut für Dünnschichttechnologie und Mikrosensorik e.V., Teltow

Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH, Dresden

Institut für Mikrosystemtechnik, IMTEK, Freiburg

Institute of Macromolecular Chemistry "Petru Poni", Iasi (Romania)

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Graz (Austria)

Karlsruher Institut für Technologie, KIT, Karlsruhe

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

Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V., IPF, Dresden

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

MateriaNova, Mons (Belgium)

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

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

Max-Planck-Institut für Polymerforschung, MPIP, Mainz

NanoTecCenter Weiz, Graz (Austria)

Papiertechnische Stiftung PTS, München

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

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., STFI, Chemnitz

Stiftelsen SINTEF, Trondheim (Norway)

Süddeutsches Kunststoff-Zentrum Würzburg, SKZ, Würzburg

Tecnalia, Derio (Spain)

Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz

The Institute of Photonic Sciences, Barcelona (Spain)

Thünen-Institut, Großhansdorf

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

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

Polymermaterialien und Composite PYCO **Polymeric Materials and Composites PYCO**

Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (IVW), Kaiserslautern

Irish Centre for Composites Research (IComp), University of Limerick, Limerick (Ireland)

Firmenkooperationen **Cooperations with companies**

3D Micromac, Chemnitz

ABB, Ladenburg

Advent, Patras (Greece)

aevotis GmbH, Potsdam

Agrana Research & Innovation Center GmbH, Tulln (Austria)

Aixtron, Aachen

Allresist GmbH, Strausberg

amynova polymers GmbH, Bitterfeld-Wolfen

AquaBioTech Limited, Mosta (Malta)

ARKEMA France, Grenoble (France)

AVEBE, Veendam (Netherlands)

BASF SE, Ludwigshafen

BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Weiherhammer

BioLog Biotechnologie GmbH, Queist

BIOTEC GmbH & Co. KG, Emmerich

Bruker Daltonics, Bremen

Bundesdruckerei GmbH, Berlin

Cargill Deutschland GmbH, Krefeld

ZUSAMMENARBEIT

COLLABORATION

Centro Ricerche Fiat (CRF), Turin-Orbassano (Italy)	Folex AG, Seewen (Switzerland)	Jotun AS, Sandefjord (Norway)	MaxBiogas GmbH, Marienwerder
Ceresan Erfurt GmbH, Markranstädt	Follmann GmbH & Co. KG, Minden	Jowat AG, Detmold	M. Braun Inertgas-Systeme GmbH, Garching
Clariant Deutschland GmbH, Frankfurt/Main	Gemalto, Gémenos (France)	Koenen GmbH, Ottobrunn- Riemerling	Merck KGaA, Darmstadt
Coatema, Coating Machinery GmbH, Dormagen	Gen-IAL GmbH, Troisdorf	Konarka Technologies, Linz (Austria)	micro resist technology GmbH, Berlin
Coltène/Whaledent AG, Altstätten (Switzerland)	GMT Membrantechnik GmbH, Rheinfelden	Korea Electronics Technology Institute, KETI, Bundang-gu Seongnam (Republic of Korea)	Microdyn-Nadir GmbH, Wiesbaden
Compraxx GmbH, Brehna	Göckener GmbH, Ahaus	Kronoply GmbH, Heiligengrabe	Nanograde Ltd., Staefa (Switzerland)
Compucon, Thessaloniki (Greece)	H. Hiendl GmbH & Co. KG, Bogen-Furth	KSG Leiterplatten GmbH, Gornsdorf	Nematel GmbH & Co. KG, Mainz
COMSA EMTE SL, Barcelona (Spain)	Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf	Lanxess Deutschland GmbH, Leverkusen	Novaled, Dresden
Continental, Hannover	Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde	Leipa Georg Leinfelder GmbH, Schwedt	Osram Opto Semiconduc- tors GmbH, Regensburg
Cordenka GmbH & Co. KG, Obernburg	Hobum Oleochemicals GmbH, Hamburg	Lenzing AG, Lenzing (Austria)	Oxford Lasers, Oxford-Oxon (UK)
Corning Cable Systems, Berlin- Adlershof	Horiba Jobin Yvon SAS, Palaiseau (France)	Linotech GmbH & Co. KG, Forst	PanEuro, Cork (Ireland)
Cromotransfer, Joinville (Brazil)	ImaBiotech, Lille (France)	LIST AG, Arisdorf (Switzerland)	Papierfabrik August Koehler AG, Oberkirch
crystalsol GmbH, Wien (Austria)	Indulor Chemie GmbH & Co. KG, Bitterfeld	Loewe Technology GmbH, Kronach	Papierfabrik Palm GmbH, Schwepnitz
C-Tech Innovation Limited, Capenhurst (UK)	Ineos Melamines GmbH, Frankfurt/Main	Lonza AG, Visp (Switzerland)	PDW Analytics GmbH, Potsdam
Cynora GmbH, Karlsruhe	Interstarch GmbH Alttröglitz, Elsteraue	Lonza Group Ltd., Basel (Switzerland)	PLATon GmbH, Hamburg
Cyramid AG, Güster	Intrinsiq Materials Limited, Farnborough, Hampshire (UK)	LTB Lasertechnik Berlin GmbH, Berlin	Polyterra Innovations GmbH, Berlin
Emsland-Stärke GmbH, Emlichheim	Isovoltaic AG, Lebring (Austria)	Lüth & Dümchen GmbH, Berlin	PRA Trading Ltd., London (UK)
Evonik Industries AG, Essen	Jäckering Mühlen- Nährmittelwerke GmbH, Hamm	Marintek, Trondheim (Norway)	Pracht Lichttechnik GmbH, Dautphetal
Festo AG & Co. KG, Esslingen		MateriaNova, Mons (Belgium)	Precision Varionic Internatio- nal LTD, Swindon (UK)

Netzwerke und Verbünde Networks and associations

Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus	Specific Polymers, Montpellier (France)	Das Fraunhofer IAP war 2015 Mitglied in folgenden Netzwerken, Vereinen bzw. Arbeitsgemeinschaften:	– Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., DECHEMA
PSS Polymer Standards Service GmbH, Mainz	Styron Deutschland GmbH, Schkopau	– Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs- vereinigungen, AiF	– Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V., AVK
Quarzwerte GmbH, Frechen	SWL Tischlerplatten Betriebs- GmbH, Langenberg	– Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungs- institutionen e.V., AGEF	– Internationaler Verein für technische Holzfragen e.V., IVTH
Raab-Photonik GmbH, Potsdam	Symrise AG, Holzminden	– Berlin-Brandenburgischer Verband Polymerforschung	– IUPAC, Novel Materials and their Synthesis, NMS, International Advisory Board
Reifenhäuser REICOFIL GmbH & Co. KG, Troisdorf	SYNTHON Chemicals GmbH & Co. KG, Wolfen	– Chiral Compounds and Special Polymers, CCSP, International Advisory Board	– Kompetenznetz Optische Technologien, OpTecBB e.V.
Rent-a-Scientist GmbH, Regensburg	Synthopol Chemie Deutschland, Buxtehude	– Cluster Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland	– Kunststoff-Verbund Branden- burg Berlin e.V., KuVBB
Robert Bosch Battery Systems GmbH, Stuttgart	Synthos SA, Oswiecim (Poland)	– Deutsches Flachdisplayforum, DFF	– Landesvereinigung Außer- universitärer Forschung Brandenburg, LAUF e.V.
Sapemus Chemie GmbH, Springe	Tecnaro GmbH, Ilsfeld-Auenstein	– Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., DGM, Fachausschuss Polymerwerk- stoffe	– Leibniz-Kolleg Potsdam e.V.
Schoeller Technocell GmbH & Co. KG, Osnabrück	TES Frontdesign GmbH, Neuruppin	– European Polysaccharide Network of Excellence, EPNOE	– Organic and Printed Electronics Association, oe-a
SE Tylose GmbH & Co. KG, Wiesbaden	tesa SE, Hamburg	– Exzellenzcluster »Das Taschen- tuchlabor – Impulszentrum für Integrierte Bioanalytik«, IZIB	– pearls-Potsdam Research Network
Sensor- und Lasertechnik Dr. W. Bohmeyer, Neuenhagen bei Berlin	Tilse Formglas GmbH, Liepe	– Fachverband der Stärke- Industrie e.V.	– Photonik BB e.V.
SG Austria Pte Ltd, Singapore (Singapore)	Trinseo Deutschland GmbH, Schkopau	– Forschungsvereinigung Werk- stoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V., WNR	– POLYKUM e.V., Fördergemein- schaft für Polymerentwicklung und Kunststofftechnik in Mitteldeutschland
Siemens AG, Berlin	Uhde Inventa-Fischer GmbH & Co. KG, Berlin	– Fraunhofer-Allianz POLO	– ProWissen Potsdam e.V.
Sikoplast Maschinenbau GmbH, Siegburg	Viscofan S.A., Navada (Spain)	– Fraunhofer-Leitprojekt »Theranostische Implantate«	– Society for Information Display- Mid Europe Chapter, SID-MEC
Sirigen Inc, San Diego (USA)	Volkswagen AG, Wolfsburg	– Fraunhofer-Netzwerk Elektrochemie	– Spitzencluster BioEconomy
Smallmatek, Aveiro (Portugal)	Xetos AG, Hohenbrunn	– Fraunhofer-Allianz NANOTECH	– Technologieplattform Mikroverkapselung
Smurfit Kappa Hoya Papier und Karton GmbH, Hoya	Zellstoff Stendal GmbH, Arneburg	– Fraunhofer-Forschungsallianz Kulturerbe	– Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., VDMA
Solardynamik, Berlin-Adlershof	Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal GmbH, Blankenstein	– Fraunhofer-Verbund Werk- stoffe, Bauteile – MATERIALS	– Vereinigung der Seifen-, Parfüm- und Waschmittel- fachleute e.V., SEPAWA
	Zeppelin Reimelt GmbH, Kassel	– Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., GdCh	– Verein der Zellstoff- und Papier- chemiker und -ingenieure e.V., Zellcheming
			– Verein Sichere Identität Berlin- Brandenburg e.V.
			– Wissenschaftspark Potsdam-Golm
			– ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH, ZAB

ZUSAMMENARBEIT

COLLABORATION

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

Prof. Dr. M. Bauer
– Berlin-Brandenburg Aerospace
Allianz e.V. (BBAA), Wildau
– Bundesverband der
Deutschen Luft- und Raum-
fahrtindustrie e.V. (BDLI)

Prof. Dr. A. Böker
– Aufsichtsratsmitglied pearls-
Potsdam Research Network
– Deutsche Forschungsgemein-
schaft e.V., Fachkollegium
Polymermaterialien
– Editor-in-Chief von Polymers
(MDPI)
– Editorial Board von Colloid &
Polymer Science (Springer)
– Editorial Board von Polymer
(Elsevier)
– Gesellschaft Deutscher
Chemiker e.V. GDCh
– Gutachter Carl-Zeiss-Stiftung
– International Advisory
Board von Macromolecular
Chemistry & Physics (Wiley-
VCH)
– Juror Innovationspreis
Berlin-Brandenburg
– Reimund Stadler Minerva
Center for Mesoscale
Macromolecular Engineering

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

Dipl.-Ing. Th. Büsse
– Kunststoffverband Berlin/
Brandenburg (KuVBB)

Dr. C. Dreyer
– BMBF, Zwanzig20, Advanced
UV for Life-Konsortium
– Carbon Composites e.V. (CCeV)
– OpTecBB e.V.

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

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

Dr. K. Hettrich
– DIN Arbeitsausschuss
Partikelmesstechnik,
Oberflächenmessverfahren

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

Priv.-Doz. Dr. S. Janietz
– Arbeitsgemeinschaft Elektro-
chemischer Forschungs-
institutionen e.V., AGEF

Dr. H. Krüger
– Smart³ e.V.

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

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

Dr. A. Seeboth
– Editorial Board des »Open
Journal of Polymer Chemistry«
– Gutachterausschuss, Arbeits-
gemeinschaft industrieller
Forschungsvereinigungen
»Otto von Guericke« e.V., AiF
– 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

Dr. S. Steffen
– BMBF, Zwanzig20,
C³-Carbon Concrete
Composites-Konsortium

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

Lehrveranstaltungen Lecturing activities

Dr. W. Vorwerg

- Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V., Stärke-Fachausschuss
- Netzwerk Nachhaltigkeit, Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. B. Volkert

- Zellcheming Cellulosefach-ausschuss

Dr. J. Wagner

- OpTecBB e.V.

Dr. A. Wedel

- Officer, Society for Information Displays-Mid Europe Chapter, SID-MEC

Dr. M. Wegener

- VDI, GMA-Fachausschuss 4.16 »Unkonventionelle Aktorik«

Prof. Dr. M. Bauer

- Vorlesung und Praktikum: *Polymermaterialien*, BTU Cottbus-Senftenberg

Prof. Dr.-Ing. M. Bartke

- Vorlesung: *Polymerisations-technik*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- Vorlesung: *Polymer Reaction Engineering*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Prof. Dr. A. Böker

- Vorlesung: *Biobased Building Blocks for Nanotechnology*, Universität Potsdam
- Vorlesung: *Verarbeitung von polymeren Werkstoffen*, Universität Potsdam
- Seminar: *Diplomanden-, Doktoranden-, Mitarbeiterseminar der Kolloid- und Polymerchemie*

Dipl.-Ing. Th. Büsse

- Vorlesung: *Nachhaltigkeit in der Kunststoffverarbeitung*, BTU Cottbus-Senftenberg
- Praktikum: *Kunststoffverarbeitung*, BTU Cottbus-Senftenberg

Dr. C. Dreyer

- Praktikum: *Alternative Härtungsmethoden*, Technische Hochschule Wildau (FH)

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

Dr. J. Ganster

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

Prof. Dr. D. Hofmann

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

Priv.-Doz. Dr. habil. S. Janietz

- Vorlesung: *Polymere für die organische Elektronik*, Universität Potsdam

Prof. Dr. A. Laschewsky

- Praktikum: *Polymerchemie*, Universität Potsdam
- Vorlesung: *Technische Chemie*, Universität Potsdam
- Vorlesung: *Protecting Group Strategies (in Organic and Polymer Synthesis)*, Universität Potsdam
- Vorlesung: *Functional Polymers (Design, Synthesis and Properties of Hydrogels)*, Universität Potsdam

Dr. D. Söthje

- Vorlesung: *Makromolekulare Chemie*, Technische Hochschule Nürnberg Georg-Simon-Ohm

Dr. J. Storsberg

- Vorlesung: *Macromolecular Chemistry in Pharmaceutical and Chemical Engineering*, Beuth Hochschule für Technik Berlin

Prof. apl. Dr. S. Vieth

- Praktikum: *Basic Natural Sciences*, BTU Cottbus-Senftenberg
- Praktikum: *Chemie I*, BTU Cottbus-Senftenberg
- Vorlesung und Praktikum: *Chemie II (Organical and Analytical Chemistry)*, BTU Cottbus-Senftenberg

– Vorlesung, Seminar und

- Praktikum: *Chemie II (Organische Chemie)*, BTU Cottbus-Senftenberg

– Vorlesung, Seminar und Praktikum: *Nichtmetallische Materialien*, BTU Cottbus-Senftenberg

– Vorlesung, Seminar und Praktikum: *Oleochemie*, BTU Cottbus-Senftenberg

– Vorlesung, Seminar und Praktikum: *Präparative organische Chemie*, BTU Cottbus-Senftenberg

– Vorlesung: *Chemische Konzepte der industriellen Chemie*, BTU Cottbus-Senftenberg

– Vorlesung: *Einführung in die organische Chemie*, BTU Cottbus-Senftenberg

Dr. U. Wendler

- Vorlesung: *Makromolekulare Chemie*, Hochschule Merseburg

Auszeichnungen Awards

Prof. Dr. Alexander Böker
ERC Consolidator Grant

Prof. Dr. Hans-Peter Fink,
Fraunhofer-Medaille für besondere Verdienste um die Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Christian Ippen, 3. *Hugo-Geiger-Preis*, Fraunhofer-Gesellschaft, München (Germany)

Dr. Joachim Storsberg, *The Silver Cornea, 7th International Symposium "Advances in diagnoses and treatment of corneal diseases"*, Wisla (Poland)

PATENTE

PATENTS

Offengelegte Patente 2015: 18 Published patents in 2015: 18

M. Bauer, D. Söthje, C. Dreyer:
Chemisch abbaubares Epoxidharzsystem
WO 2015/117773 A1
DE 10 2014 101 413 A1

M. Bennemann, A. Geßner: *Laser mit verteilter Rückkopplung*
DE 10 2014 207 723 A1

C. Boeffel, A. Laschewsky, E. Wischerhoff, A. Enzenberg:
Zusammensetzung mit FRET-Paar in definierter Geometrie
WO 2015/124690 A1

F. Börner, B. Dix: *Holzwerkstoffprodukt oder Naturfaser-Verbundwerkstoffprodukt und Verwendung eines formaldehydfreien Amino- oder Amidharzes zu deren Herstellung*
WO 2015/086035 A1

F. Börner, B. Dix: *Holzwerkstoffprodukt oder Naturfaser-Verbundwerkstoffprodukt und Verwendung eines formaldehydfreien Amino- und Amidharzes basierend auf Glyoxylsäureester zu deren Herstellung*
WO 2015/086034 A1

F. Börner, M. Jobmann, M. Hahn: *Formaldehydfreie Amino- oder Amidharze basierend auf einer reaktiven Schutzgruppe und einem Di- oder Trialdehyd als Netzbildner*
WO 2015/032733 A1
DE 10 2013 217 654 A1

F. Börner, M. Jobmann, M. Hahn: *Formaldehyd-freie Harze basierend auf Glyoxylsäureestern*
WO 2015/086073 A1

F. Börner, M. Jobmann, M. Hahn: *Formaldehyd-freie Harze basierend auf Hydroxyaldehyden*
WO 2015/086074 A1

B. Dix, F. Börner: *Holzwerkstoffprodukt oder Naturfaser-Verbundwerkstoffprodukt und Verwendung eines formaldehydfreien Aminoplastharzes zu deren Herstellung*
WO 2015/032458 A1
DE 10 2013 014 641 A1

D. Fritsch: *Polymermembran aus Polyacrylnitril*
WO 2015/082546 A1
DE 10 2013 224 926 A1

D. Fritsch: *Verfahren zur Herstellung lösemittelstabiler Polymermembranen in einem Verfahrensschritt*
WO 2015/071276 A1
DE 10 2013 223 126 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch, H. Hellmuth, N. Plath, N. Bode, T. Weber, I. Vockenroth, B. Laufs:
Stabilisierung von Enzymen in tensidhaltigen wässrigen Systemen
WO 2015/055491 A1
DE 10 2013 017 047 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Sütterlin, J.-P. Couturier:
Responsives Hydrogel für den Nachweis von Biomolekülen
WO 2015/104139 A1

J. Storsberg, J. Bohrisch: *Protein-Polyolefin Blends und Protein-Polydien Blends mit verbessertem mechanischen Eigenschaftsprofil, Polymerblend auf Basis von Elastomeren mit Proteinhydrolysat, Verfahren zur Herstellung vom Körper sowie Verwendung eines Proteinhydrolysats*
DE 10 2013 223 147 A1

J. Storsberg, J. Bohrisch: *Verfahren zur kovalenten Beschichtung von Polymeren mit zumindest teilweise nucleophilen Kettenenden, oberflächlich beschichtetes Substrat sowie Verwendungsmöglichkeiten*
WO 2015/082230 A1
DE 10 2013 224 874 A1

J. Storsberg, S. Bruzzano: *Siliconfreies Hydrogel, Verfahren zu dessen Herstellung, Formteil hieraus sowie Verwendungszwecke*
DE 10 2013 221 204 A1

J. Storsberg, S. Bruzzano: *Siliconhydrogel, Verfahren zu dessen Herstellung, Formteil hieraus sowie Verwendungszwecke*
DE 10 2013 221 209 A1

J. Storsberg, A. Laschewsky: *Extrudierbare Polymermischungen auf Basis von Proteinen mit Polyamiden und/oder Polyurethanen, deren Herstellung und Verwendung*
DE 10 2013 223 139 A1

Angemeldete Patente 2015: 13 Applied patents in 2015: 13

Erteilte Patente 2015: 17
Granted patents in 2015: 17

M. Bauer, D. Decker, G. Motz: *Acrylnitril-Silazan-Copolymere, insbesondere in Faserform, Verfahren zu deren Herstellung und ihre Verwendung*
US 9,096,702 B2
CN 102844342 B

M. Bauer, R. Wurzel, C. Uhlig, J. Bauer: *Flammfeste, niedrigtemperaturhärtende, cyanatbasierte Harze mit verbesserten Eigenschaften*
EP 1854827 (GB, FR, ES, DE, CH, AT)

A. Concord, G. Wachinger, H. Luinge, E. Langkabel, M. Bauer: *Kombination der Effekte von Expansionsstoffen und chemischen Abbaureagenzien für lösbare Klebeverbindungen*
DE 10 2009 109 484 B4

C. Duschl, A. Lankenau, J.-F. Lutz, A. Laschewsky, E. Wischerhoff, G. Fuhr, F. Bier: *Substrat, Kultivierungseinrichtung und Kultivierungsverfahren für biologische Zellen*
EP 2 550 352 A1 (DE)

C. Duschl, A. Lankenau, S. Schmidt, T. Hellweg, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, J.-F. Lutz: *Thermoresponsives Substrat mit Mikrogelen, Verfahren zu dessen Herstellung und Kultivierungsverfahren für biologische Zellen*
JP 5785603

H. Ebeling, H.-P. Fink: *Cellulosecarbamat-Spinnlösung, Cellulosecarbamat-Blasfolie sowie Verfahren zu deren Herstellung und Verwendungsmöglichkeiten*
EP 2 116 638 (DE, ES)

H. Ebeling, H.-P. Fink: *Cellulosecarbamat-Spinnlösung, Cellulosecarbamatfaser sowie Verfahren zu deren Herstellung und Verwendungszwecke*
EP 2 110 468 (DE, GB, FR, AT)

B. Elling, T. Greco, A. Wedel, R. Danz: *Optisches Bauelement sowie dessen Verwendung*
DE 10 2009 019 635 B4

H.-J. Gläsel, M. Bauer: *Organisch funktionalisierte Polysiloxan-Nanopartikel, Verfahren zu ihrer Herstellung und ihre Verwendung*
US 8,962,138 B2

S. Janietz, W. Meyer, D. Grothe: *Polymerer Festelektrolyt, Verfahren zu dessen Herstellung sowie elektrisches Bauteil, enthaltend einen Festpolymerelektrolyten*
DE 10 2011 102 438 B4

J. Kron, K. Deichmann, K. Egly, K. Rose, G. Sextl, G. Schottner, M. Jobmann, F. Börner, B.-R. Paulke, D. Crespy, J. Fickert, K. Landfester, M. Rohwerder, T. H. Tran, A. Vimalanandan: *Schichtsystem zum Korrosionsschutz*
DE 10 2012 209 761 B4

H. Krüger, B. Kussmaul, G. Kofod, S. Risse: *Dielektrische Polymere mit erhöhter Permittivität, Verfahren zu deren Herstellung sowie Verwendungszwecke hiervon*
US 9,018,320 B2

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch, N. Bode, I. Vockenroth, E.-M. Wikker, B. Luneau: *Waschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe auf Basis von Acrylmonomeren*
US 9,090,856 B2

A. Seeboth, R. Ruhmann, D. Löttsch(+): *Thermochromes Material, dieses enthaltende Formkörper und deren Verwendung*
US 9,193863 B2

D. Söthje, C. Dreyer, M. Bauer: *Verfahren zum Recycling benzoxazinharzhaltiger Materialien, insbesondere von benzoxazinharzhaltigen Faserverbundkunststoffen*
DE 10 2015 111 939.0

G. Tovar, K. Borchers, H. Krüger, W. Meyer, M. Wegener, S. Engelhardt, D. Riester, E. Bremus-Köbberling, N. Seiler, P. Kluger, O. Refle, C. Weking, R. Jaeger, C. Bierwisch: *Vorrichtung und Verfahren zur schichtweisen Herstellung von 3D-Strukturen, sowie deren Verwendung*
EP 2 621 713 B1 (GB, FR, DE, CH)

B. Volkert, A. Lehmann: *Verfahren zur Herstellung von Polysaccharidestern oder Polysaccharidmischestern*
US 9,181,352 B2

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

Graduierungsarbeiten Theses

Screening und kinetische Vorversuche zur koordinativen Polymerisation von Butadien

Mario Albert
Master thesis, TU Dresden

Qualitative und quantitative Bestimmung der intrinsisch gebildeten Emittenten (Hexanal und Hexansäure) und deren Verteilungs- und Diffusionskoeffizienten während der chemischen Trocknung in Alkydharzlacken

Robert Brezina
PhD thesis, BTU Cottbus-Senftenberg

Sol-Gel-Synthese von nanoskaligen binären und ternären Metallfluoriden

Dirk Broßke
PhD thesis, BTU Cottbus-Senftenberg

New polymeric fluorescence dyes derived from acridone

Patrick Buhtz
Bachelor thesis, University of Potsdam

Bestimmung der Brechungsindizes von porösen MgF_2 -Schichten in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit

Björn Engling
Bachelor thesis, Humboldt-Universität zu Berlin

New fluorescent copolymers for sensitive detection systems in aqueous media

Anne Enzenberg
PhD thesis, University of Potsdam

Encapsulation of reactive components

Xinzhen Fan
Master thesis, FU Berlin

Novel UCST-type microgels based on sulfobetain monomers

Carlos Garcia
Master thesis, FU Berlin

Polymer-based nanosized drug carriers for therapeutic and diagnostic systems

Martin Geyer
Bachelor of Engineering, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Synthesis of dimethylaminoacridone-derivatives

Mandy Grube
Master thesis, University of Potsdam

Kinetic study of gas phase polymerization of propylene with different Ziegler-Natta catalysts

Mina Helmy
Master thesis, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Synthesis of poly(lactic acid) diols by direct polycondensation and subsequent chain extension by reactive extrusion

Cristiane Henschel
Master thesis, TU Berlin

Indium phosphide and zinc selenide quantum dots for light-emitting devices: relationships between surface structure and device performance

Christian Ippen
PhD thesis, University of Potsdam

Development of a thermally stable and flexible polymer based on polylactide for medical applications

Jeanett Köhn
PhD thesis, University of Potsdam

Perovskite basierende Solarzellen – Beitrag zur Dünnschicht-Prozessierung von Methylammonium-iodid ($\text{CH}_3\text{-NH}_3$)-PbI_x-Cl_x basierenden Solarzellen

Martin Krüger

Bachelor thesis, BBW Hochschule, Berlin

Surfactant-stabilized carrier systems for cosmetic and pharmacologic topical applications

Marcel W. Laughton

Bachelor of Engineering, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Preparation and characterization of conductive hydrogels

Mahsa Mafi

Master thesis, University of Potsdam

Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung neuartiger Bagasse-Polymercompounds für Spritzguss Anwendungen

Dino Mujkić

Master thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Synthese und Charakterisierung neuer Schalenzusammensetzungen für InP-Nanopartikel

Christoph Pries

Bachelor thesis, University of Potsdam

Synthesis and investigation of new zwitterionic monomers and polymers

Dustin Rasch

Master thesis, University of Potsdam

Preparation and characterization of acoustic, electret and electromechanical properties of polypropylene ferroelectrets

Martynas Sborikas

PhD thesis, University of Potsdam

Thermoplastische Zwischenlagen zur Verbesserung der Brandbeständigkeit von carbonfaserverstärkten Epoxidharzsystemen

Matthias Schütt

PhD thesis, BTU Cottbus-Senftenberg

Recycling- und reparaturfähige Duromer matrices für Hochleistungsfaserverbundkunststoffe auf Basis der Polycyanurate

Dominik Söthje

PhD thesis, BTU Cottbus-Senftenberg

Neue intrinsisch flammfeste, halogenfreie ungesättigte Polyesterharze

Sebastian Steffen

PhD thesis, BTU Cottbus-Senftenberg

Synthesis of functionalized derivatives of 2-(dimethylamino)-9(10H)-acridone

Raphael Suminski

Master thesis, University of Potsdam

Investigations of the influence of liquid processable intermediate layers with different coating technologies on the efficiency of organic photovoltaic cells

Stefan Wesenberg

Master thesis, TU Chemnitz

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

Vorträge Lectures

M. Bartke, M. Vater, U. Wendler, B. Safrít: *Polymer Isolation as important process step in rubber production processes*, Polymer Reaction Engineering IX (PRE 9), Cancun (Mexico), 14. 5. 2015

M. Bartke: *Polymer Isolation as important process step in rubber production processes*, List Symposia "Better than Steam", Arisdorf (Switzerland), 21. 10. 2015

R. Bernin, A. Laschewsky, E. Wischerhoff: *A New Family of Water-Soluble Polymers and Hydrogels from Bio-Based Components*, 11th European Detergency Conference, Fulda, 14. 10. 2015

M. Biedermann, M. Blümke, M. Wegener, H. Krüger: *Improved actuation strain of PDMS-based DEA materials chemically modified with softening agents*, SPIE Smart Structures/NDE 2015, San Diego (USA), 11. 3. 2015

M. Biedermann: *Fraunhofer IAP und DEAs Gestaltung der vierten Dimension – Zeit: die Herausforderung von aktiven/reaktiven formveränderbaren Materialien*, Kunsthochschule Weißensee, Berlin, 5. 5. 2015

P. Blaschke, C. Dreyer, R. Paeschke, M. Bauer, Y. Chowdhury, T. Schneider: *Experimental vibroacoustic approaches for validation of numerical simulations, process control and quality assurance of composites*, 28. Workshop »Composite Forschung in der Mechanik – Schwerpunktthema: Simulation im Leichtbau«, Universität Paderborn, Paderborn, 9. 12. 2015

A. Böker: *Nanoporous Ultra-thin Membranes formed via Self-Assembly of Protein-Polymer-Conjugates*, Makromolekulares Kolloquium Freiburg, Freiburg, 25.–26. 2. 2015

A. Böker: *Controlling the Structure and Phase Behavior of Block Copolymers with Electric Fields, Ultra-thin Self-Assembled Nanoporous Protein-Polymer Membranes*, E-MRS, Lille (France), 10.–11. 2. 2015

A. Böker: *Building with Colloids: Directing the Self-Assembly of Hybrid (Bio)Nanoparticles*, Tag der Chemie, FU Berlin, Berlin, 16. 6. 2015

A. Böker: *Nanoporous Ultra-thin Membranes formed via Self-Assembly of Protein-Polymer-Conjugates*, Helmholtz-Zentrum Berlin, Berlin, 8. 7. 2015

A. Böker: *Self-Assembly of Protein-Polymer-Conjugates: Capsules and Membranes*, Geestachter Polymertage, Hamburg, 10. 11. 2015

A. Böker: *Nanoporous Ultra-thin Membranes formed via Self-Assembly of Protein-Polymer-Conjugates*, IPPS 2015, Jerusalem (Israel), 13. 12. 2015

A. Böker: *Building with Colloids: Directing the Self-Assembly of Hybrid (Bio)Nanoparticles*, Hebrew University, Jerusalem (Israel), 14. 12. 2015

S. Engelhardt, B. Huber, M. Malin, N. Nottrodt, M. Liikanen, J. Seppälä, A. Gillner, R. Wyrwa, T. Walter, M. Schnabelrauch, K. Borchers, H. Krüger, W. Meyer: *Polymeric Photocurables for artificial biocompatible blood-vessel structures*, Ceitec CREATING LIFE IN 3D, Brno (Czech Republic), 2. 9. 2015

G. Engelmann, J. Ganster: *Lignin as component in bio-based epoxy resins*, 7. Biopolymerkolloquium, Berlin, 22. 1. 2015

D. Fritsch, D. Till: *Solvent stable Polymer Membranes based on Polyacrylonitrile*, 5th International Conference on Organic Solvent Nanofiltration, Antwerpen (Belgium), 17. 11. 2015

J. Ganster, J. Erdmann: *Thermoplastische Lignin-Polyolefin-Blends – optimierte Morphologien für schlagzähe Materialien*, 7. Biopolymerkolloquium, Berlin, 22. 1. 2015

J. Ganster, J. Erdmann, H.-P. Fink: *Cellulose man-made fibers reinforcing bio-based thermoplastics – the role of fiber diameter and fiber-matrix interphase*, 249. ACS National Meeting, Denver (USA), 23. 3. 2015

J. Ganster, J. Erdmann, B. Volkert, G. Engelmann, M. Bartel: *Lignocellulose – sustainable feedstock for bioplastics and biocomposites*, Zellcheming, Frankfurt am Main, 30. 6. 2015

J. Ganster: *Bio-based fibers and composites for injection molding*, 3F-Talks: Functional Fibres and Films, DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien e.V., Aachen, 6. 3. 2015

J. Ganster: *Instead of burning it – lignin for materials applications*, EFIB 2015, The European Forum for Industrial Biotechnology and the Bio-economy, Showcase Theatre, Brüssel (Belgium), 29. 10. 2015

J. Ganster, J. Erdmann, B. Volkert, G. Engelmann, M. Bartel: *Utilization of Lignocellulose in the Plastics Industry – Vision and Reality*, 4th EPNOE International Polysaccharide Conference, Warschau (Poland), 20. 10. 2015

J. Ganster, J. Erdmann: *Cellulose rayon reinforced injection molding composites*, Automotive Thermoplastics Composites Conference, Stuttgart, 8. 5. 2015

J. Ganster: *Biobased Materials/ Processing/Fields of Application*, Biobased Economy in Potsdam, Enterprise Europe Network, Potsdam, 30. 4. 2015

U. Glebe, T. Mirzaeigarakani, H. Charan, A. Böker: *Ultra-Thin Self-Assembled Protein-Polymer Membranes*, IACIS 2015, Conference of the International Association of Colloid and Interface Scientists, Mainz, 28. 5. 2015

K. Hettrich, B. Volkert, M. Barthel, J. Ganster: *Films from Nanocellulose and their properties*, COST-FP1205 Workshop "Innovative applications of regenerated wood cellulose fibres", Iasi (Romania), 10. 3. 2015

A. Holländer: *Haftfeste Plasmapolymerschichten auf Gold für bio-medizinische Anwendungen*, 23. Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden, 15. 10. 2015

S. Janietz: *Smart chemical strategies for high performance polymers in organic devices*, ISFOE15, Thessaloniki (Greece), 6. 7. 2015

S. Janietz: *From New Materials up to a Pilot Line Processing of OPV at Fraunhofer IAP*, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, 9. 10. 2015

S. Janietz, P. Pingel, B. Gruber, A. Graillot, C. Loubat: *Thermal Stabilization of the Bulk-Heterojunction Morphology in Polymer-Fullerene Solar Cells by using organic Bisazides*, MRS Fall Meeting, Boston (USA), 2. 12. 2015

S. Janietz: *Design of semiconducting materials for printed organic electronics*, Athen University Workshop organic electronics, Athen (Greece), 17. 2. 2015

H. Krüger, C. L. Chochos, V. G. Gregoriou, C. Sprau, A. Colsmann, S. Janietz: *Slight structural modification of BDT-quinoxaline copolymers towards high efficient organic photovoltaics*, F- π -12 conference, Seattle (USA), 21. 7. 2015

A. Laschewsky: *Stimuli-sensitive polymers – a versatile platform for autonomous sensors. Stimulus-sensitive Polymere – eine vielseitige Plattform für autonome Sensoren*, Makromolekulares Kolloquium – Seminar über Chemische Technologie Universität Mainz, Mainz, 10. 2. 2015

A. Laschewsky: *Responsive Macro surfactants: "Smart" Molecules from Customary Building Blocks*, 10th World Surfactant Congress CESIO 2015, Istanbul (Turkey), 1. 6. 2015

A. Laschewsky, R. Bernin, M. Päch, E. Wischerhoff: *Novel water-soluble polymers from biobased building blocks*, European Polymer Congress 2015, Dresden, 23. 6. 2015

A. Laschewsky, J.-P. Couturier, M. Sütterlin, E. Wischerhoff: *Smart polymer hydrogels, and their use in novel photonic crystal biosensors*, European Polymer Congress 2015, Dresden, 25. 6. 2015

A. Laschewsky: *Big meets Small: Chances for Cross-fertilizing Macromolecular and Organic Chemistry*, 18. Fall Meeting of the Norwegian Chemical Society – Division of Organic Chemistry, "New synthetic organic chemistry, reactive intermediates and drug development", Oslo (Norway), 16. 10. 2015

A. Laschewsky: *Stimulus-sensitive Polymere als Plattform für autonome Sensoren*, Stöckhardt-Kolloquium, Chemnitz, 17. 12. 2015

A. Lehmann: *Dissolution and processing of cellulose from alkaline media – carbamate and viscose process*, COST-Workshop Jena, 8. 4. 2015

A. Lehmann, E. Tarkhanov: *Faserherstellung aus Biokunststoffen*, VDI Wissensforum Einsatz und Verarbeitung Biokunststoffe, Berlin, 30. 9.–1. 10. 2015

A. Lehmann: *Forschungstrends in der Carbonfaserentwicklung – Gegenwart und Zukunft*, Allianz Faserbasierte Werkstoffe Baden-Württemberg e.V., Rosenberg, 29. 10. 2015

A. Lieske, F. Reiche: *Strukturmodifikationen von PLA zur Verbesserung der Temperaturstabilität*, 15. Schwarzheider Kunststoffkolloquium, Schwarzheide, 22. 9. 2015

W. Meyer, H. Krüger: *Towards a sewable polymeric blood vessel-like material*, ArtiVasc 3D – Public Workshop, Aachen, 28. 10. 2015

J. Rohowsky, A. Techen, K. Hettrich: *Untersuchung zur Permeabilität von Symplektikapseln mittels Fluoreszenzspektroskopie*, Workshop "Charakterisierung von Mikrokapseln und Mikropartikeln", Stuttgart, 25. 3. 2015

R. Ruhmann: *Chromogene Polymere – Regulierung optischer Eigenschaften in Materialien*, Universität Kassel Seminar Werkstofftechnik, Kassel, 1. 6. 2015

A. Ryabchun, A. Bobrovsky, O. Sakhno, V. Shibaev, J. Stumpe: *Controllable diffraction gratings based on photo-responsive cholesteric LC polymer*, 16th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals, OLC 2015, Sopot (Poland), 13. 9. 2015

A. Ryabchun, A. Bobrovsky, O. Sakhno, V. Shibaev, J. Stumpe: *Controllable diffraction gratings based on photo-responsive cholesteric LC polymer*, 16th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals, OLC 2015, Sopot (Poland), 17. 9. 2015

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

Poster Posters

O. Sakhno, Yu. Gritsai, H. Sahm, J. Stumpe: *Very efficient polarization gratings with Bragg properties generated by bulk photo-orientation of a LC polymer*, 16th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals, OLC 2015, Sopot (Poland), 13.9.2015

O. Sakhno, Yu. Gritsai, H. Sahm, J. Stumpe: *Very efficient polarization gratings with Bragg properties generated by bulk photo-orientation of a LC polymer*, 16th Topical Meeting on the Optics of Liquid Crystals, OLC 2015, Sopot (Poland), 19.9.2015

O. Sakhno, A. Ryabchung, M. Wegener: *Polymer based diffractive and photonic elements*, Photonik-Akademie 2015 im Fraunhofer IAP, Potsdam-Golm, 12.3.2015

T. Shopova, A. Holländer, M. Keusgen: *Detection and separation of the bacteria strain Escherichia coli BL21 (DE03) using surface modified polymer particles*, Engineering of Functional Interfaces EnFI 2015, Wien (Austria), 6.7.2015

J. Storsberg, J. Bohrisch, A. Lehmann, J. Ganster, O. Mauger: *Biohybrid Polymers: Combining "Non-Food Waste Biomass" and "Petrobased Polymers" to Develop High-Performance Products*, BioPlastics, InterContinental, Miami (USA), 30.1.2015

J. Storsberg, O. Mauger: *Mit Polymeren heilen – Biomaterialien in der Medizin*, Tag der Naturwissenschaften, Kopernikus Gymnasium, Blankenfelde-Mahlow, 18.2.2015

J. Storsberg, G. I. W. Duncker, N. Schrage: *Biomaterials in corneal applications*, 7th International Symposium Advances in diagnosis and treatment of corneal diseases, Wisla (Poland), 6.3.2015

J. Storsberg, C. Schmidt: *Nanobased Drug-Delivery Systems in Ophthalmic Applications*, 7th International Symposium Advances in diagnosis and treatment of corneal diseases, Wisla (Poland), 6.3.2015

J. Storsberg, O. Mauger: *Improving Functionality of Plastics Towards Tailored Medical Devices*, Polymers & Plastics in Medical Devices 2015, Orlando (USA), 22.4.2015

J. Storsberg, O. Mauger: *Mit Polymeren heilen – Biomaterialien für die Medizin*, Talent Take Off, Wannseeforum, Berlin, 25.6.2015

J. Storsberg, M. W. Laughton, M. Geyer, M. Kumpugdee-Vollrath, C. Schmidt: *Improving the bioavailability of pharmacologically active substances in pharmaceutical and cosmetic formulations*, The Asian Federation for Pharmaceutical Sciences Conference 2015, Bangkok (Thailand), 27.12.2015

J. Storsberg, O. Mauger: *Möglichkeiten der Qualitätssicherung bei Intraokularlinsen*, Linsensymposium, VOA Nordrhein e.V., Köln, 17.10.2015

B. Volkert, A. Lehmann: *Man-made fibers and thermoplastics from crude lignocellulosic feedstock*, Zellcheming, Frankfurt am Main, 30.6.2015

W. Vorwerg, S. Radosta: *The current trend of starch modifications*, Seminar on Latest Process Technology for Native and Modified Tapioca Starch, held by ANDRITZ AG, Bangkok (Thailand), 28.7.2015

W. Vorwerg, S. Radosta: *Properties of Modified Starches*, Starch Update 2015: The 8th International Conference on Starch Technology, Bangkok (Thailand), 3.12.2015

S. Zarmas-Röhl, A. Liekfeld, U. Schröter, O. Mauger, J. Storsberg: *Operationserfolg nach Kanalooplastik – ist die Fadenspannung entscheidend?*, Berlin-Brandenburgische Augenärztliche Gesellschaft – Wintertagung, Berlin, 5.12.2015

M. Alekhina, A. Ebert, S. Heikkinen, H. Sixta: *Effect of hydrothermolysis process conditions on the structural features of pine lignin*, International Symposium on Wood Science and Technology, Tokyo (Japan), 16.3.2015

M. Biedermann, M. Bluemke, M. Wegener, H. Krueger: *PDMS-based DEA materials incorporating covalently attached softening agents*, EuroEAP 2015, Tallinn (Estonia), 9.6.2015

H. Charan, U. Glebe, T. Mirzaeigarakani, A. Böker, J. Kinzel, D. Anand, L. Zhu, M. Bocola, U. Schwaneberg: *Functional polymer-protein conjugates: grafting from a transmembrane protein*, Functional Polymeric Materials Conference, Fusion Conferences, Ascot (UK), 6.8.2015

K.-L. Claude, S. Pinzek, K. Kyriakos, A. Schulte, A. Miasnikova, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis: *Phase transition of thermoresponsive polymers in dependence on temperature and pressure*, Greek-German Workshop 2015 "Structural Investigation and Molecular Dynamics of Nanostructures Polymeric Materials", Athen (Greece) 29.9.2015

J.-P. Couturier, A. Laschewsky, M. Sütterlin, E. Wischerhoff, C. Hettrich: *Responsive Inverse Opal Hydrogels for Facile Sensing of (Bio)Macromolecules*, Makromolekulares Kolloquium Freiburg, Freiburg, 25.2.2015

Publikationen Publications

J.-P. Couturier, A. Laschewsky, M. Sütterlin, E. Wischerhoff, C. Hettrich: *Inverse Opal Hydrogels for Macromolecule Recognition as a Diagnostic Tool*, 29. Tag der Chemie Berlin-Brandenburg 2015, FU Berlin, Berlin, 18.6.2015

J.-P. Couturier, M. Sütterlin, E. Wischerhoff, C. Hettrich, A. Laschewsky: *Responsive Inverse Opal Hydrogels for the Sensing of Biomolecules*, 4. Berliner Chemie Symposium BCS (JungChemikerForum Berlin der GDCh), Berlin, 9.4.2015

A. Drawpateep, M. Bartke: *Kinetics of copolymerization of acrylamide and MADAMBO*, Polymer Reaction Engineering IX (PRE 9), Cancun (Mexico), 11.5.2015

K. Hettrich, H. Wetzel: *Quantification and characterization of polymer ingredients from poplar*, Status Seminar "Plant 2030", Potsdam, 5.3.2015

V. Hildebrand, A. Laschewsky, D. Rasch, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis, N. Vishnevetskaya: *Twofold switchable zwitterionic block copolymers, and their "schizophrenic" micellar self-organization behavior*, European Polymer Congress 2015, Dresden, 21.6.2015

V. Hildebrand, A. Laschewsky, D. Rasch, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis, N. Vishnevetskaya: *Twofold switchable zwitterionic block copolymers, and their "schizophrenic" micellar self-organization behavior*, 11th European Detergency Conference, Fulda, 14.10.2015

D. John, J. A. Krings, B. J. Ravoo, A. Böker: *Self-Assembly of Cyclodextrin-Functionalized Particles*, Faraday Discussion: Nanoparticle Synthesis and Assembly Argonne National Laboratory, Argonne (USA), 20.4.2015

J. Kettner, M. Bartke: *Kinetic study of the bulk polymerization of propylene with metallocene catalyst using reaction calorimetry*, Polymer Reaction Engineering IX, Cancun (Mexico), 11.5.2015

M. Plata, M. Bartke: *High impact polypropylene: Morphology generation during homo-stage*, Polymer Reaction Engineering IX (PRE 9), Cancun (Mexico), 11.5.2015

E. Spielmann-Emden, M. Wegener, H. Krüger, W. Meyer: *Photocurable Materials for Rapid Prototyping in Life Science*, ArtiVasc 3D – Public Workshop, Aachen, 28.10.2015

J. Storsberg, C. Schmidt, N. Schrage, G. I. W. Duncker: *Surface functionalization of biomaterials to improve implant performance*, 5th International Symposium Interface Biology of Implants, Warnemünde, 6.–8.5.2015

J. Adelsberger, X. Shen, A. M. Bivigou-Koumba, A. Miasnikova, A. Golosova, S. S. Funari, P. Busch, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis: *Poly(styrene-block-(methoxy diethylene glycol acrylate)-block-styrene) triblock copolymers – a combined SAXS and SANS study of the switching behaviour*, Colloid Polym. Sci. 293, pp. 1515–1523 (2015)

M. Alekhina, O. Ershova, A. Ebert, S. Heikkinen, H. Sixta: *Softwood kraft lignin for value-added applications: Fractionation and structural characterization*, Ind. Crops Prod. 66, pp. 220–228 (2015)

M. Alekhina, J. Erdmann, A. Ebert, A. M. Stepan, H. Sixta: *Physico-chemical properties of fractionated softwood kraft lignin and its potential use as a bio-based component in blends with polyethylene*, Journal of Materials Science 50/19, pp. 6395–6406 (2015)

M. Bauer, L. Hartmann, E. Kleinpeter, F. Kuschel, C. Pithart, W. Weissflog: *Ephedrine/Pseudoephedrine derived chiral dopants: Structure and medium effects on the helical twisting power*, Molecular Crystals and Liquid Crystals 608/1, pp. 14–24 (2015)

M. Biedermann, M. Blümke, M. Wegener, H. Krüger: *Improved actuation strain of PDMS-based DEA materials chemically modified with softening agents*, Proc. SPIE 9430, Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD), pp. 94301G (2015)

N. E. Blanchard, V. V. Naik, T. Geue, O. Kahle, D. Hegemann, M. Heuberger: *Response of Plasma-Polymerized Hexamethyldisiloxane Films to Aqueous Environments*, Langmuir 3, pp. 12944–12953 (2015)

M. Bluemke, M. Wegener, H. Krueger: *Silicone films with high stiffness and increasing permittivity through dipole-grafting*, Proc. SPIE 9430, Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD), pp. 94300L (2015)

A. Böker, P. van Rijn: *Bio-Synthetic Hybrid Materials and Bionanoparticles: A Biological Chemical Approach Towards Material Science*, Cambridge Royal Society of Chemistry 2015, 978-1-84973-822-4, Monographie

M. A. Brown, C. Schmidt: *Curbing the Costs of Cancer Treatment*, J Can Epi Treat 1/1, pp. 13–14 (2015)

J.-P. Couturier, M. Sütterlin, A. Laschewsky, C. Hettrich, E. Wischerhoff: *Responsive Inverse Opal Hydrogels for Sensing Macromolecules*, Angew. Chem. Int. Ed. 54, pp. 6641–6644 (2015)

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

- A. D. Cramer**, F. Gambinossi, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, R. Miller, J. K. Ferri: *Flexible thermoresponsive nanomembranes at the aqueous-air interface*, Chem. Commun. 51/5, pp. 877–880 (2015)
- P. J. Cywiński**, L. Olejko, H.-G. Löhmannsröben: *A time-resolved luminescent competitive assay to detect L-selectin using aptamers as recognition elements*, Analytica Chimica Acta 887, pp. 209–215 (2015)
- C. Dreyer**, D. Söthje, M. Bauer: *Progress in recycling of composites with polycyanurate matrix*, Advances in Chemical Engineering and Science 4, pp. 167–183 (2015)
- A. Fandrich**, J. Buller, D. Schäfer, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, F. Lisdat: *Electrochemical characterization of a responsive macromolecular interface on gold*, Phys. Stat. Sol. A 212, pp. 1359–1367 (2015)
- O. Faruk**, M. Sain, J. Ganster, G. Engelmann: *Lignin Reinforcement in Thermosets Composites*, in Lignin in polymer composites, Elsevier, 978-0-323-35565-0, Monographie (2015)
- F. Gambinossi**, L. S. Sefcik, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, J. K. Ferri: *Engineering Adhesion to Thermoresponsive Substrates: Effect of Polymer Composition on Surface Wettability*, ACS Appl. Mater. Interfaces 7, pp. 2518–2528 (2015)
- J. Ganster**, M. Feldmann: *Renaissance der Biopolymere – Nachwachsende Rohstoffe für den Kunststoffsektor*, chemie&more 1.15, pp. 12–15 (2015)
- J. Ganster**, G. Engelmann: *Fully biobased epoxy resins from lignin*, Bioplastics magazine 10, pp. 30–32 (2015)
- F. Ghani**, A. Opitz, P. Pingel, G. Heimel, I. Salzmann, J. Frisch, D. Neher, A. Tsami, U. Scherf, N. Koch: *Charge transfer in and conductivity of molecularly doped thiophene-based copolymers*, J. Polym. Sci. B Polym. Phys. 53/1, pp. 58–63 (2015)
- P. Girard-Lauriault**, W. E. S. Unger, P. M. Dietrich, A. Holländer: *Innovative and Established Strategies for the Surface Analysis of Nitrogen and Oxygen-Rich Plasma Polymer Films by XPS: An Introductory Guide*, Plasma Process. Polym. 12/9, pp. 953–967 (2015)
- M. Hahn**, A. Lieske: *Biokunststoffe: Erweitertes Marktpotenzial für PLA*, Kunststoffe 4/2015, pp. 100–103 (2015)
- A. Holländer**, S. Amberg-Schwab, O. Miesbauer, K. Noller: *Process control for thin organic coatings using fluorescence dyes*, Progress in Organic Coatings 88, pp. 71–74 (2015)
- K. R. Idzik**, P. J. Cywiński, W. Kuznik, J. Frydel, T. Licha, T. Ratajczyk: *The optical properties and quantum chemical calculations of thienyl and furyl derivatives of pyrene*, Phys. Chem. Chem. Phys. 17, pp. 22758–22769 (2015)
- C. Ippen**, B. Schneider, C. Pries, S. Kröpke, T. Greco, A. Holländer: *Large-scale synthesis of high quality InP quantum dots in a continuous flow-reactor under supercritical conditions*, Nanotechnology 26/8, 085604 (2015)
- C. Ippen**, T. Greco, Y. Kim, C. Pries, J. Kim, M. S. Oh, C. J. Han, A. Wedel: *Color tuning of indium phosphide quantum dots for cadmium-free quantum dot light-emitting devices with high efficiency and color saturation*, Journal of the Society for Information Display 23, pp. 285–293 (2015)
- I. Jang**, J. Kim, C. Ippen, T. Greco, M. S. Oh, J. Lee, W. K. Kim, A. Wedel, C. J. Han, S. K. Park: *Inverted InP quantum dot light-emitting diodes using low-temperature solution-processed metal-oxide as an electron transport layer*, Jpn. J. Appl. Phys. 54/2S, 02BC01, pp. 1347–4065 (2015)
- I. Jang**, J. Kim, C. J. Park, C. Ippen, T. Greco, M. S. Oh, J. Lee, W. K. Kim, A. Wedel, C. J. Han, S. K. Park: *Study of ethanolamine surface treatment on the metal-oxide electron transport layer in inverted InP quantum dot light-emitting diodes*, Electronic Materials Letters 11, pp. 1066–1071 (2015)
- A. Jeżewski**, T. Hammann, P. J. Cywiński, D. T. Gryko: *Optical Behavior of Substituted 4-(2'-Hydroxyphenyl)imidazoles*, J. Phys. Chem. B 119, pp. 2507–2514 (2015)
- G. Jutz**, P. van Rijn, B. Santos De Miranda, A. Böker: *Ferritin: A Versatile Building Block for Bionanotechnology*, Chem. Rev. 115, pp. 1653–1701 (2015)
- C. Kathrein**, W. Bai, J. Currihan, G. Lontos, K. Ntetsikas, A. Avgeropoulos, A. Böker, L. Tsarkova, C. Ross: *Combining Graphoepitaxy and Electric Fields towards Uniaxial Alignment of Solvent-Annealed Poly(styrene)-b-poly(dimethylsiloxane) Block Copolymers*, Chem. Mater. 27, p. 6890 (2015)
- C. Kathrein**, W. K. Kipnusu, F. Kremer, A. Böker: *Birefringence Analysis of the Effect of Electric Fields on the Order-Disorder Transition Temperature of Lamellae Forming Block Copolymers*, Macromolecules 48, pp. 3354–3359 (2015)
- F. Kenfack**, M. Bauer: *Innovative Phase Change Material (PCM) for heat storage for industrial applications*, Energy Procedia 46, pp. 310–316 (2015)
- Y. Kim**, C. Ippen, B. Fischer, A. Lange, A. Wedel: *Efficiency enhancement of InP-based inverted QD-LEDs by incorporation of a polyethylenimine modified Al:ZnO layer*, Journal of the Society for Information Display 23, pp. 377–383 (2015)

A. Latnikova, D. Grigoriev, H. Möhwald, D. Shchukin: *Microgel containers for self-healing polymeric materials: Morphology prediction and mechanism of formation*, *Polymer* 73, pp. 183–194 (2015)

A. Latnikova, A. Yildirim: *Thermally induced release from polymeric microparticles with liquid core: the mechanism*, *Soft Matter* 11, pp. 2008–2017 (2015)

M. W. Laughton, J. Storsberg, C. Schmidt: *Where do we stand on Organ Printing?*, *J Can Epi Treat* 1/1, pp. 2–3 (2015)

J. Lazar, H. Park, R. R. Rosencrantz, A. Böker, L. Elling, U. Schnakenberg: *Evaluating the Thickness of Multivalent Glycopolymer Brushes for Lectin Binding*, *Macromol. Rapid Commun.* 36, pp. 1472–1478 (2015)

F. R. P. Limberg, A. Miasojedovas, P. Pingel, F. Reisbeck, S. Janietz, A. P. Monkman, H. Krüger: *Hole-transporting side-chain polystyrenes based on TCTA with tuned glass transition and optimized electronic properties*, *RSC Adv.* 5, pp. 83122–83128 (2015)

X. Lin, Y. Sun, E. V. Shevchenko, S. K. R. S. Sankaranarayanan, D. John, I. Fedin, F. Bresme, H. Möhwald, P. Moriarty, C. M. Sorensen, B. M. Law: *Highlights of the Faraday Discussion on Nanoparticle Synthesis and Assembly*, *Argonne (USA)*, 4/2015, *Chem. Commun.* 5, pp. 13725–13730 (2015)

C. Liedel, C. Lewin, L. A. Tsarkova, A. Böker: *Reversible Switching of Block Copolymer Nanopatterns by Orthogonal Electric Fields*, *Small* 11/45, pp. 6058–6064 (2015)

V. Lisinetskii, A. Ryabchun, A. Bobrovsky, S. Schrader: *Photochromic Composite for Random Lasing Based on Porous Polypropylene Infiltrated with Azobenzene-Containing Liquid Crystalline Mixture*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 7/48, pp. 26595–26602 (2015)

P. Malo de Molina, F. Ihlefeldt, S. Prevost, C. Herfurth, M.-S. Appavou, A. Laschewsky, M. Gradzielski: *Phase Behavior of Nonionic Microemulsions with Multi End-capped Polymers and its Relation to the Mesoscopic Structure*, *Langmuir* 31/18, pp. 5198–5209 (2015)

O. Mergel, P. Wünnemann, U. Simon, A. Böker, F. Plamper: *Microgel Size Modulation by Electrochemical Switching*, *Chem. Mater.* 27, pp. 7309 (2015)

E. Mitzner, A. Gomoll, F. Reiche, A. Lieske: *Stereoblock-PLA: Lab gimmick or competitive addition to the market*, *Bioplastics Magazine* 10, pp. 42–44 (2015)

F. Morgner, A. Lecointre, L. J. Charbonnière, H.-G. Löhmansröben: *Detecting free hemoglobin in blood plasma and serum with luminescent terbium complexes*, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 17, pp. 1740–1745 (2015)

R. Nazir, T. T. Meiling, P. J. Cywiński, D. T. Gryko: *Synthesis and Optical Properties of α,β -Unsaturated Ketones Bearing a Benzofuran Moiety*, *Asian Journal of Organic Chemistry* 4, pp. 929–935 (2015)

L. Olejko, P. J. Cywinski, I. Bald: *Ion-Selective Formation of a Guanine Quadruplex on DNA Origami Structures*, *Angewandte Chemie International Edition* 54, pp. 673–677 (2015)

H. Park, R. R. Rosencrantz, L. Elling, A. Böker: *Glycopolymer Brushes for Specific Lectin Binding by Controlled Multivalent Presentation of N-acetylglucosamine Glycan Oligomers*, *Macromol. Rapid Commun.* 36, pp. 45–54 (2015)

B.-R. Paulke, F. Börner, M. Hahn, M. Jobmann, S. Englich, M. Gehde, H. Michael: *Zäh-modifizierte Duroplaste mittels Phasen-kompatibilisierender, Aminoharz-ummantelter Latex-Partikel*, *Chem. Ing. Tech.* 87, pp. 1–7 (2015)

C. Pester, K. Schmidt, M. Ruppel, H. G. Schoberth, A. Böker: *Electric Field-Induced Order-Order Transition from Hexagonally Perforated Lamellae to Lamellae*, *Macromolecules* 48, pp. 6209–6213 (2015)

A. Potthast, S. Radosta, B. Saake, S. Lebioda, T. Heinze, U. Henniges, A. Isogai, A. Koschella, P. Kosma, T. Rosenau, S. Schiehser, H. Sixta, M. Strlič, G. Strobin, W. Vorwerg, H. Wetzel: *Comparison testing of methods for gel permeation chromatography of cellulose: coming closer to a standard protocol*, *Cellulose* 22, pp. 1591–1613 (2015)

M. Reza, J. Mumme, A. Ebert: *Characterization of hydrochar obtained from hydrothermal carbonization of wheat straw digestate*, *Biomass Conversion and Biorefinery* 1, pp. 1–11 (2015)

E. Reis Simas, E. S. H. Kang, A. Gassmann, E. Katholing, S. Janietz, H. von Seggern: *Cross-linkable random copolymers as dielectrics for low-voltage organic field-effect transistors*, *J. Mater. Chem. C* 3, pp. 9217–9223 (2015)

P. van Rijn, L. S. van Bezouwen, R. Fischer, E. J. Boekema, A. Böker, U. Commandeur: *Virus-SiO₂ and Virus-SiO₂-Au Hybrid Particles with Tunable Morphology*, *Part. Part. Syst. Charact.* 32, pp. 43–47 (2015)

A. Ryabchun, A. Bobrovsky, Yu. Gritsai, O. Sakhno, V. Shibaev, J. Stumpe: *Stable Selective Gratings in LC Polymer by Photo-induced Helix Pitch Modulation*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 7, pp. 2554–2560 (2015), 1944–8244

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

- A. Ryabchun**, A. Bobrovsky, J. Stumpe, V. Shibaev: *Electroinduced Diffraction Gratings in Cholesteric Polymer with Phototunable Helix Pitch*, *Adv. Optical Mater.* 3, pp. 1462–1469 (2015)
- A. Ryabchun**, A. Bobrovsky, J. Stumpe, V. Shibaev: *Rotatable Diffraction Gratings Based on Cholesteric Liquid Crystals with Phototunable Helix Pitch*, *Adv. Optical Mater.* 3, pp. 1273–1279 (2015)
- O. Sakhno**: *Electrically Switchable Diffractive Optical Elements Based on Polymer Liquid Crystal Composites*, *Photonics in Germany 2015*, p. 68 (2015)
- M. Sborikas**, J. L. Ealo, M. Wegener: *Piezoelectric cellular PP films with enhanced performance for low frequency ultrasound*, *Sensors and Actuators A: Physical* 225, pp. 41–46 (2015)
- C. Schmidt**, J. Storsberg: *Nanomaterials-Tools, Technology and Methodology of Nanotechnology Based Biomedical Systems for Diagnostics and Therapy*, *Biomedicine* 3/3, ISSN 2227–9059, pp. 203–223 (2015)
- S. Stenzel**, M. Meyer, J. Bohrisch: *Enhancing ssDNA stability at acidic pH by encapsulation for the usage as DNA marking system*, *J. Appl. Pol. Sc.* 132, pp. 41754–41760 (2015)
- S. Stenzel**, J. Bohrisch, M. Päch, M. Meyer: *A new marking system for leather based on encapsulated DNA*, *J. Am. Leather Chem. Assoc.* 110/9, pp. 277–287 (2015)
- J. Storsberg**, C. Schmidt: *The Risk Associated with Corneal Transplantation from Donors with Cancer: Worth the Gamble?*, *J Can Epi Treat* 1/1, p. 1 (2015)
- J. Storsberg**, S. Träg, A. Messner, S. Rehfeldt, S. Klöpzig, V. Jentzen, J. Bohrisch, S. Schmidt: *Non-antagonistic influences of intrastromal corneal ring on primary human microvascular endothelial cells from adult donors in a tissue culture system*, *Acta Ophthalmologica* 93, n/a, doi: 10.1111/j. (2015)
- M. Tasior**, I. Bald, I. Deperasińska, P. J. Cywiński, D. T. Gryko: *An internal charge transfer-dependent solvent effect in V-shaped azacyanines*, *Organic & Biomolecular Chemistry* 48, pp. 11714–11720 (2015)
- D. Triantou**, S. Soulis, S. Janietz: *Synthesis of thiophene-based copolymers for application in dual layer ECDs*, *IJSET* 2/9, ISSN 2348–7968, pp. 902–912 (2015)
- D. Triantou**, C. S. Asaftei, S. Soulis, A. Skarmoutsou, E. Milioni, C. Charitidis, S. Janietz: *Synthesis and Characterization of Electrochromic Films Based on 2,5-Bis (2-(3,4-ethylenedioxy)thienyl)pyridine*, *Int. J. Electrochem. Sci.* 10, pp. 1274–1291 (2015)
- D. Triantou**, S. Soulis, C. S. Asaftei, S. Janietz: *Effect of the acceptor moiety on the electrochemical and electrochromic properties of Donor-Acceptor-Donor polymer films*, *Int. J. Electrochem. Sci.* 10, pp. 3458–3477 (2015)
- M. K. Węclawski**, T. T. Meiling, A. Leniak, P. J. Cywiński, D. T. Gryko: *Planar, Fluorescent Push-Pull System That Comprises Benzofuran and Iminocoumarin Moieties*, *Org. Lett.* 17, pp. 4252–4255 (2015)
- H. Winkler**, W. Vorwerg, M. Schmid: *Synthesis of hydrophobic whey protein isolate by acylation with fatty acids*, *European Polymer Journal* 62, pp. 10–18 (2015)
- L. Wu**, U. Glebe, A. Boeker: *Surface-initiated controlled radical polymerizations from silica nanoparticles, gold nanocrystals and bionanoparticles*, *Polymer Chemistry* 6, pp. 5143–5184 (2015)
- Y. Yao**, E. Metwalli, B. Su, V. Körstgens, D. Moseguí-González, A. Miasnikova, A. Laschewsky, M. Opel, G. Santoro, S. Roth, P. Müller-Buschbaum: *Arrangement of maghemite nanoparticles via wet chemical self-assembly in PS-*b*-PNIPAM diblock copolymer films*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 7, pp. 13080–13091 (2015)
- F. Yokaichiya**, M. Kazuyo Kobayashi Dias Franco, T. Rodrigues, D. Ribeiro de Araujo, J. Storsberg, C. Schmidt: *Shed a Light in the Darkness: Technology against Cancer*, *J Can Epi Treat* 1/1, pp. 4–5 (2015)
- S. Zarmas-Röhl**, A. Liekfeld, U. Schröter, O. Mauger, J. Storsberg: *Operationserfolg nach Kanalooplastik – ist die Fadenspannung entscheidend?*, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 232/S 01, KV 31, doi: 10.1055/s-0035-1569185 (2015)
- M. Zellmeier**, J. Rappich, M. Klaus, Ch. Genzel, S. Janietz, J. Frisch, N. Koch, N. H. Nickel: *Side chain engineering of poly-thiophene and its impact on crystalline silicon based hybrid solar cells*, *App. Phys. Lett.* 107, p. 203301 (2015)
- M. Zerbali**, A. Laschewsky, R. von Klitzing: *Swelling of Polyelectrolyte Multilayers: The Relation Between Surface and Bulk Characteristics*, *J. Phys. Chem. B* 119, pp. 11879–11886 (2015)
- Q. Zhong**, E. Metwalli, M. Rawolle, G. Kaune, A. M. Bivigou-Koumba, A. Laschewsky, C. M. Papadakis, R. Cubitt, P. Müller-Buschbaum: *Rehydration of Thermoresponsive Poly(monomethoxydiethylene glycol acrylate) Films Probed in-situ by Real-Time Neutron Reflectivity*, *Macromolecules* 48, pp. 3604–3612 (2015)

ANFAHRT

HOW TO REACH US

Anreise mit Bus/Bahn/ Flugzeug

ab Berlin Hauptbahnhof oder Berlin Zoologischer Garten

- Regionalbahnen RB 21 oder RB 22 direkt bis Potsdam, Bahnhof Golm
- Regionalexpress RE 1 bis Potsdam Hbf

ab Potsdam Hauptbahnhof

- Busse 605 oder 606 bis Wissenschaftspark Golm
- Regionalbahnen RB 20, RB 21, RB 22 bis Potsdam, Bahnhof Golm

vom Flughafen Berlin–Schönefeld

- Regionalbahn RB 22 direkt nach Potsdam, Bahnhof Golm

vom Flughafen Berlin–Tegel

- Busse X9 oder 109 bis Berlin Zoologischer Garten
- Regionalbahnen RB 21 oder RB 22 bis Potsdam, Bahnhof Golm

Vom Bahnhof Golm ca. 10 Minuten Fußweg. Der Straße »Am Mühlberg« in Richtung Wissenschaftspark Potsdam-Golm folgen.

Arriving by bus/train/plane

from Berlin's main station or Berlin Zoologischer Garten

- take the regional trains RB 21 or RB 22 directly to Golm
- take the regional express RE 1 to Potsdam's main station

from Potsdam's main station

- take buses 605 or 606 to Wissenschaftspark Golm
- take the regional trains RB 20, RB 21 or RB 22 to Golm

from the Berlin–Schönefeld Airport

- take the regional train RB 22 directly to Golm

from the Berlin–Tegel Airport

- take buses X9 or 109 to Berlin Zoologischer Garten
- from here take the regional trains RB 21 or RB 22 to Golm

It is about a 10 minute walk from the Golm train station to the Fraunhofer IAP (heading in the direction of Wissenschaftspark Potsdam-Golm).

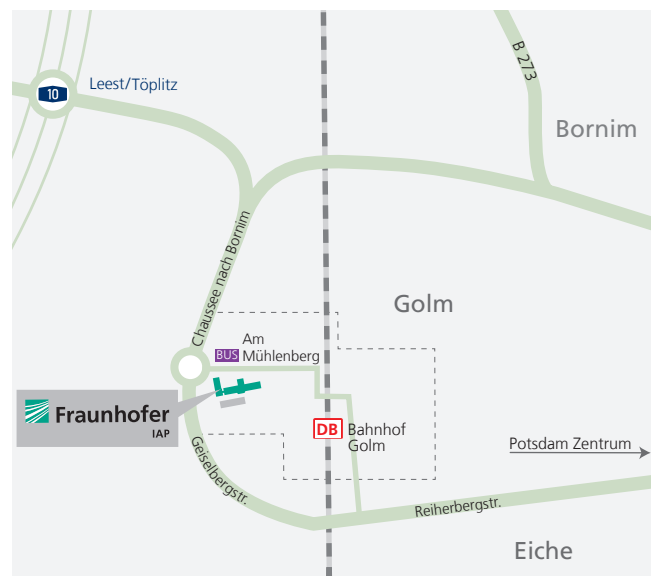
Anreise mit dem Auto

- Autobahn A10 (Berliner Ring), Ausfahrt Leest/Töplitz (nördlich des Autobahndreiecks Werder)
- weiter Richtung Potsdam, am Ende der Wublitzstraße rechts abbiegen in Richtung Golm, am Kreisverkehr geradeaus
- Parkplätze des Fraunhofer IAP an der ersten Einfahrt links

Arriving by car

- on the A10 freeway (Berliner Ring) take the exit labeled Leest/Töplitz (north of the Werder junction)
- head towards Potsdam, at the end of Wublitzstraße turn right towards Golm, drive straight on at the roundabout
- the parking lots of the Fraunhofer IAP are the first driveway on the left

Übersichtskarte Potsdam-Golm Outline map Potsdam-Golm



STANDORTE LOCATIONS



Hauptsitz Potsdam-Golm
Headquarter Potsdam-Golm

Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam

Telefon +49 331 568-1000
Telefax +49 331 568-3000



**»Chromogene Polymere«
Berlin-Adlershof**
"Chromogenic polymers"
Berlin-Adlershof

Volmerstraße 7B
12489 Berlin-Adlershof

Telefon +49 30 6392-4258
Telefax +49 30 6392-2065



**Pilotanlagenzentrum PAZ
Schkopau**
Pilot Plant Center PAZ
Schkopau

Value Park A 74
06258 Schkopau

Telefon +49 3461 2598-120
Telefax +49 3461 2598-105



**Verarbeitungstechnikum
Biopolymere Schwarzheide**
Processing Pilot Plant for
Biopolymers Schwarzheide

Schickpauerstraße 1 Haus A754
01987 Schwarzheide

Telefon +49 331 568-3403
Telefax +49 35752 6-3170



**Polymermaterialien und
Composite PYCO Teltow**
Polymeric Materials and
Composites PYCO Teltow

Kantstraße 55
14513 Teltow

Telefon +49 3328 330-280
Telefax +49 3328 330-282



**Polymermaterialien und
Composite PYCO Wildau**
Polymeric Materials and
Composites PYCO Wildau

Technikum 1 | Freiheitstraße 124–126
Technikum 2 | Schmiedestraße 5
15745 Wildau

Telefon +49 3375 528 823-00

Impressum

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Angewandte
Polymerforschung IAP
Strategie & Marketing

Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam-Golm

Telefon +49 331 568-1000
Fax +49 331 568-3000
E-Mail info@iap.fraunhofer.de
Internet www.iap.fraunhofer.de

Redaktion

Kathrin Begemann M. A.

Übersetzung

able Sprachschule GbR

Satz und Gestaltung

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber, Dipl.-Des. (FH) Astrid Dohms

Covergestaltung

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber, Dipl.-Des. (FH) Astrid Dohms

Druck

Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Bildquellen

Seiten 8 (links), 9 (unten rechts), 27, 29, 41, 43, 50, 51, 55, 57, 67,
69, 83, 93, 95, 105, 106 (Mitte), 134 (oben links)
Till Budde

Seiten 13 (oben), 134 (oben rechts)
Alexander Krause

Seite 134 (unten links)
Steffen Rasche

Seite 13 (unten)
Markus Scholz

Seite 5
Manuela Zydor

Portraitfotos
Seiten 10, 11 (Dr. Seeboth, Dr. Wegener): Till Budde
Seite 11 (Dr. Wendler): privat
Seite 11 (T. Büsse): Ron Marzok
Seiten 10, 15, 99 (Dr. Dreyer): Studioline Photography (Wildau)

Alle weiteren Portraits: Manuela Zydor

Cover
Fotos: Till Budde

Fotos, wenn nicht anders angegeben,
vom Fraunhofer IAP.

Editorial notes

Address of the editorial office

Fraunhofer Institute for Applied
Polymer Research IAP
Strategy & Marketing

Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam-Golm
Germany

Phone +49 331 568-1000
Fax +49 331 568-3000
E-mail info@iap.fraunhofer.de
Internet www.iap.fraunhofer.com

Editorial team

Kathrin Begemann M. A.

Translation

able Sprachschule GbR

Layout

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber, Dipl.-Des. (FH) Astrid Dohms

Cover design

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber, Dipl.-Des. (FH) Astrid Dohms

Printing house

Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Photo acknowledgments

Pages 8 (left), 9 (bottom right), 27, 29, 41, 43, 50, 51, 55, 57, 67, 69,
83, 93, 95, 105, 106 (center), 134 (top left)
Till Budde

Pages 13 (top), 134 (top right)
Alexander Krause

Page 134 (bottom left)
Steffen Rasche

Page 13 (bottom)
Markus Scholz

Page 5
Manuela Zydor

Portrait photos
Pages 10, 11 (Dr. Seeboth, Dr. Wegener): Till Budde
Page 11 (Dr. Wendler): privat
Page 11 (T. Büsse): Ron Marzok
Pages 10, 15, 99 (Dr. Dreyer): Studioline Photography (Wildau)

Other portrait photos by Manuela Zydor

Cover
Photos: Till Budde

Photos by Fraunhofer IAP unless otherwise indicated.