



Fraunhofer

IAP

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



2016

JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT



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

INHALTSVERZEICHNIS

CONTENTS

Vorwort | 4
Preface

6

DAS INSTITUT **THE INSTITUTE**

Neues Fraunhofer-Konferenzzentrum | 8
New Fraunhofer Conference Center
Das Fraunhofer IAP im Überblick | 10
The Fraunhofer IAP at a glance
Unsere Kompetenzen | 12
Our competences
Organisation | 14
Organization
Das Institut in Zahlen | 16
The institute in figures
Kuratorium | 18
Advisory board
Rückblick 2016 | 20
Review 2016
Die Fraunhofer-Gesellschaft | 22
The Fraunhofer-Gesellschaft
Fraunhofer-Verbund MATERIALS | 24
Fraunhofer Group MATERIALS

28

BIOPOLYMERE **BIOPOLYMERS**

Neue Produkte aus
nachwachsenden Rohstoffen | 30
New products made from
renewable raw materials
Anwendungen und Dienstleistungen | 34
Applications and services
Nanoskalige Ligninpartikel für die Herstellung
holzfaserverstärkter Schaumstoffe | 38
Lignin nanoparticles used to produce wood
fiber-reinforced foams
Modifizierte Stärke für den Korrosionsschutz
von Metallen | 40
Modified starch for the corrosion protection
of metals

42

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

Funktionswerkstoffe und Technologien | 44
Functional materials and technologies
Anwendungen und Dienstleistungen | 48
Applications and services
Wasserdispergierbare cadmiumfreie Quanten-
punkte für bioanalytische Anwendungen | 52
Water dispersible cadmium free quantum dots
for bioanalytical applications
Extrem stabile Glasverbünde
durch elektrochromes Gießharz | 54
Extremely stable panes by an electrochromic
casting resin

56

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

Material- und Prozessentwicklung | 58
Material and process development
Anwendungen und Dienstleistungen | 62
Applications and services
Wirkstoff-Formulierungen und Trägersysteme
für innovative Nahrungsergänzungsmittel | 66
Drug formulations and carrier systems for
innovative food supplement products
Neue Vernetzungskonzepte für Weißleime | 68
New cross-linking concepts for white glues

70

LIFE SCIENCE UND BIOPROZESSE LIFE SCIENCE AND BIOPROCESSES

Life Science und Bioprozesse | 72

Life Science and Bioprocesses

Anwendungen und Dienstleistungen | 74

Applications and services

Verbesserung der oralen Bioverfügbarkeit von
wasserlöslichen Medikamenten | 78

Improving the oral bioavailability of
water soluble drugs

Glykopolymere – Vielseitigkeit der Natur in
biofunktionellen Polymeren | 80

Glycopolymers – nature's diversity in biofunctional
polymers

92

POLYMERMATERIALIEN 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

UV-LED-härtbare Composite für
Leichtbauanwendungen | 100

UV-LED curing of thermoset-based composites

Beschichtungen zur Ausrüstung textiler

Bewehrungsstrukturen für den Carbonbetonbau | 102

Coatings for textile reinforcements in carbon concrete

82

PILOTANLAGENZENTRUM 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

Polyisopren mit einheitlicher Mikrostruktur für
Reifenanwendungen | 90

Polyisoprene with uniform microstructure for tire
applications

104

FAKTEN, PUBLIKATIONEN, STANDORTE

FACTS, PUBLICATIONS, LOCATIONS

Ausstattung | 106

Equipment

Zusammenarbeit | 112

Collaboration

Patente | 120

Patents

Publikationen | 124

Publications

Anfahrt | 132

How to reach us

Standorte | 133

Locations

VORWORT

PREFACE

Nach einem ereignisreichen Jahr 2016 freue ich mich, Ihnen den Jahresbericht des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP präsentieren zu können.

Das Jahr begann mit der Integration der ehemaligen Fraunhofer-Einrichtung für Polymermaterialien und Composite PYCO in das Fraunhofer IAP. Mit den Standorten Teltow und Wildau ist PYCO unser sechster Forschungsbereich geworden. Das Synergiepotenzial zwischen unserem Bestandsinstitut und dem neuen Forschungsbereich ist beträchtlich. Somit konnten wir unsere Kompetenzen auf dem Gebiet der Materialentwicklung für den Leichtbau entscheidend ausbauen. Die Hebung dieser Potenziale wird in erheblichem Umfang durch Landesmittel im Rahmen der StaF- und WTT-Richtlinien sowie mit komplementären projektgebundenen »Matching Funds«-Mitteln des Fraunhofer-Vorstands unterstützt. Parallel laufen zudem die Planungen für den Neubau eines Labor- und Bürogebäudes in Wildau mit EFRE-Mitteln des Landes Brandenburg und ergänzender Unterstützung durch das BMBF, womit mittelfristig alle PYCO-Aktivitäten an einem Ort zusammengefasst werden können. Kommissarischer Leiter des neuen Forschungsbereichs ist Dr. Christian Dreyer. Eine engere Zusammenarbeit mit der TH-Wildau und der BTU Cottbus-Senftenberg wird zurzeit im Rahmen gemeinsamer Ausschreibungen vorangetrieben.

Ende 2015 startete im Fraunhofer IAP ein turnusgemäßer Strategieprozess. Basierend auf einer Reihe von internen Workshops wurden Kernkompetenzen und Geschäftsfelder neu bewertet, an aktuelle Entwicklungen angepasst und strategische Ziele und Roadmaps zu deren Erreichung definiert. Im Ergebnis entstand der Strategieplan 2016–2021, der in einem zweitägigen Audit vor externen Gutachtern aus Industrie, Forschungseinrichtungen und Hochschulen sehr positiv bewertet wurde. In den Folgejahren werden wir im Rahmen eines Nachfolgeprozesses den Strategieplan konsequent umsetzen und weiterentwickeln.

Für das Leistungszentrum »Integration biologischer und physikalisch-chemischer Materialfunktionen« bewilligte der Fraunhofer-Vorstand Ende 2016 eine Förderung. Koordiniert wird die Netzwerkinitiative von den Fraunhofer-Instituten IAP und IZI-BB. Die Universität Potsdam fungiert als Ankeruniversität. Das Leistungszentrum wird maßgeblich vom Land Brandenburg

(MWFK und MWE) mit EFRE-Projekt-Mitteln vor allem im Rahmen der Programme StaF und ProFIT unterstützt. Hier liegen inzwischen Bewilligungen von Projektmitteln in Höhe von mehr als 4,5 Millionen Euro vor. Weitere Förderanträge befinden sich in der Begutachtung. Das Leistungszentrum bildet dabei auch eines der strategischen Hauptziele des Fraunhofer IAP. Inhaltlich zielt das Leistungszentrum auf die Kombination von Struktur- und Funktionsmaterialien für neue Produkte und deren Produktionsverfahren. Beispiele hierfür sind Lab-on-a-Chip-Module für die Medizin, Smartcards für die Sicherheitswirtschaft und in Leichtbaucomposites integrierte Sensoren. Die Initiative erfährt auch eine starke Unterstützung durch auf dem Gebiet tätige Unternehmen, so dass inzwischen 30 entsprechende »Letter of Intent« vorliegen. In der weiteren Entwicklung soll das Leistungszentrum das Thema Funktionsintegration vor allem in der Hauptstadtregion voranbringen. Dazu sind strategische Abstimmungen mit Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen in der Region geplant, wobei gemeinsame Beantragungen großer öffentlich ausgeschriebener Projekte eine wichtige Rolle spielen können.

Als weiterer Höhepunkt wurde am 23. Juni 2016 das Fraunhofer-Konferenzzentrum im Beisein von Brandenburgs Wissenschaftsministerin Dr. Martina Münch, des Fraunhofer-Vorstands Professor Georg Rosenfeld und des Präsidenten der Universität Potsdam Professor Oliver Günther eröffnet. Betrieben wird das Gebäude gemeinsam mit dem Fraunhofer IZI-BB. Es bietet optimale Voraussetzungen für Veranstaltungen mit bis zu 200 Teilnehmern, steht für Tagungen, Workshops und Netzwerktreffen zur Verfügung und wird auch bereits gut genutzt.

Das Fraunhofer IAP konnte auch 2016 seine erfolgreiche wirtschaftliche und wissenschaftliche Entwicklung fortsetzen und befindet sich auf einem guten Weg. Ich bedanke mich herzlich bei allen, die zu dieser Entwicklung beigetragen haben, zuallererst bei unseren Industriepartnern und öffentlichen Auftraggebern für ihr Vertrauen, aber auch bei den Mitgliedern des Kuratoriums für die Begleitung unserer Aktivitäten. Schließlich danke ich den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer IAP für ihren Einsatz und ihre kreativen Beiträge, die die Erfolgsgrundlage des Instituts darstellen.



After an eventful year in 2016, I am pleased to present to you the annual report of the Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP.

The year began with the integration of the former Fraunhofer Research Institution for Polymeric Materials and Composites PYCO, into the Fraunhofer IAP. PYCO became our sixth research division and has sites in Teltow and Wildau. The significant potential for synergy between our institute and the new research division enables us to decisively expand our expertise in developing materials for light-weight engineering. There is considerable support for the tapping of these potentials in the form of state funding within the framework of the StaF and WTT guidelines, and complementary, project-linked "matching funds" from the executive board of the Fraunhofer Institute. At the same time, plans are underway for the construction of a new laboratory and office building in Wildau using EFRE funds from the State of Brandenburg and supplemental support from the BMBF Federal Ministry of Education and Research. This will allow all PYCO activities to be concentrated at one location in the medium term. The acting head of the new research division is Dr. Christian Dreyer. Our close collaboration with the Technical University of Applied Sciences Wildau and the Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg is currently being driven forward in the form of joint calls for professorships.

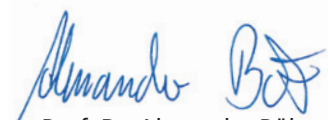
A routine strategy process was started at the Fraunhofer IAP at the end of 2015. Based on a series of internal workshops, core competencies and business areas were reassessed, adapted to current developments, and strategic goals and roadmaps were defined. The result was a strategy plan for 2016–2021 that received a very positive feedback from industry, research institutions and universities during a two-day audit. In the coming years we will implement and further develop this strategy plan as part of a follow-up process.

At the end of 2016 the Fraunhofer executive board approved funding for the High Performance Center "Integration of biological and physical-chemical material functions". The network initiative is coordinated by the Fraunhofer Institutes IAP and IZI-BB. The University of Potsdam functions as the anchor university.

The High Performance Center receives significant support from the State of Brandenburg (MWFK and MWE) through EFRE project funds, primarily within the framework of the StaF and ProFIT programs. So far more than 4.5 million euros have been approved for projects. Further funding applications are currently being assessed. The Center forms one of the main strategic goals of the Fraunhofer IAP. The Center's objective is to combine structural and functional materials to achieve new products and production processes. Examples include lab-on-a-chip modules for medical applications, smartcards for the security industry and sensors that are integrated into light-weight composites. The initiative also receives strong support from companies active in these areas, and 30 letters of intent have already been drawn up. As it is developed further, the High Performance Center will promote the topic of functional integration, particularly in the region of the nation's capital. Strategic agreements with companies, research institutions and universities in the region are planned, with joint applications for projects put out for public tender playing an important role.

Another highlight was the opening of the Fraunhofer Conference Center on June 23, 2016. Brandenburg's minister of science, research and culture Dr. Martina Münch, Fraunhofer's executive vice president, Professor Georg Rosenfeld and the president of the University of Potsdam, Professor Oliver Günther were in attendance. The building is being jointly operated with the Fraunhofer IZI-BB. It offers ideal conditions for events with up to 200 participants; is available for conferences, workshops and networking meetings; and is already well utilized.

The Fraunhofer IAP was also able to continue its successful economic and scientific development in 2016 and is currently on a good path forward. I would like to warmly thank everyone who has contributed to this development, above all our industry partners and public-sector clients for placing their trust in us, and the members of the advisory board for supporting our activities. Finally, I would like to thank the employees of the Fraunhofer IAP for their hard work and creativity which form the foundation of the Institute's success.


Prof. Dr. Alexander Böker

DAS INSTITUT

THE INSTITUTE

- 8** **Neues Fraunhofer-Konferenzzentrum**
New Fraunhofer Conference Center
- 10** **Das Fraunhofer IAP im Überblick**
The Fraunhofer IAP at a glance
- 12** **Unsere Kompetenzen**
Our competences
- 14** **Organisation**
Organization
- 16** **Das Institut in Zahlen**
The institute in figures
- 18** **Kuratorium**
Advisory board
- 22** **Die Fraunhofer-Gesellschaft**
The Fraunhofer-Gesellschaft
- 24** **Fraunhofer-Verbund MATERIALS**
Fraunhofer Group MATERIALS



pioneers in polymers



NEUES FRAUNHOFER-KONFERENZZENTRUM NEW FRAUNHOFER CONFERENCE CENTER

Am 23. Juni 2016 wurde das Fraunhofer-Konferenzzentrum im Beisein von Brandenburgs Wissenschaftsministerin Dr. Martina Münch, des Fraunhofer-Vorstands Professor Georg Rosenfeld und des Präsidenten der Universität Potsdam Professor Oliver Günther eröffnet.

Zum Festakt mit anschließendem Vortragsprogramm zum Thema Funktionsintegration kamen rund 80 Teilnehmer aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft sowie zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der beiden Fraunhofer-Institute IAP und IZI-BB und des Wissenschaftsparks Potsdam-Golm.

Das neue Gebäude bietet optimale Voraussetzungen für Veranstaltungen mit bis zu 200 Teilnehmern und steht für Tagungen, Workshops und Netzwerktreffen zur Verfügung.

Mit der erfolgreichen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP im Wissenschaftspark Potsdam-Golm war auch der Raumbedarf für interne Veranstaltungen sowie für nationale und internationale Tagungen gewachsen.

Das Konferenzzentrum steht dabei nicht nur Fraunhofer und den Nachbarinstituten auf dem Campus zur Verfügung. Auch andere wissenschaftliche Einrichtungen können die Räumlichkeiten nutzen.

In rund eineinhalb Jahren Bauzeit entstand Dank des finanziellen Engagements des Bundes und des Landes Brandenburg für rund 3,6 Millionen Euro das Konferenzzentrum als dritte Ausbaustufe des Fraunhofer IAP. Entworfen wurde es von der Architekten Schmidt-Schickel und Partner GmbH, die bereits das 2012 eröffnete Anwendungszentrum des Fraunhofer IAP geplant hatte. Das Gebäude wird gemeinsam mit dem Potsdamer Institutsteil des Fraunhofer-Instituts für Zelltherapie und Immunologie IZI-BB genutzt und ist mit modernster Konferenztechnik ausgestattet. Der 275 Quadratmeter große Konferenzraum ist teilbar und somit auch für zwei parallele Veranstaltungen geeignet.





On 23 June 2016 the Fraunhofer Conference Center was inaugurated in the presence of Brandenburg's Minister of Science, Research and Culture Dr. Martina Münch, Fraunhofer's executive vice president professor Georg Rosenfeld, and the president of the University of Potsdam professor Oliver Günther.

Around 80 attendees from science, politics and business joined the inauguration event, as well as numerous employees from the Fraunhofer Institutes IAP and IZI-BB and from the Science Park Potsdam-Golm. The opening speeches were followed by a lecture program on the topic of functional integration in polymer materials.

The new building is ideal for events with up to 200 participants and is available for conferences, workshops and network meetings.

The need for space for internal events and national and international conferences is growing thanks to the successful scientific and business developments at the Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP located at the Potsdam-Golm Science Park. The conference center can be used for events by Fraunhofer Institutes and neighboring institutes on campus, as well as by other scientific institutions.

With financial support from the federal government and the state of Brandenburg, the conference center was built at a cost of around 3.6 million euros as part of the third expansion phase of the Fraunhofer IAP. It was designed by the architects Schmidt-Schickel and Partner GmbH, who had designed the Fraunhofer IAP's Application Center which opened in 2012. The building, which is fitted with state-of-the-art conference technology, is shared with the division of the Fraunhofer Institute for Cell Therapy and Immunology IZI-BB located in Potsdam. The 275 square meters conference room can be divided into two and can, therefore, be used for two events simultaneously.



DAS FRAUNHOFER IAP IM ÜBERBLICK

THE FRAUNHOFER IAP AT A GLANCE

Das Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm bietet ein breites Spektrum an Forschungsleistungen rund um das Thema Polymere. Wir arbeiten daran, dass biobasierte und synthetische Polymere den wachsenden Anforderungen unserer Auftraggeber genügen. Die Endprodukte werden immer langlebiger, stabiler, säureresistenter, pflegeleichter, temperaturbeständiger, gesundheitsverträglicher, umweltfreundlicher, kostengünstiger, ... und immer energiesparender und einfacher in der Herstellung.

Wir entwickeln innovative und nachhaltige Materialien, Verfahren und Produkte, die speziell auf die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendung zugeschnitten sind und schaffen die Voraussetzungen dafür, dass die entwickelten Verfahren nicht nur im Labormaßstab, sondern auch unter Produktionsbedingungen funktionieren.

Anwendungsfelder

Kunststoffindustrie, Leichtbau, Luft- und Raumfahrt, Automotive, Elektronik, Optik, Sicherheitstechnik, Energietechnik, Textilindustrie, Verpackungs-, Umwelt- und Abwassertechnik, Papier-, Bau- und Lackindustrie, Medizin, Pharmazie, Kosmetik, Biotechnologie

Leistungen

Synthese und Modifizierung von Polymeren, Materialentwicklung, Polymerverarbeitung, Scale-up: bis in den Tonnenmaßstab, Prozessoptimierung, Technologie- und Verfahrensentwicklung, Oberflächenanalytik, Strukturcharakterisierung, Materialprüfung, Verwertung biogener Reststoffe, Biotechnologie, Beratung

Materialien

(Bio)Kunststoffe, faserverstärkte Composite, Elastomere, Thermoplaste, Thermosets, Leichtbauwerkstoffe, Harze, Kautschuk, optische und photosensitive Funktionsmaterialien, Quantum Dots, chromogene Polymere, polymere Oberflächen, funktionale Kolloide, Polymerdispersionen, Hydrogele, Tenside, Additive, Formgedächtnispolymere, biomedizinische Materialien, Funktionsproteine, proteinogene Materialien

Produkte

Fasern, biobasierte Carbonfasern, Folien, Nonwovens, Prepregs, gedruckte Elektronik, flexible OLEDs, flexible organische Solarzellen, Sensoren, Aktoren, polymerelektronische Bauelemente, Mikrokapseln, Membranen, künstliche Augenhornhaut, Implantate, Drug-delivery, Kosmetika, künstliche Blutgefäße (3D-Druck), Biosensoren





The Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm, Germany, offers a broad range of research on polymers.

We work on biobased and synthetic polymers that meet the growing demands of our partners.

The end products are becoming more durable and stable, more acid and heat resistant, easier to care for, healthier, more environmentally-friendly, more cost-effective ... as well as easier and more energy efficient to manufacture.

We develop innovative and sustainable materials, processes and products that are specifically tailored to the application's requirements. We also create conditions which ensure that the developed methods not only work on a laboratory scale, but also under production conditions.

Application fields

plastics industry, lightweight construction, aerospace, automotive, electronics, optics, security technology, energy technology, textile industry, packaging, environmental and waste water technology, paper, construction and paint industries, medicine, pharmacy, cosmetics, biotechnology

Services

synthesis and modification of polymers, material development, polymer processing, scale-up: up to ton scale, process optimization, technology and process development, surface analysis, structural characterization, material testing, utilization of biogenic residues, biotechnology, consulting

Materials

(bio)plastics, fiber-reinforced composites, elastomers, thermoplastics, thermosets, lightweight materials, resins, rubber, optical and photosensitive, functional materials, quantum dots, chromogenic polymers, polymeric surfaces, functional colloids, polymer dispersions, hydrogels, surfactants, functional proteins, proteinogenic materials

Products

fibers, biobased carbon fibers, films, nonwovens, prepregs, printed electronics, flexible OLEDs, flexible organic solar cells, sensors, actuators, polymeric electronic components, microcapsules, membranes, artificial cornea, drug delivery, cosmetics, artificial blood vessels (3D printing)

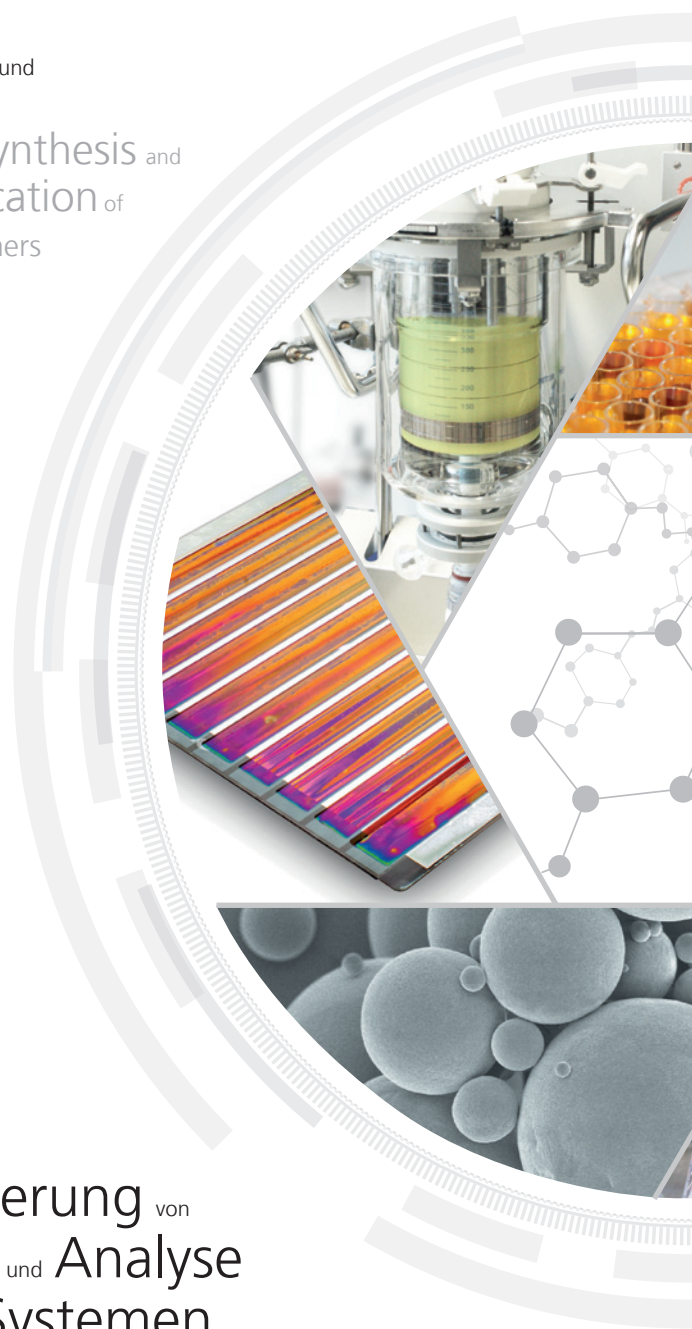
UNSERE KOMPETENZEN OUR COMPETENCES

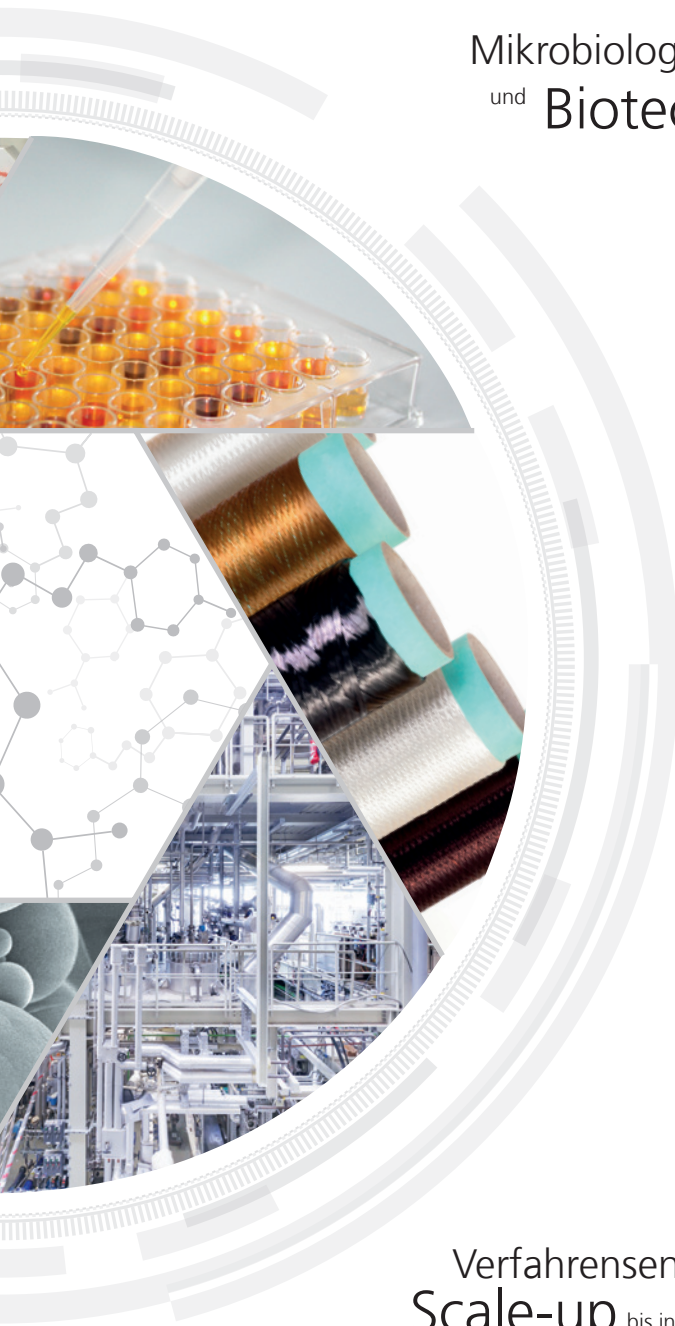
Synthese und
Modifizierung
von (Bio)Polymeren Synthesis and
Modification of
(Bio)Polymers

Druck- und
Dünnschicht-
technologien Printing
and Thin Film
Technologies

Funktionalisierung von
Functionalization of
Surfaces Oberflächen

Charakterisierung von
Materialien und Analyse
von Polymeren und partikulären Systemen
Characterization of Materials
and Analysis
of Polymers and Particulate Systems





Mikrobiologie
und **Biotechnologie** Microbiology and
Biotechnology

Nanotechnologie
und Selbstassemblierung
Nanotechnology
and Self-assembly

Verarbeitung
aus Lösung und
Schmelze **Processing**
from Solution and Melt

Verfahrensentwicklung und
Scale-up bis in den Tonnenmaßstab
Process Development
and **Scale-up** up to Ton Scale



ORGANISATION | ORGANIZATION

STAND MÄRZ 2017 | STATUS MARCH 2017

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 Prof. Dr. Johannes Ganster



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

Prof. Dr. Johannes Ganster

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



**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 (bis 6/2017)

Telefon +49 331 568-1609
waltraud.vorwerg@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. Christian Rabe

Telefon +49 331 568-2320
christian.rabe@iap.fraunhofer.de

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



**Formgedächtnispolymere |
Shape-Memory Polymers**

Dr. Thorsten Pretsch

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



**Mikroverkapselung/Partikel-
anwendungen | Microencapsula-
tion/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

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



**Funktionale Proteinsysteme/
Biotechnologie | Functional
Protein Systems/Biotechnology**

Prof. Dr. Alexander Böker

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



**Biomaterialien und Healthcare |
Biomaterials and Healthcare**

Dr. Joachim Storsberg

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

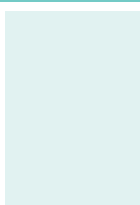
Polymermaterialien und Composite PYCO | Polymeric Materials and Composites PYCO Dr. Christian Dreyer (acting)



**Harzformulierung und
Charakterisierung | Resin
Formulation and Characterization**

Dr. Christian Dreyer

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



**Thermosets im Leichtbau |
Thermosets for Lightweight
Applications**

Dr. Christian Dreyer (acting)

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



**Strukturharze |
Structural Resins**

Dr. Sebastian Steffen

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



**Leiter Strategie und Marketing |
Head of Strategy and Marketing**

Prof. Dr. Dieter Hofmann

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



**Fasertechnologie |
Fiber Technology**

Dr. André Lehmann

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



**Verarbeitungstechnikum Bio-
polymere 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



**Funktionsintegrierte
Polymerfilme | Function
Integrated Polymer Films**

Dr.-Ing. Murat Tutuş

Telefon +49 331 568-3211
murat.tutus@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

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

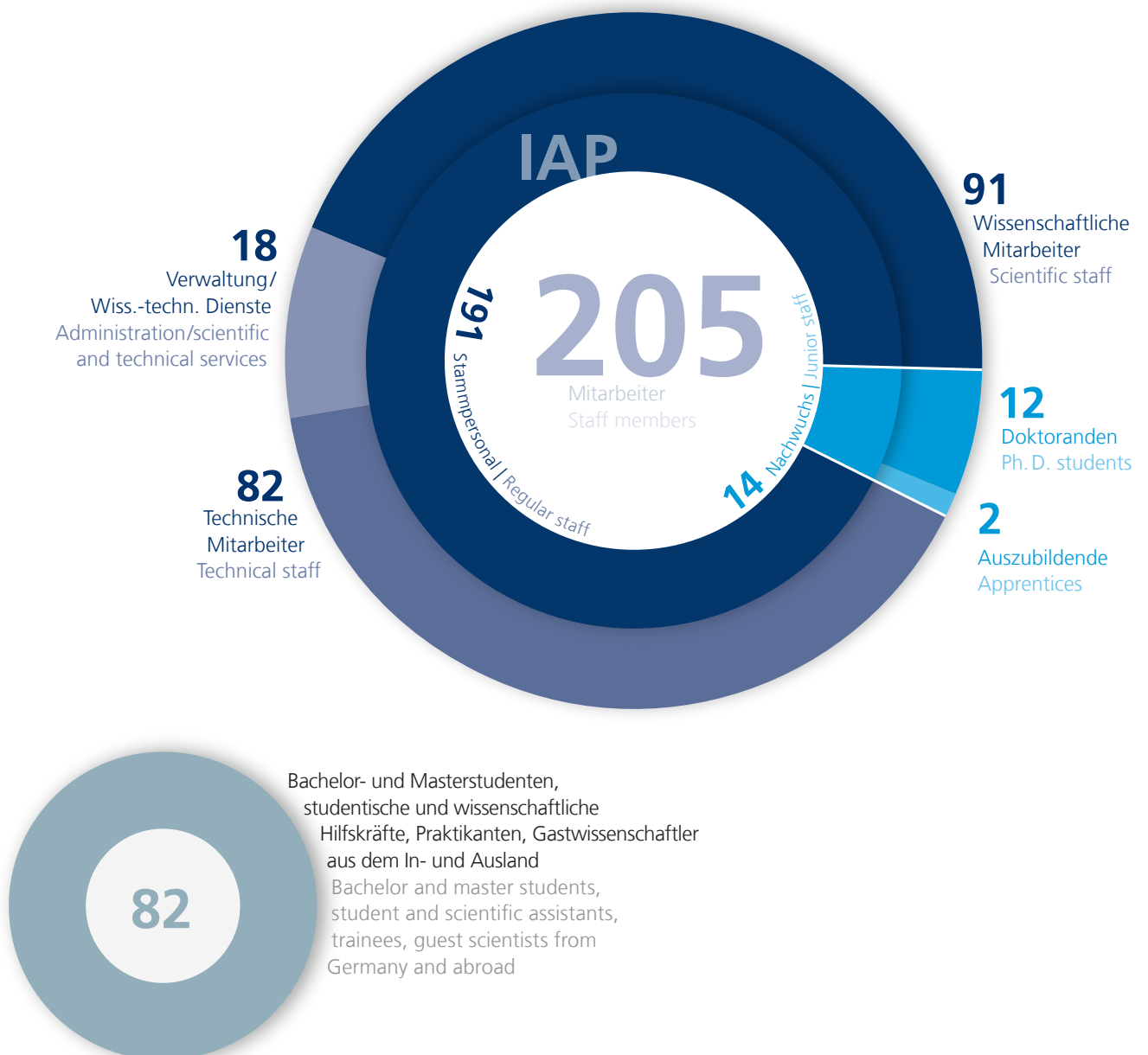
THE INSTITUTE IN FIGURES

Mitarbeiter des Fraunhofer IAP

Ende 2016 waren im Fraunhofer IAP insgesamt
205 Personen beschäftigt.

Human resources of the Fraunhofer IAP

At the end of 2016, the Fraunhofer IAP employed 205 people.



Betriebshaushalt des Fraunhofer IAP

Im Jahr 2016 betrug der Betriebshaushalt 19,4 Millionen Euro. Die externen Erträge beliefen sich auf 14,1 Millionen Euro, davon 38,2 Prozent Erträge aus der Wirtschaft.

Investitionshaushalt

Neben den Normalinvestitionen in Höhe von 871 000 Euro wurde eine kontinuierliche Mehrfrequenzmikrowellenanlage mit Infrarot-Bestrahlungseinheiten (270 000 Euro) als strategische Investition angeschafft.

Operating budget

of the Fraunhofer IAP

The operating budget for 2016 was approximately 19.4 million euros.

External income amounted to 14.1 million euros, 38.2 percent of this was income from industry.

Investment budget

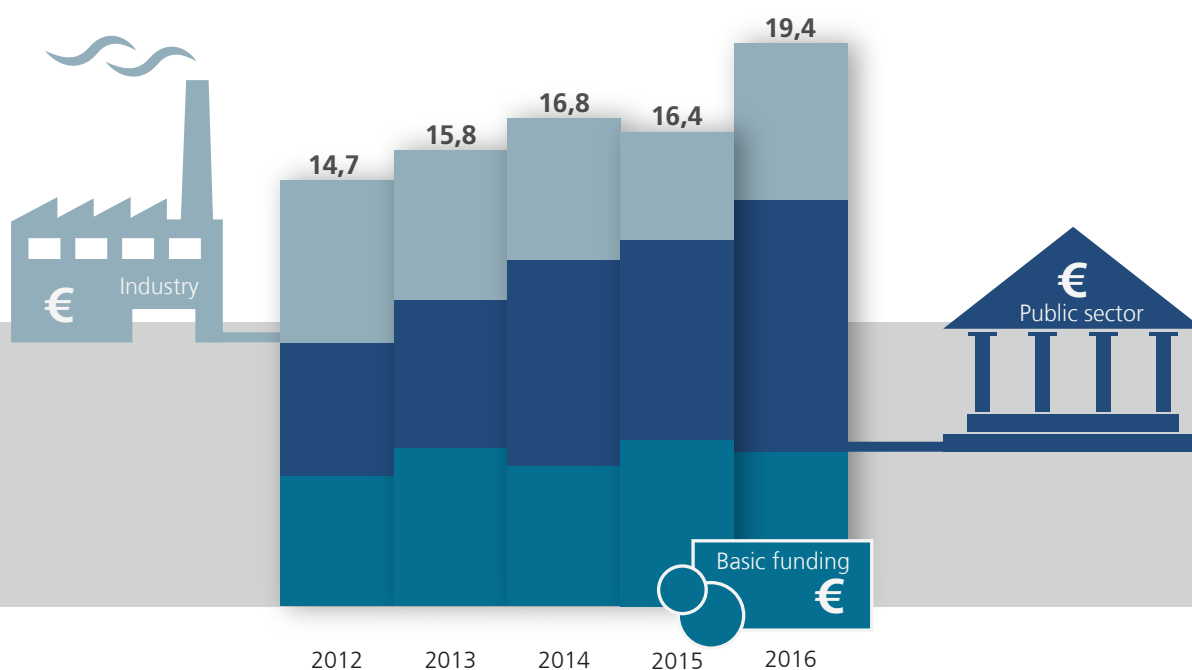
In addition to normal investments amounting to 871,000 euros, a continuous multi frequency microwave plant with infrared irradiation units (270,000 euros) was acquired as a strategic investment.



Verwaltungsleiterin | Head of administration
Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand

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

Kontakt Contact





KURATORIUM ADVISORY BOARD

Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Mitglieder des Kuratoriums des Fraunhofer IAP waren 2016:

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 2016:

Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum

Vorsitzender des Kuratoriums
Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf

Dr. Daniel Decker

Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, Frankfurt am Main

Prof. Dr. Alex Dommann

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

Dr. Stefan Dreher

BASF SE, Ludwigshafen

Ministerialdirigent Carsten Feller

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur
des Landes Brandenburg

Dipl.-Ing. Ulrich Hamann

Bundesdruckerei GmbH, Berlin

Prof. Dr. Hans-Peter Heim

Universität Kassel

Dr. Claudia Herok

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur
des Landes Brandenburg

Dr. Steffen Kammradt

Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB),
Potsdam

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

Präsidentin der Humboldt-Universität zu Berlin

Prof. Dr. Dr. h.c. Jürgen Kurths

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Potsdam

Prof. Dr. Michael W. Linscheid

Humboldt-Universität zu Berlin

Prof. Dr. Reinhard Lorenz

Fachhochschule Münster, Steinfurt

Prof. Dr. Patrick O'Brien

Universität Potsdam

Dr. Andreas Pachten

MT.DERM GmbH, Berlin

Prof. Dr. Friedhelm Pracht

Alfred Pracht Lichttechnik GmbH, Dautphetal

Dr. Felix Reiche

Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde

Dr.-Ing. Andreas Schütte

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow

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. Dr. h. c. (NUWM, UA) DSc. h. c. Jörg Steinbach
Hon.-Prof. (ECUST, CN)**

Präsident der Brandenburgischen Technischen Universität
Cottbus-Senftenberg

Prof. Dr.-Ing. Manfred H. Wagner

Technische Universität, Berlin

Dr. Bernd Wohlmann

Toho Tenax Europe GmbH, Wuppertal

RÜCKBLICK 2016

REVIEW 2016



Besuch von Anton Hofreiter, Bündnis 90/Die Grünen, Potsdam-Golm, 27.6.2016



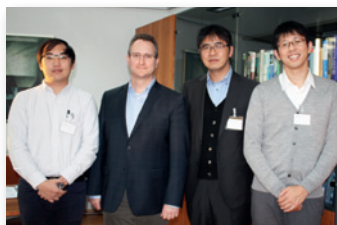
Übergabe eines Zuwendungsbescheids durch Minister Albrecht Gerber zum Aufbau eines Kompetenzzentrums für energie- und ressourceneffizienten Leichtbau, Potsdam-Golm, 21.11.2016



Medtec, Stuttgart, 12.–14.4.2016



K-Messe, Düsseldorf, 19.–26.10.2016



Besuch einer japanischen Delegation mit Prof. Hideharu, Mori Yamagata University, Potsdam-Golm, 24.11.2016



Lopez, München, 6.–7.4.2016



Besuch einer koreanischen Delegation der Firma Kolon Industries, Potsdam-Golm, 25.2.2016



4. Potsdamer Tag der Wissenschaften, 21.5.2016



Besuch der Bundestagsabgeordneten Dr. Simone Raatz
am Standort Wildau, 15.7.2016



Eröffnung des Fraunhofer-Konferenzentrums,
Potsdam-Golm, 23.6.2016



VDI Expertenforum »Smart Materials«,
Potsdam-Golm, 10. – 11.11.2016



Internationale Grüne Woche,
Berlin, 15. – 24.1.2016



Workshop »Chemiefasern«, Potsdam-Golm, 27.1.2016

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 69 Institute und Forschungseinrichtungen. 24 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen 1,9 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.

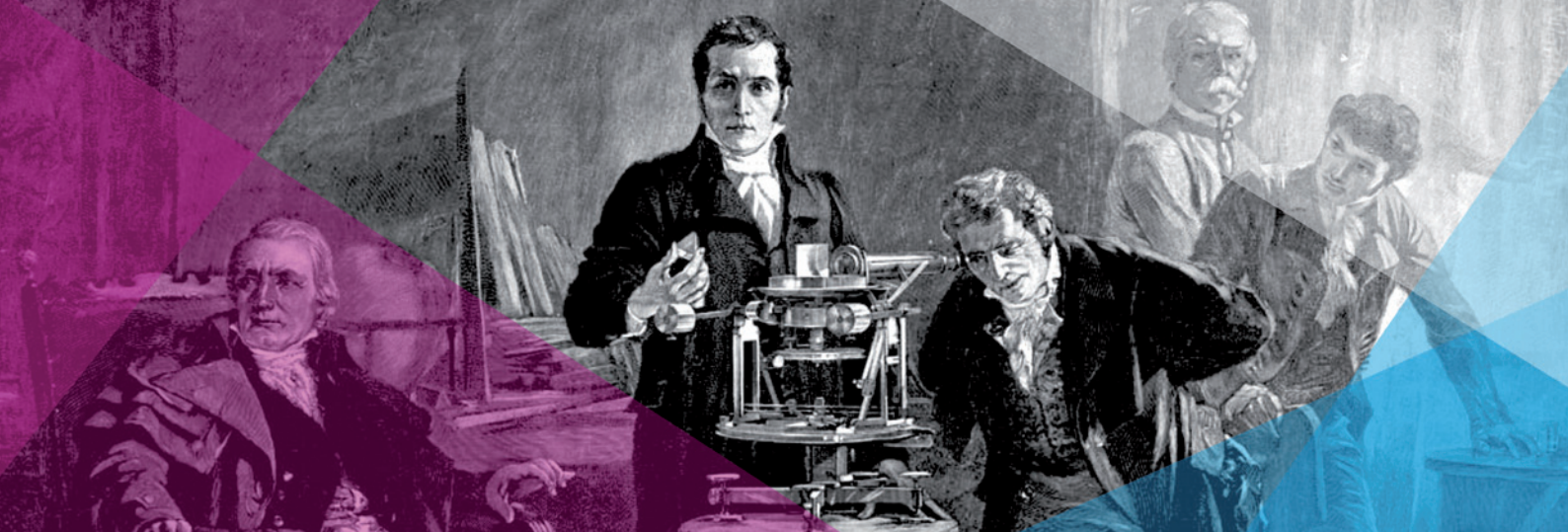
Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen. Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung 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.

www.fraunhofer.de





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 69 institutes and research units. The majority of the 24,500 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of 2.1 billion euros. Of this sum, 1.9 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 state 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.

www.fraunhofer.com

FRAUNHOFER-VERBUND MATERIALS

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS bündelt seit nunmehr 20 Jahren die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft. Mit über 2.500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und einem Gesamthaushalt von jährlich ca. 500 Millionen Euro im Leistungsbereich Vertragsforschung ist er der größte Verbund innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft.

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik umfassen bei Fraunhofer die gesamte Wertschöpfungskette, von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien und Werkstoffe über die passenden Fertigungsverfahren im quasi-industriellen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Werkstoffen hergestellten Bauteile und Produkte und deren Verhalten in den jeweiligen Anwendungssystemen.

In all diesen Feldern werden neben den experimentellen Untersuchungen in Labors, Technika und Pilotanlagen stets gleichrangig Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung eingesetzt, dies über alle Skalen, vom Molekül über das Bauteil bis hin zum komplexen System und zur Prozesssimulation.

Stofflich deckt der Fraunhofer-Verbund MATERIALS den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe sowie Halbleitermaterialien ab. Eine große Bedeutung haben in den letzten Jahren hybride Materialien und Verbundwerkstoffe gewonnen.

Mit strategischen Vorschauen unterstützt der Verbund die Entwicklung von Materialien und Technologien für die Zukunft.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in den Verbundinstituten setzen ihr Know-how und ihre Expertise im Kundenauftrag vor allem in den Geschäftsfeldern Energie & Umwelt, Mobilität, Gesundheit, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen & Wohnen, Mikrosystemtechnik und Sicherheit ein. Sie sind national und international gut vernetzt und tragen in einer großen Spannweite zu werkstoffrelevanten Innovationen und Innovationsprozessen bei.

Mit der 2015 gegründeten Initiative Materials Data Space® (MDS) legt der Verbund eine Roadmap zu Industrie-4.0-tauglichen Werkstoffen vor. In der Digitalisierung von Werkstoffen entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette sieht der Verbund eine wesentliche Voraussetzung für den nachhaltigen Erfolg von Industrie 4.0. Mit dem Materials Data Space® verbindet sich das Konzept einer neuen Plattform, die unternehmensübergreifend digitale Informationen zu Materialien und Werkstoffeigenschaften entlang der gesamten Wertschöpfungskette bereitstellt.

Ziele des Verbunds sind:

- Unterstützung beschleunigter Innovationen in den Märkten unserer Kunden und Partner
- Erfolgssteigerung von Industrie 4.0 durch passende Werkstoffkonzepte (digitale Zwillinge, Materials Data Space®)
- Erhöhung der Integrationsdichte und Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Bauteilen der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik
- Verbesserung der Nutzung von Rohstoffen und Qualitätsverbesserung der daraus hergestellten Produkte, Recyclingkonzepte
- Erhöhung von Sicherheit und Komfort sowie Reduzierung des Ressourcenverbrauchs in den Bereichen Verkehrstechnik, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen & Wohnen
- Steigerung der Effizienz von Systemen der Energieerzeugung, Energiewandlung, Energiespeicherung und -verteilung
- Verbesserung von Biokompatibilität und Funktion von medizin- oder biotechnisch eingesetzten Materialien, Verbesserung von Materialsystemen für medizinische Diagnose, Prävention und Therapie
- Verbesserung des Schutzes von Menschen, Gebäuden und Infrastruktur durch leistungsfähige Werkstoffe in spezifischen Schutzkonzepten

Mitglieder im Verbund sind die Fraunhofer-Institute für

- Angewandte Polymerforschung IAP
- Bauphysik IBP
- Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Chemische Technologie ICT
- Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI
- Silikatforschung ISC
- Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS
- Solare Energiesysteme ISE
- System- und Innovationsforschung ISI
- Werkstoffmechanik IWM
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
- Windenergie und Energiesystemtechnik IWES

sowie als ständige Gäste die Institute für:

- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
- Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
- Integrierte Schaltungen IIS

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. Ralf B. Wehrspohn

Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur
von Werkstoffen und Systemen IMWS
Walter-Hülse-Str. 1
06120 Halle (Saale)

Geschäftsführung:

Dr. phil. nat. Ursula Eul

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

www.materials.fraunhofer.de

FRAUNHOFER GROUP MATERIALS

For 20 years now the Fraunhofer Materials and Components Group – MATERIALS has been integrating the expertise of the Fraunhofer Institutes working in the field of materials science.

With more than 2,500 scientists and a total annual budget of around 500 million euros in the area of contract research, it constitutes the largest group within the Fraunhofer-Gesellschaft.

Materials research and materials technology at Fraunhofer cover the entire value chain, from the development of new and the improvement of existing materials, through manufacturing technology on a quasi-industrial scale, up to the characterization of properties and assessment of service behavior. The same research scope applies to the components made from these materials and the way they function in systems.

In all these fields, experimental studies in laboratories, technical institutes and pilot facilities are complemented by equally important numerical simulation and modelling techniques – across all scales, from individual molecules and components up to complex systems and simulation of complete processes.

As far as materials are concerned, the Fraunhofer MATERIALS group covers the full spectrum of metals, inorganic non-metals, polymers, and materials made from renewable resources, as well as semiconductor materials. Over the last few years, hybrid materials have gained significantly in importance.

With strategic forecasts the Group supports the development of future-oriented technologies and materials.

The scientists working in the Group's institutes deploy their know-how and expertise on behalf of their customers specifically in the fields of energy & environment, mobility, healthcare, machine & plant construction, building construction & living, microsystems technology and safety. They are part of strong national and international networks and contribute towards material-related innovations and innovative processes in a wide range of working fields.

With the initiative Materials Data Space® (MDS) founded in 2015, the Group is presenting a roadmap towards Industry 4.0 enabled materials. Digitalization of materials along their entire value creation chain is viewed by the Group as a key requirement for the lasting success of Industry 4.0. The rationale behind the Materials Data Space® concept is to provide a new platform offering digital information about materials and material properties across multiple corporations along the entire value creation chain.

Objectives of the Group are:

- Supporting accelerated innovation in the markets in which our customers and partners are operating
- Promoting the success of Industry 4.0 through suitable material concepts (digital twins, Materials Data Space®)
- Increasing integration density and improving the usability properties of microelectronic devices and microsystems
- Improving the use of raw materials and improving the quality of the products manufactured from them, development of recycling concepts
- Enhancing safety and comfort and reducing resource consumption in the areas of transport, machine and plant construction, building & living
- Increasing the efficiency of systems in energy generation, energy conversion, energy storage and distribution
- Improving the biocompatibility and function of materials used in medical biotechnical devices, improving material systems for medical diagnosis, disease prevention and therapy
- Improving the protection of people, buildings and infrastructure through high-performance materials in tailored protection concepts

Members of the Fraunhofer Materials Group are the Fraunhofer Institutes for

- Applied Polymer Research IAP
- Building Physics IBP
- Structural Durability and System Reliability LBF
- Chemical Technology ICT
- Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM
- Wood Research, Wilhelm-Klauditz-Institut, WKI
- Ceramic Technologies and Systems IKTS
- High-Speed Dynamics, Ernst-Mach-Institut, EMI
- Microstructure of Materials and Systems IMWS
- Silicate Research ISC
- Solar Energy Systems ISE
- Systems and Innovations Research ISI
- Mechanics of Materials IWM
- Nondestructive Testing IZFP
- Wind Energy and Energy System Technology IWES

Associated institutes:

- Industrial Mathematics ITWM
- Interfacial Engineering and Biotechnology IGB
- Integrated Circuits IIS.

Chairman of the Fraunhofer Group:

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner

Fraunhofer Institute for
Chemical Technology ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal

Deputy Group Chairman:

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn

Fraunhofer Institute for Microstructure
of Materials and Systems IMWS
Walter-Hülse-Str. 1
06120 Halle (Saale)

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

- 30** **Neue Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen**
New products made from renewable raw materials
- 34** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 38** **Nanoskalige Ligninpartikel für die Herstellung holzfaserverstärkter Schaumstoffe**
Lignin nanoparticles used to produce wood fiber-reinforced foams
- 40** **Modifizierte Stärke für den Korrosionsschutz von Metallen**
Modified starch for the corrosion protection of metals



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. Es erfolgten 2016 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-Polymer-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 Restströmen 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 Industriepartnern als auch von der öffentlichen Hand geförderte Projekte in Zusammenarbeit mit der Industrie bearbeitet. Stärke- und Proteinprodukte mit dem Vermögen zur Bildung transparen-ter, 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 Landwirtschaft (BMEL) über seinen Projektträger, die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Die thematischen Schwerpunkte im Forschungsbereich Biopolymere sind Faserspinnen, Folienextrusion, Thermoformen und Compoundierung.

Innerhalb des Spitzenclusters »BioEconomy«, das vom 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 Polymer-mischungen 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 acid (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 accompanies 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 carbamate 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 bi-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. Detailed process optimization was carried out in 2016 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 diffraction, 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 heterogeneous and homogeneous 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" and the "LignoCarb" 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 $0,05 \text{ g/cm}^3$)
- 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 (Schlichter)
- 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
Prof. Dr. Johannes Ganster

Materialentwicklung und
Strukturcharakterisierung
Material Development and
Structure Characterization

Prof. 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 (bis 6|2017)

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

Verarbeitungstechnikum

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 syntheses 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 acid (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 molding/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 molding – 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			

Lignin	d [nm]	M _w [g/mol]	Acid number	OH-number [mg/g]	Yield [%]
L (Ex)	56	1180	122	262	43
L	96	4450	113	268	80

1

- 1 Selected results of nanoparticles made of lignin.
- 2 Selected results of wood fiber-reinforced foams.
- 3 Wood fiber-reinforced foam made of melamine resin.

Nanoskalige Ligninpartikel für die Herstellung holzfaserverstärkter Schaumstoffe

Lignin ist nach Cellulose das zweithäufigste Biopolymer weltweit und fällt während der Zellstoffgewinnung in Form von Schwarzlauge (SL) in großen Mengen an. Der dominierende Prozess ist dabei das Kraft-Verfahren, es liefert ein schwefelhaltiges Rohlignin. Der größte Teil der SL wird thermisch verwertet mit dem Ziel, den Eigenenergieverbrauch zu decken, überschüssige Energie zu veräußern sowie die Aufschlusschemikalien partiell zu recyceln.

Die materielle Verwertung von Lignin ist seit vielen Jahren Gegenstand intensiver Forschungen, wobei die wesentlichen Schwerpunkte auf die Verwertung von Rohlignin für thermoplastische und duroplastische Werkstoffe fokussieren [1]. Ein weiterer Aspekt ist die Herstellung von Ligninpartikeln, insbesondere im nanoskaligen Größenbereich [2]. Als interessant erweist sich in diesem Zusammenhang die etwas größere Hydrophobie des Lignins im Vergleich zu anderen Biopolymeren wie beispielsweise Stärke oder Cellulose. Potenzielle Anwendungen für solche Nanopartikel wären unter anderem Füllstoffe für Kautschukprodukte [3].

Am Fraunhofer IAP ist auf der Grundlage von Melamin-Formaldehyd-Harzen (MFH) ein hydrophober feinporiger Schaumstoff ohne die Nutzung zusätzlicher Treibmittel entwickelt worden [4], der insbesondere als Dämmstoff interessant ist. Durch die Verwendung von MFH gelingt es im Gegensatz zu Phenol-Formaldehyd-Harzen, das Abbrennverhalten der Duomere und Composite zu reduzieren. Sowohl Hydrophobie als auch Porenstruktur der Schaumstoffe lassen sich durch die Verwendung anorganischer Oxide einstellen, deren Oberflächen hydrophob modifiziert worden sind. Diese speziellen Additive sind vergleichsweise teuer, sodass Alternativen sehr willkommen sind. Hier bietet sich nun die Möglichkeit, das vergleichsweise hydrophobe Lignin in nanoskaliger Form zu etablieren.

Die Gewinnung solcher Ligninpartikel gelingt mittels pH-induzierter Fällung aus einer wässrigen Lösung. Es hat sich gezeigt, dass neben der Ligninkonzentration auch das mittlere Molekulargewicht sowie die funktionellen Gruppen des Lignins einen Einfluss auf den mittleren Teilchendurchmesser sowie die Ausbeute an Ligninpartikeln haben (Fig. 1). Auf die Verwendung von Detergenzien zur Unterstützung der Ligninpartikelbildung wurde verzichtet, um die Schaumbildung im Melaminharz nicht zu gefährden. Die so gewonnene wässrige Partikeldispersion steht dann direkt für die Herstellung des modifizierten Melaminharzes zur Verfügung.

Um die mechanischen Parameter des nach der Harzaushärtung entstehenden Duomerschaums den Anforderungen an Dämmstoffe anzupassen, ist eine Verstärkung mittels Holzfasern gewählt worden. Hierbei ist der Feuchtigkeitsgehalt der Fasern so einzustellen, dass die Harzaushärtung nicht in ihrer Effizienz negativ beeinträchtigt wird. Dadurch lassen sich holzfaserverstärkte Schäume mit Zug- und Druckfestigkeiten von 32 bzw. 250 kPa erreichen, die Wärmeleitfähigkeiten ausgewählter Proben lagen bei 0,0405 W/(m*K) (Fig. 2, Fig. 3).

Literatur Literature

- [1] Th. Q. Hu: *Chemical Modification, Properties, and Usage of Lignin* (2002)
- [2] M. Lievonen, J.J. Valle-Delgado, M.-L. Mattinen, E.-L. Hult, K. Lintinen, M.A. Kostianen, A. Paananen, G. R. Szilvay, H. Setälä, M. Österberg: *A simple process for lignin nanoparticle preparation*, Green Chemistry 18, pp. 1416–1422 (2016)
- [3] C. Jiang, H. He, H. Jiang, L. Ma, D. M. Jia: *Nano-lignin filled natural rubber composites: Preparation and characterization*, eXPRESS Polymer Letters 7, pp. 480–493 (2013)
- [4] F. Börner, G. Rafler: *Treibmittel-freier Aminoharzschäum, Verfahren zu dessen Herstellung und dessen Verwendung*, DE102006001862A1
- [5] Steico SE

	Sample (IAP)	Reference [5]
Bulk density [kg/m ³]	142	140
Moisture content (23 °C/50 % rel. moisture) [%]	13.2	6.5
Water absorption [%]	381	22
Swelling [%]	1.47	2
Compressive strength [kPa]	250	≥100
Tensile strength (⊥ plate plane) [kPa]	32.2	≥10
Heat conductivity (M1)		
Bulk density [kg/m ³]	141	140
λ 10 dry [W/(m*K)]	0.0405	0.041
Heat conductivity (M2)		
Bulk density [kg/m ³]	153	140
λ 10 dry [W/(m*K)]	0.0429	0.041

* M2 – Measurement 2 on polished samples

2



3

Lignin nanoparticles used to produce wood fiber-reinforced foams

After cellulose, lignin is the second most abundant biopolymer in the world. It is produced in large quantities in the form of black liquor (BL) during pulp production. The most widely used process is the Kraft process which yields a crude lignin that contains sulfur. Most of the BL is thermally recycled with the aim of covering production-related energy consumption costs and is used for partial recycling of the chemicals needed during the pulp production. The excess of energy is sold.

The utilization of lignin as a chemical compound has been the subject of intensive research for many years. Focus has mainly been on recycling crude lignin for thermoplastics and thermosetting materials [1]. A further aspect is the production of lignin particles, especially in the nanoscale range [2]. The slightly greater hydrophobicity of the lignin compared to other biopolymers, such as starch or cellulose, makes the material very interesting in this context. Potential applications for such nanoparticles include fillers for rubber products [3].

The Fraunhofer IAP has developed a hydrophobic fine-pored thermosetting foam material which is particularly suitable for insulation applications. The new material is based on the use of melamine-formaldehyde resins (MFH) and does not require the use of additional blowing agents [4]. Both the hydrophobicity and the pore structure of the foams are regulated by the use of inorganic nanoparticles whose surfaces have been hydrophobically modified. These special additives are comparatively expensive, which means there is a constant search for alternatives. In this respect, we see the possibility of establishing a new application for the lignin nanoparticles.

The lignin particles were recovered through pH-induced precipitation from an aqueous solution. Lignin concentration, average molecular weight, and the functional groups of the lignin were shown to influence the mean particle diameter as well as the yield of lignin particles (Fig. 1). The use of detergents to support lignin particle formation had to be avoided in order to prevent excessive foam formation when introduced into the melamine resin. This surfactant-free aqueous particle dispersion was then directly available for the production of the modified melamine resin.

The final thermosetting foams were reinforced with wood fibers. Adding wood fibers enabled the properties of the resulting thermosetting foam materials to meet the requirements for insulation materials. In this case, the moisture content of the fibers had to be adjusted so that the resin curing was not adversely affected. As a result, wood fiber-reinforced foams were achieved with tensile and compressive strengths of 32 and 250 kPa respectively. The thermal conductivities of selected samples were 0.0405 W/(m*K) (Fig. 2, Fig. 3).



Dr. Gunnar Engelmann

Telefon +49 331 568-1210

Fax +49 331 568-3000

gunnar.engelmann@iap.fraunhofer.de

Dr. Frank Börner

Telefon +49 331 568-1221

Fax +49 331 568-3000

frank.boerner@iap.fraunhofer.de

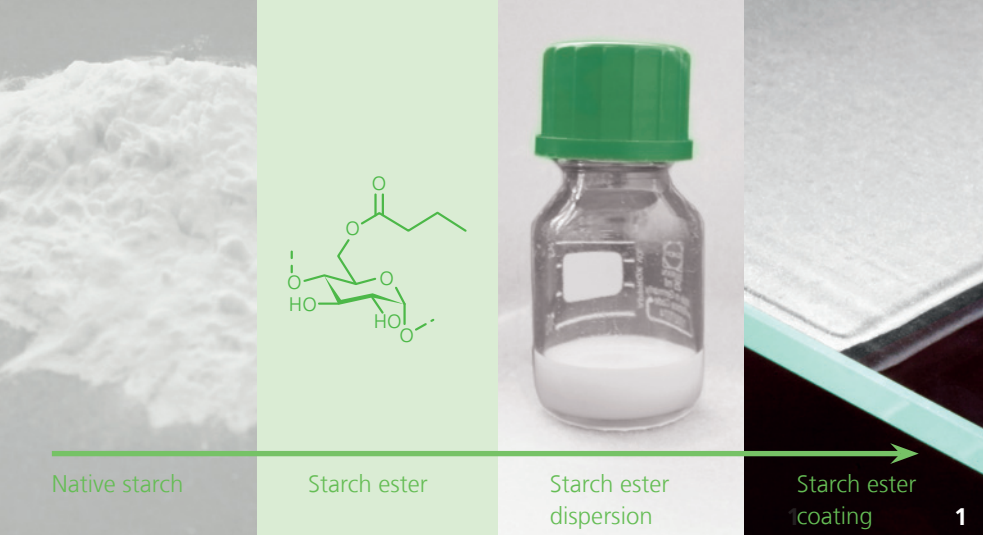
Kontakt Contact

Förderung Funding

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

Kooperation Collaboration

- Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal GmbH, Blankenstein
- STEICOSE, Feldkirchen



- 1 From native starch to the starch ester coating.
- 2 Viscosity of starch acetates and butyrates based on shear rate, their DS and concentration.
- 3 Starch ester coatings (SestAc=acetate, DS 0.2; SestProp=propionate, DS 0.1; SestBut=butyrate, DS 0.6; SestHex=hexanoate, DS 0.4^a) after treatment with an electrolyte solution.*

* Fraunhofer IPA, Dr. Matthias Wanner

Modifizierte Stärke für den Korrosionsschutz von Metallen

Der Beschichtungssektor stellt einen stetig wachsenden Markt dar. Allein in Deutschland beträgt die Produktion an Beschichtungsstoffen etwa 100 000 Tonnen pro Jahr [1]. In den vergangenen 20 Jahren wurden in der Farben- und Lackindustrie verstärkt umweltfreundliche Formulierungen wie z.B. wasserbasierte und strahlenhärtende Systeme weiterentwickelt [2]. Allerdings liegt der Anteil biobasierter Filmbildner bisher unter einem Prozent, wenn man von Alkydharzen absieht. Um den Biopolymeranteil in Metallbeschichtungen zu erhöhen, wurden Stärkemodifikate hergestellt und getestet.

Stärke ist wegen ihrer weltweiten Verfügbarkeit und der Möglichkeiten ihrer Eigenschaftsoptimierung mittels chemischer Modifikation ein sehr attraktiver Rohstoff für biobasierte Materialien. So können beispielsweise Dispergierbarkeit und Schichtbildungsvermögen eingestellt werden [3, 4].

Zu diesem Zweck wurden Hydroxyalkyl-, Hydroxyalkylstärkeether ($C_{3-4,6}$) (Molare Substitution (MS): 0,22–1,08) und Stärkeester ($C_{2-4,6}$) (Substitutionsgrad (DS): 0,07–1,08) basierend auf einer kommerziell abgebauten Kartoffelstärke ($M_w = 1,3 \cdot 10^5$ g/mol; bestimmt mittels GPC-MALLS) synthetisiert.

Die Modifikation führte zu kaltwasserdispergierbaren Stärkeprodukten mit Anwendungskonzentrationen zwischen 30 und 45 Prozent (w/w). Ihre Viskositäten lagen im Bereich von 10^2 – 10^3 mPa·s ($\dot{\gamma}=100$ s⁻¹) und die meisten Proben wiesen ein newtonsches Fließverhalten (Fig. 2) auf. Für die Stärkeester konnten im DS-Bereich von 0,13–0,81 und im Fall der Stärkeether mit MS-Werten zwischen 0,77–0,91 zusammenhängende Filme erhalten werden. Im Gitterschnitttest auf Glasplatten zeigten die Ester sehr gute Haftungsergebnisse, mit der Zuordnung in die bestmöglichen Klassen (0–1), während die getesteten Ether nur mit Klasse 4 bewertet werden konnten (ISO-Klassen: 0–5; 0=beste Klasse). Die Nass- und Trockenschichtdicken der Filme betrugen 25 μ m bzw. 8–12 μ m (30-prozentige Dispersionen).

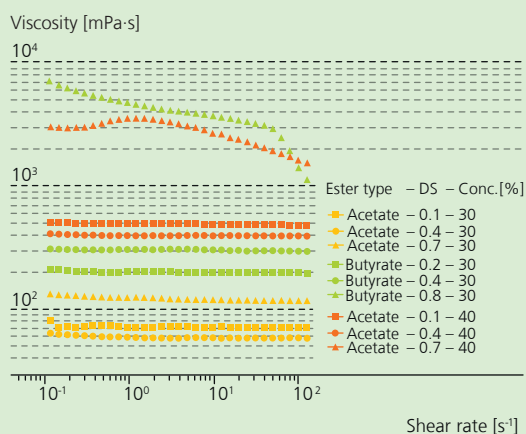
Zusätzliche Tests, die am Fraunhofer IPA auf Aluminiumsubstraten durchgeführt wurden, ergaben, dass die ausgewählten Stärkeester (C_2 : DS 0,2; C_3 : DS 0,1; C_4 : DS 0,6; C_6 : DS 0,4^a) ebenfalls sehr gute Haftungen auf Aluminiumoberflächen aufwiesen (0–1). Der getestete Ether (Hydroxypropyl: MS 0,91) ordnete sich in die schlechteste Klasse (5) ein. Nach Isocyanat-Vernetzung der Produkte wurden Kurz-Zeit-Stabilitätstests durchgeführt. Diese basierten auf Thermozyklisierung und Elektrolytlösungseinfluss und wurden mittels elektrochemischer Impedanzspektroskopie ausgewertet. Es zeigte sich, dass die Barriereigenschaften mit der Hydrophobie der Stärkeether und -ester korrelierte und das Stärkebutyrat (DS 0,6), auch hinsichtlich der oben beschriebenen Charakterisierungen, die beste Performance aufwies (Fig. 3).

Die Untersuchungen zeigten, dass die hergestellten Stärkeester mit ihren guten Filmbildungs- und sehr guten Haftungseigenschaften auf verschiedenen Substraten das Potenzial besitzen, zukünftig eine Alternative zu erdölbasierten Filmbildnern in der Beschichtungsindustrie darzustellen.

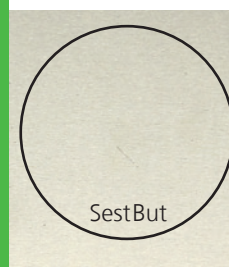
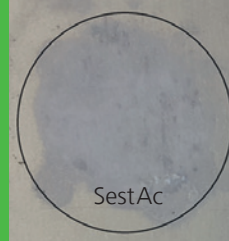
^a eingesetzte Reagenzmenge

Literatur Literature

- [1] Ceresana Research: *Farben und Lacke*, Marktstudie, Band I (2011)
- [2] A. Goldschmidt, H.-J. Streitberger: *BASF Handbuch Lackiertechnik*, Vincentz Network, Hannover (2014)
- [3] H. Winkler, W. Vorwerg, R. Rihm: *Thermal and Mechanical Properties of Fatty Acid Starch Esters*, Carbohydrate Polymers 102, pp. 941–949 (2014)
- [4] C. Gabriel, M. Wanner, H. Wetzel, S. Radosta, W. Vorwerg: *Modified Starch Dispersions as Water-Based Binder System for Paints and Varnishes*, Farby i Lakiery (Paints and Varnishes) 5, pp. 3–10 (2016)



2



3

Modified starch for the corrosion protection of metals

The coatings industry is an ever-expanding market. One hundred thousand tons of coating material is produced every year in Germany alone [1]. For the last 20 years, the paint and varnish industry has been developing eco-friendly systems, such as water-based paints and varnishes, radiation curing systems and highly solid coatings [2]. Despite this, less than one percent of film formers are biobased (not including alkyd resins). We synthesized and tested modified starches in an effort to increase the proportion of biopolymers in metal coatings.

Starch represents an attractive biobased material because of its worldwide availability and the possibility of the optimization of its properties through chemical modification. For example, its dispersibility and film forming properties can be adjusted [3, 4].

For this purpose, hydroxyalkylallyl-, hydroxyalkyl starch ethers ($C_{3-4,6}$) (molar substitution (MS): 0.22–1.08) and starch esters ($C_{2-4,6}$) (degree of substitution (DS): 0.07–1.08) based on a commercially degraded potato starch ($M_w = 1.3 \cdot 10^5$ g/mol, determined by SEC-MALLS) were synthesized.

This modification led to cold water-soluble or dispersible starch ether and ester products with application concentrations of between 30 and 45 percent (w/w), viscosities in the range of 10^2 – 10^3 mPa·s ($\dot{\gamma} = 100$ s $^{-1}$), and newtonian flow behavior in most samples (Fig. 2). Continuous films were obtained for starch esters in the DS range of 0.13–0.81 and for starch ethers with MS values of 0.77–0.91. The esters performed well in the cross-cut test on glass plates, achieving the best possible classes of 0 and 1. In contrast, ethers achieved values of only 4 (ISO-classes are from 0–5 with class 0 representing the best class). The wet and dry layer thicknesses were 25 μ m and 8–12 μ m respectively (30 percent dispersions).

Additional tests on aluminum substrates were carried out at the Fraunhofer IPA. The results showed that the selected starch ester samples (C_2 : DS 0.2; C_3 : DS 0.1; C_4 : DS 0.6; C_6 : DS 0.4^a) also had very good adhesion (0–1) onto aluminum plates. The tested ether (hydroxypropyl: MS 0.91) was placed in the lowest category (5). Crosslinking reactions with isocyanates were followed by short-term stability tests. These tests were based on thermocyclic electrolytic loading and were evaluated by electrochemical impedance spectroscopy. The barrier properties corresponded to the hydrophobicity of the starch ethers and esters, with the starch butyrate (DS=0.6) performing best (Fig. 3), also with respect to the characterization methods described above.

Our investigations demonstrated that the synthesized starch esters have good film forming properties and very good adhesion properties on different substrates. Thus, they have the potential of replacing oil-based film formers in paints and varnishes in the future.

^a amount of used reagent



Christina Gabriel M. Sc.

Telefon +49 331 568-1620

Fax +49 331 568-3000

christina.gabriel@iap.fraunhofer.de

Dr. Waltraud Vorwerk (bis 6|2017)

Telefon +49 331 568-1609

waltraud.vorwerk@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

– Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) in Form des Collective Research Networking (Cornet)

Kooperation Collaboration

– Fraunhofer IPA, Stuttgart

FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME

FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

- 44 Funktionswerkstoffe und Technologien**
Functional materials and technologies
- 48 Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 52 Wasserdispergierbare cadmiumfreie Quantenpunkte für bioanalytische Anwendungen**
Water dispersible cadmium free quantum dots for bioanalytical applications
- 54 Extrem stabile Glasverbünde durch elektrochromes Gießharz**
Extremely stable panes by an electrochromic casting resin



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 Emittermoleküle 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 den Einsatz in der organischen Photovoltaik werden maßgeschneiderte konjugierte Absorberpolymere entwickelt und für Druckprozesse formuliert. Für den Bereich Energiespeicher werden sowohl neue sulfonierte Blockcopolymere basierend auf heteroaromatischen Monomeren für die Herstellung von kostengünstigen protonenleitenden Membranen, als auch polymere Festelektrolyte für verschiedene Batteriesysteme entwickelt. Elastomermaterialien werden zusätzlich chemisch modifiziert, um Aktuatoren herzustellen, die bei deutlich geringeren Spannungen als bisher verwendet werden können. In einem anderen Forschungsgebiet werden photoaushärtbare, polymere Materialien für das Rapid Prototyping für medizinische

und textile Applikationen entwickelt. Die Materialentwicklung berücksichtigt Prozessfertungsverfahren für:

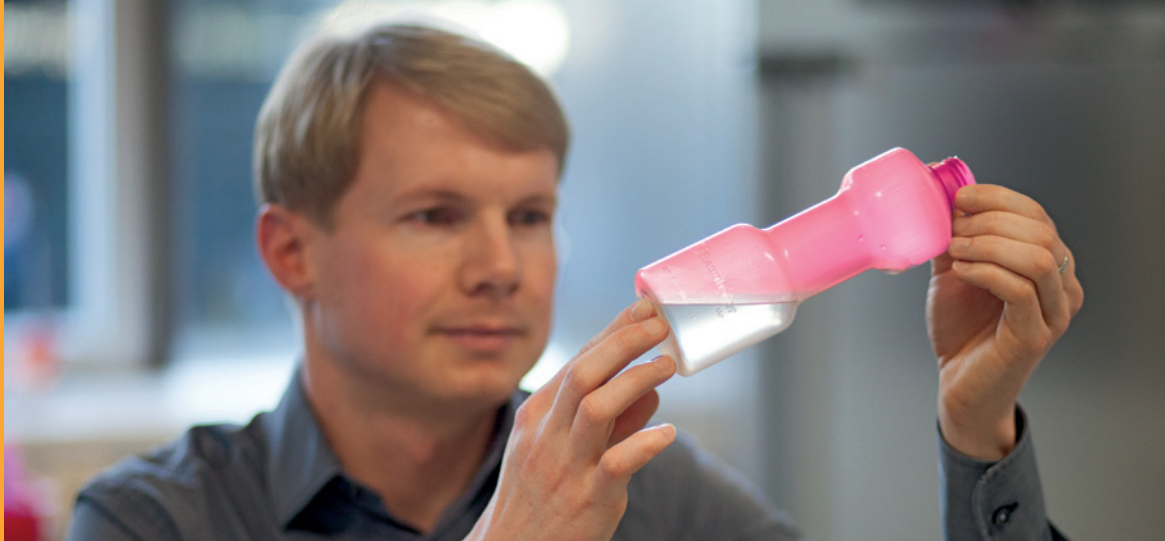
- a) Tinten für Inkjet- und Dispersionstechnologien,
- b) Harze für Stereolithographie (STL) und Multiphotonenpolymerisationen
- c) Pasten für Extruderverfahren.

Thermochrome Materialien

Thermochrome 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 Emissionen 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 werden, 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 photo-voltaics 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 by thermal and photochemical initiation. This stabilizes the layer and enables further processing steps. Customized conjugated absorber polymers are being developed that can be used in organic photovoltaics and formulated for printing processes. In the area of energy storage, new sulfonated block copolymers are being developed based on heteroaromatic monomers. These are used to produce inexpensive proton-conducting membranes and polymer solid-state electrolytes for various battery systems. Elastomer

materials are also being chemically modified in order to produce actuators that can be used at much lower voltages. In another area of research we are developing photo-curable polymer materials for rapid prototyping for medical and textile applications. Material development includes process manufacturing methods for:

- a) inks for inkjet and dispersion technologies,
- b) resins for stereolithography (STL) and multiphoton polymerization,
- c) pastes for extrusion processes.

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 photo-crosslinkable liquid crystal mixtures can be processed easily and enable films to be produced that have diverse optical functionalities. In addition to the development of materials, focus is increasingly being placed on the corresponding development of polymer-typical processing and patterning technologies, innovative film preparation techniques, orientation procedures, the permanent fixation of supramolecular or light-inducing states and, increasingly, printing techniques. These layers can be used in future holographic displays.

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 phase 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
- elektrochromen Polymeren
- elektrolumineszierenden Polymeren
- ferroelektrischen Polymeren
- halbleitenden Polymeren
- holographischen Materialien für Oberflächenrelief- und Volumengitter
- Hydrogelen
- Ionen leitenden Polymeren
- lumineszierenden Quantum Dots
- organisch-anorganischen polymeren Nanocompositen
- photochromen Polymeren
- photolumineszierenden Polymeren
- photosensitiven- bzw. photostrukturierbaren Elastomeren
- photovernetzbaaren Polymeren
- piezochromen Polymeren
- piezoelektrischen Polymeren
- polymeren Nanocompositen
- pyroelektrischen Polymeren
- thermochromen und elektrochromen Polymeren
- wasserlöslichen 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
- Lichtsender und -empfänger
- optische Datenspeicher
- polymere Elektrete für Sensoren und Aktoren
- polymere Elektrete als Ladungsspeicher
- protonenleitende Membranen
- spektrale Lichtwandler zum Nachweis von UV-Licht
- strukturierte biofunktionale Oberflächen
- thermoschaltbare 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
- pyroelektrische 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
- Photo-Strukturierung
- 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
- Charakterisierung von Kolloiden und Nanopartikeln
- elektronisches Wasserzeichen
- fälschungssichere Markierung von Polymermaterialien
- Fluoreszenzschichten für die Sensortechnik
- Funktionalisierung von Pulvern
- holographische Verfahrung zur Polymer-Strukturierung mit UV- und VIS-Licht
- Messung der Wasserdampfttransmission durch Polymere und Barrierschichten
- Molmassencharakterisierung von Polymeren
- OLED-Lebensdauertest
- OLEDs als Sicherheitsmerkmal
- OPV-Lebensdauertest
- photobiozide Beschichtungen für den Pflanzenschutz
- Photolithographielinie zur Strukturierung
- schäumen von Polymeren
- 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. Christian Rabe

Telefon +49 331 568-2320

Fax +49 331 568-3000

christian.rabe@iap.fraunhofer.de

Sensoren und Aktoren
Sensors and Actuators

Priv.-Doz. Dr. habil. Michael Wegener

Telefon +49 331 568-1209

Fax +49 331 568-3000

michael.wegener@iap.fraunhofer.de

APPLICATIONS AND SERVICES

Materials – synthesis and processing of

- dielectric elastomers
- elastomers
- electrets
- electroactive polymers
- electrochromic polymers
- electroluminescent polymers
- ferroelectric polymers
- holographic materials: polymers, polymer-LC composites, elastomers
- hydrogels
- ion conducting polymers
- luminescent quantum dots
- organic-anorganic polymer nanocomposites
- photochromic polymers
- photocrosslinkable polymers
- photoluminescent polymers
- photosstructurable elastomer materials
- piezochromic polymers
- piezoelectric polymers
- polymer nanocomposites
- pyroelectric polymers
- semiconducting polymers
- thermochromic and electrochromic polymers
- water-soluble 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
- layers for optical data storage
- light senders and receivers
- luminescent solar concentrators
- polymer electrets for charge storage
- polymer electrets for sensors and actuators
- proton conducting membranes
- spectral light converter for the detection of UV-light
- structured biofunctional surfaces
- thermoswitchable 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
- pyroelectric sensors

Surface technology

- adhesive-free bonding
- anti-fogging coatings
- contactless interface modification
- coupling of biologically active substances to polymer surfaces
- functional coatings
- holographic structuring of polymer surface in nm scale
- hydrophilic or hydrophobic surfaces
- metallization of polymers
- printing of active materials by inkjet printing, slot die coating, rotogravure
- process control 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
 - characterization of colloids and nanoparticles
 - counterfeit protection of polymer materials
 - electronic watermark
 - fluorescent layers for sensor technology
 - foaming of polymers
 - functionalization of powders
 - holographic exposure for structuring of polymers materials with UV (355 nm) and VIS (532 nm) light
 - inkjet printing of OLEDs
 - measurement of the water vapor transmission rate through polymers and barrier layers
 - molar mass characterization of polymers
 - 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 Quantum dots.

2 Comparison of performance between Fraunhofer IAP and commercially available quantum dots.

3 Long-term stability of Fraunhofer IAP quantum dots.

Wasserdispergierbare cadmiumfreie Quantenpunkte für bioanalytische Anwendungen

Quantenpunkte (Fig. 1) haben aufgrund ihrer Anwendungen in der Beleuchtungs- und Display-industrie sowie ihrem Einsatz als Lumineszenzmarker in bioanalytischen Fragestellungen in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit in Forschung und Entwicklung erfahren [1]. Dabei stehen immer die herausragenden Lumineszenzeigenschaften wie hohe Quantenausbeute, Farbreinheit und Stabilität im Mittelpunkt des Interesses. Insbesondere cadmiumbasierte Systeme sind bereits umfassend untersucht worden. Aufgrund der mit Cadmium verbundenen Risiken für Umwelt und Gesundheit wird sein Einsatz allerdings durch die RoHS-Richtlinien (»Restriction of Hazardous Substances«) [2] eingeschränkt. Dies führte in den vergangenen Jahren, auch am Fraunhofer IAP, zu erhöhten Entwicklungsanstrengungen im Bereich von cadmiumfreien Alternativen, insbesondere im Bereich der indiumphosphidbasierten Quantenpunkte [3].

Im Rahmen dieser Entwicklungen konnte auch das seitens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung geförderte »Endoprove«-Projekt realisiert werden. Hierbei geht es um die Entwicklung eines Tests für den schnellen Vor-Ort-Nachweis von Endotoxinen im Bereich der Produktion von Biopharmazeutika (**Endotoxin Point-of-rapid-Use**).

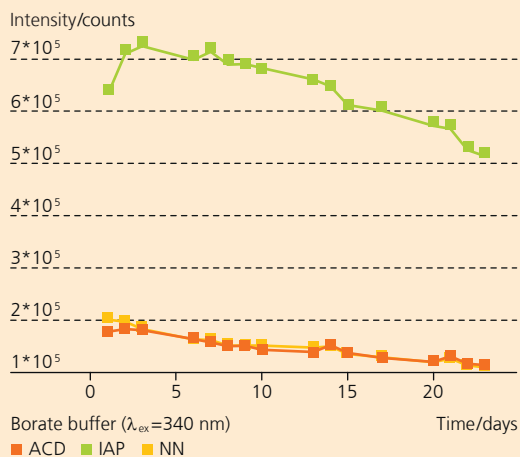
So konnten kürzlich erstmals am Fraunhofer IAP wasserdispergierbare indiumphosphidbasierte Quantenpunkte dargestellt werden. Dafür wurden die am Fraunhofer IAP entwickelten InP/ZnSe/ZnS-Mehrschalensysteme unter Einsatz verschiedener Methoden von der organischen in die wässrige Phase überführt. Die Überführung in die wässrige Phase wurde sowohl durch Ligandenaustauschreaktionen von Carboxylliganden (Stearat) gegen verschiedene Thiolcarbonsäuren (z.B. 3-Mercaptopropionsäure, Dihydroliponsäure) als auch durch das Aufbringen einer Silikathülle realisiert. Die so dargestellten Quantenpunkte zeigten mit bis zu 45 Prozent Quantenausbeute im Vergleich zu kommerziell erhältlichen Indiumphosphid-Quantenpunkten eine deutlich bessere Performance (Fig. 2, Messungen des Kooperationspartners Universität Potsdam). Dabei leuchteten die Quantenpunkte des Fraunhofer IAP bis zu fünfmal heller als zum Beispiel Quantenpunkte von den Firmen AC-Diagnostics (ACD, www.acdiainc.com) oder NN-Labs (NN, www.nn-labs.com).

Für bioanalytische Anwendungen spielt neben der Leuchtkraft jedoch auch die Langzeitstabilität eine wichtige Rolle, da analytische Kits teils mehrere Monate lagern, bevor sie verwendet werden. Erste Untersuchungen zeigen, dass die Quantenpunkte des Fraunhofer IAP bei kühlen und/oder dunklen Lagerungsbedingungen über mehrere Wochen stabil in ihrer Quantenausbeute sowie Emissionswellenlänge sind (Fig. 3).

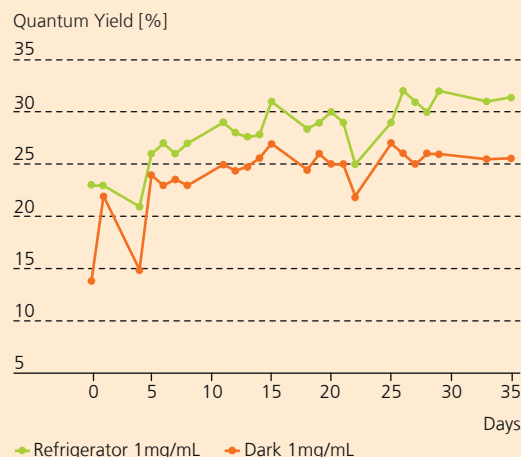
Nach der Überführung in die wässrige Phase wurden die Indiumphosphid-Quantenpunkte mit Aptameren als Erkennungselement funktionalisiert, um gezielt Biomoleküle binden zu können. Im Rahmen des »Endoprove«-Projekts sollen diese Erkennungsmoleküle letztendlich genutzt werden, um spezifisch Endotoxine zu binden. Über das Auslesen der Quantenpunkt-Lumineszenz kann so die Menge der Endotoxine bestimmt werden.

Literatur Literature

- [1] X. He, N. Ma: *An overview of recent advances in quantum dots for biomedical applications*, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 124, pp. 118–131 (2014)
- [2] European Union Directive 2002/95/EG, 2011/65/EU
- [3] Patent application: *Luminescent, cadmium-free core/multi-shell quantum dots on the basis of indium phosphide* WO 2013 127 662 A1



2



3

Water dispersible cadmium free quantum dots for bioanalytical applications

Quantum dots (Fig. 1) have attracted a lot of attention in research and development due to their applicability in various fields including the lighting and display industry as well as in bio-analytical experiments as luminescence markers [1]. These applications are possible because of the unique luminescence properties of this type of material such as high quantum yield, color purity and stability. Predominantly, cadmium based systems have already been thoroughly investigated. Due to environmental and health risks connected to cadmium, its use is restricted through the RoHS-directives ("Restriction of hazardous substances") [2]. In the past few years, these restrictions have resulted in increased research and development efforts in the field of alternative cadmium free quantum dots. The Fraunhofer IAP has contributed to these developments by investigating indium phosphide quantum dots [3].

Within the scope of these developments, the BMBF supported project "Endoprove" was realized. This project aims to develop a test for fast and reliable Point-of-Use-detection of endotoxins during the production of biopharmaceuticals (Endotoxin Point-of-rapid-Use).

During the Endoprove project, water dispersible indium phosphide quantum dots were synthesized for the first time at the Fraunhofer IAP. For these systems, special InP/ZnSe/ZnS multishell quantum dots, invented at the Fraunhofer IAP, were transferred from the organic to the aqueous phase. The phase transfer was realized through ligand exchange reactions of carboxylic ligands (stearate) with thiocarboxylic acids (e.g. mercapto propionic acid, dihydrolipoic acid) as well as by applying a silica shell. The phase transfer reactions resulted in quantum dots with a quantum yield of up to 45 percent, which is very high compared to commercially available water dispersible indium phosphide quantum dots (Fig. 2, measurements from the Physical Chemistry group at the University of Potsdam). Here, quantum dots from the Fraunhofer IAP show up to five times more luminescence compared to quantum dots from AC-Diagnostics (ACD, www.acdiainc.com) or NN-Labs (NN, www.nn-labs.com).

For bioanalytical applications, long term stability is very important in addition to luminosity because bioanalytical test kits are often stored for several months prior to use. Initial investigations show that quantum dots from the Fraunhofer IAP are stable under dark and/or cool storage conditions with regards to quantum yield and emission wavelength for several weeks (Fig. 3).

After the phase transfer, the indium phosphide quantum dots were functionalized with aptamers as recognition elements to be able to bind specific biomolecules. In the scope of the "Endoprove" project, these detection particles will be used to bind specific to endotoxins. The luminescence signal of the quantum dots can then be correlated to the amount of endotoxins present in a sample.



Dr. André Geßner

Telefon +49 331 568-3331

Fax +49 331 568-3910

andre.gessner@iap.fraunhofer.de

Dr. Armin Wedel

Telefon +49 331 568-1910

Fax +49 331 568-3910

armin.wedel@iap.fraunhofer.de

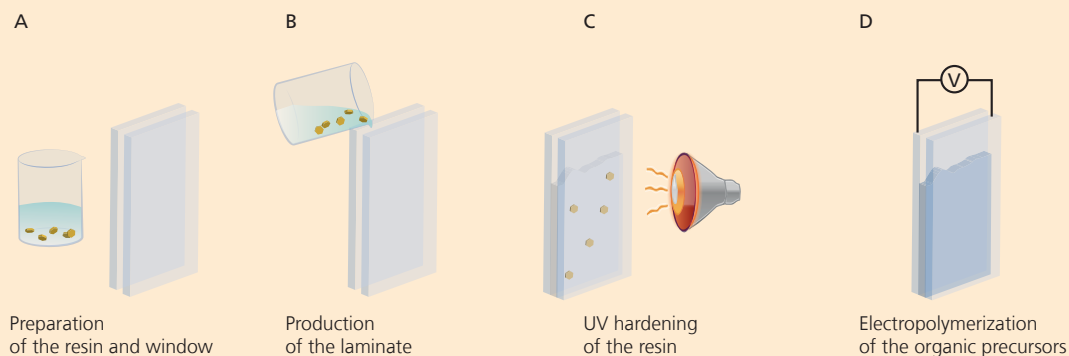
Kontakt Contact

Förderung Funding

– Bundesministerium für
Bildung und Forschung (BMBF)
Projekt »Endoprove«

Kooperation Collaboration

– Universität Potsdam,
Physikalische Chemie
– AJ Innuscreen, Berlin
– biotechrabbit GmbH, Hennigsdorf
– Minerva Biolabs GmbH, Berlin



1

Extrem stabile Glasverbünde durch elektrochromes Gießharz

Durch das Anlegen einer elektrischen Spannung können elektrochrome Gläser zwischen verschiedenen Farbzuständen hin und her geschaltet werden. Bei den etablierten elektrochromen Verglasungen kommen Metalloxide wie Wolframoxid (WO_3) zum Einsatz. Diese werden auf ein leitfähiges Glassubstrat aufgedampft. Schichten aus Fluor dotiertem Zinnoxid (FTO) haben sich als kostengünstiges Elektrodenmaterial durchgesetzt. Diese Schichten sorgen für eine gute Oberflächenleitfähigkeit, besitzen aber dennoch ausreichend Transparenz für die Verwendung auf Gläsern. Diese elektrochromen Materialien färben sich durch eine elektrochemische Reaktion mit den Lithiumionen des Leitsalzes in einem Gelelektrolyten, der sich zwischen zwei transparenten Elektroden befindet.

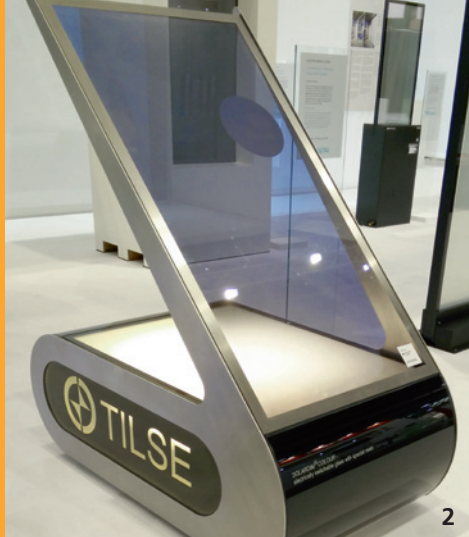
Doch nicht nur die zumeist giftigen anorganischen Metalloxide besitzen elektrochrome Eigenschaften. Auch organische, konjugierte Polymere können durch den Wechsel zwischen einer neutralen und einer oxidierten Form Farbwechseleigenschaften besitzen. Als Monomere in ein leitfähiges Medium gemischt, können sie durch Anlegen einer spezifischen Polymerisationsspannung direkt auf dem leitfähigen Substrat polymerisiert werden. Neben der technologisch einfacheren Herstellung polymerbasierter, elektrochromer Fenster, eröffnen die organischen Systeme die Türen für eine größere Farbvielfalt bei den bislang von blau dominierten elektrochromen Gläsern. Durch die Wahl geeigneter Vorstufen können so neue Spektralbereiche erschlossen werden.

Um für die anspruchsvolle Anwendung in der Architektur in Betracht zu kommen, muss ein Glasverbund nicht nur visuell ansprechend sein, sondern auch mechanisch äußerste Stabilität aufweisen. Deshalb werden die monomeren Vorstufen der elektrochromen Polymere in ein speziell entwickeltes, elektrisch leitfähiges Gießharz gegeben, welches zwischen zwei FTO-beschichteten Gläsern durch UV-Bestrahlung gehärtet wird (Fig. 1). Im Anschluss hält ein so hergestelltes Glas sehr hohen Beanspruchungen stand und erfüllt die Voraussetzungen, die für begehbare oder Überkopfverglasung gelten. Gleichzeitig behält das Gießharz aber seine hervorragende Leitfähigkeit.

Die elektrochromen Eigenschaften erhält das Fenster erst nach der Härtung des Gießharzes. Durch das Anlegen einer Spannung wird die elektrochrome Polymerschicht auf einer der transparenten Elektroden abgeschieden. Die Farbintensität der elektrochromen Schaltung kann durch die Polymerisationsdauer gesteuert werden. Die Schaltung zwischen dem farbigen und dem farblosen Zustand kann anschließend bei einer geringeren Spannung von wenigen Volt realisiert werden. Zudem ist der Stromverbrauch extrem gering. Bis zum Erreichen des Farbmaximums einer $1,2 \text{ m}^2$ großen Scheibe vergehen zwischen 20–30 Sekunden (Fig. 2). Die Schaltzeit liegt damit deutlich unter den 10–15 Minuten, die vergehen um eine WO_3 -basierende Scheibe zu schalten. Kleine Scheiben von unter 100 cm^2 schalten bereits binnen 1–2 Sekunden und sind damit für den Einsatz als Anzeigeelement geeignet.

1 Schematic representation of the production steps for an electrochromic resin-based pane.

2 The 1.2 m² sized pane exhibited at Glasstec 2016 in Düsseldorf.



Extremely stable panes by an electrochromic casting resin

Electrochromic panes can be switched between different colored states by applying voltage. Classical electrochromic glasses are produced by vacuum deposition of metal oxides as tungsten oxide on a conducting glass substrate. The electrode material of choice is the low-cost fluorine-doped tin oxide (FTO). That layer provides the necessary surface conductivity but is still sufficiently transparent for the use on glass. The mentioned electrochromic compounds change their color by an electrochemical reaction with lithium ions from the conducting salt in a gel electrolyte. That conductive lightly cross-linked gel electrolyte is used to combine both panes to a laminate.

But not only inorganic metal oxides inherit electrochromic properties. Highly conjugated organic polymers can alter their color as well when changing between an oxidized and a neutral form. Being mixed in a conductive matrix, those can be polymerized on a conductive substrate by the application of a specific voltage. Besides the simple manufacturing of the polymer based electrochromic windows, the organic synthesis of the corresponding precursor materials offers the opportunities for a larger color variety in the so far blue dominated electrochromic panes market.

Electrochromic windows have to be not only visually appealing but also mechanically extremely stable to be considered for the demanding application in architecture. Therefore, the monomeric precursors are blended with a specifically developed electrically conductive resin which is cured between two FTO-coated glasses by UV irradiation (Fig. 1). That results in a window withstanding very high stresses and fulfilling the prerequisites which apply to walkable or overhead glazing. However, at the same time, the casting resin retains an excellent conductivity.

The electrochromic properties are obtained after the hardening of the resin: By applying a voltage, the electrochromic layer is deposited on one of the transparent electrodes. A variation of the polymerization time can be used to individualize the switching intensity.

The actual electrochromic switching takes place at a lower voltage of only a few volts. In addition, the power consumption is extremely low. Only 20–30 seconds pass until a 1.2 m² (~13 sqft) sized pane reaches the color maximum (Fig. 2). The switching time is clearly below the 10–15 minutes that a WO₃ based window needs. Small electrochromic cells of less than 100 cm² already switch within 1–2 seconds and are thus suitable for use as a display element.



Dr. Volker Eberhardt

Telefon +49 331 568-2323

Fax +49 331 568-3000

volker.eberhardt@iap.fraunhofer.de

Dr. Christian Rabe

Telefon +49 331 568-2320

Fax +49 331 568-3000

christian.rabe@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Projektträger Jülich (PTJ) im Rahmen der Initiative für energieoptimiertes Bauen (EnOB) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Kooperation Collaboration

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

SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK

SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

- 58** **Material- und Prozessentwicklung**
Material and process development
- 62** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 66** **Wirkstoff-Formulierungen und Trägersysteme für innovative Nahrungsergänzungsmittel**
Drug formulations and carrier systems for innovative food supplement products
- 68** **Neue Vernetzungskonzepte für Weißleime**
New cross-linking concepts for white glues



pioneers in polymers



MATERIAL- UND PROZESSENTWICKLUNG

Der Forschungsbereich Synthese- und Polymertechnik hält umfangreiche Angebote zu den Themen Material- und Prozessentwicklung bereit. Dabei besteht ein ausgewogener Mix an Kompetenzen in den Abteilungen Mikroverkapselung/Partikelanwendungen, Polymersynthese und Formgedächtnispolymere. Das bisherige Arbeitsgebiet Membrantechnologien wurde durch eine Umstrukturierungsmaßnahme in Richtung der Bioverfahrenstechnik ausgedehnt. Die Leitung der neuen Abteilung Funktionsintegrierende Polymerfilme wurde von Dr. Murat Tutus übernommen. Das hinzugewonnene bioverfahrenstechnische Know-how führte bereits zu einer spürbaren Verbesserung der Angebotsdichte und eröffnet neue Perspektiven für interdisziplinäre Zusammenarbeit. Mit diesem Leistungsportfolio ist der Forschungsbereich für die Zukunft gut aufgestellt, um die richtigen Märkte durch Material- und Prozessentwicklung zu adressieren.

Die Arbeiten der Abteilung Funktionsintegrierende Polymerfilme sind auf die Entwicklung von ressourceneffizienten Prozessen zur Herstellung von Membranen und Folien ausgerichtet. Der Fokus bei Membranen erstreckt sich von Hohlfasern bis Flachmembranen für die Gastrennung, Nanofiltration organischer Lösungsmittel bis hin zu Brennstoffzellen. Bei den Folienarbeiten liegt das Augenmerk auf der Veredelung der Oberflächen bestehender Systeme. Hierfür werden insbesondere funktionelle Beschichtungen aufgebracht. Ein Großteil der Folien wird im Endkundenmarkt genutzt. Sie unterliegen einem sich ständig ändernden, gesellschaftlich geprägten Anforderungsprofil. Dazu zählen eine geringere Schadstoffpermeation, bessere Abbaubarkeit und eine vollständigere Restentleerbarkeit. Die Entwicklung proteinogener Materialien ist ein weiterer zentraler Arbeitsschwerpunkt.

Mikroverkapselung, das heißt die Umhüllung von feinteiligen Feststoffen oder von kleinen Flüssigkeitstropfen mit einer polymeren Wand, ist eines der zentralen Arbeitsgebiete der Abteilung Mikroverkapselung/Partikelanwendungen. Eine der wichtigsten und technisch breit genutzten Kapseltechnologien nutzt formaldehydhaltige Melaminharze zum Aufbau der Kapselwand. Mit der Neueinstufung von Formaldehyd als »mutagen« nach der CLP-Verordnung und »karzinogen« der

Klasse 1B steht die Anwendung dieser Harze zunehmend auf dem Prüfstand. Das betrifft nicht nur deren Einsatz für Anwendungen im Bereich der Mikroverkapselung, weitaus größere Bedeutung haben Aminoharze als Leim im Holzwerkstoffbereich und als Imprägnierharz für Dekorpapiere. So liegt allein in Deutschland der jährliche Bedarf an Aminoharzen für die Herstellung von Holzwerkstoffen bei ca. 700 000 Tonnen. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen verschiedener Projekte Melaminharze basierend auf alternativen Aldehyden wie Glyoxylsäure und Glyoxal synthetisiert und zusammen mit Kooperationspartnern hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten im Holzwerkstoffbereich untersucht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die formaldehydfreien Melaminharze ebenfalls für derartige Anwendungen geeignet sind, dass aber noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, um sie als Konkurrenz zu den formaldehydhaltigen Harzen nutzen zu können. Das betrifft gleichermaßen den Preis und anwendungsrelevante Eigenschaften wie die Feuchtigkeitsaufnahme. In Hinblick auf den Preis lag 2016 der Fokus verstärkt auf Harnstoffharzen. Zur Verbesserung der hygrischen Eigenschaften wurde zum Beispiel Glykolaldehyd in das Portfolio der alternativen Aldehyde aufgenommen.

Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Erweiterung des Einsatzspektrums der formaldehydfreien Aminoharze. In laufenden Projekten wird ergänzend der Einsatz der Harze für Lackanwendungen (als Vernetzungskomponente bzw. als Alleinbindemittel von Einbrennlacken) sowie als Fließhilfsmittel für mineralisch gebundene Bauprodukte untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich auch in diesen Bereichen neue Anwendungsfelder für die formaldehydfreien Aminoharze eröffnen.

Die Abteilung Polymersynthese adressiert sowohl material- als auch prozessseitige Aspekte innerhalb der Synthese von Kunststoffen, wobei Materialien auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen einen Schwerpunkt bilden. Sowohl den Märkten für langlebige biobasierte als auch für biologisch abbaubare Kunststoffe wird ein Wachstum von ca. 50 Prozent innerhalb der nächsten 5 Jahre prognostiziert. In diesem Kontext liegt ein Fokus innerhalb unserer Entwicklungen zur Synthese applikationsoptimierter Polylactid (PLA)-Typen auf Untersuchungen zur



Vereinfachung des technisch implementierten Syntheseprozesses, beispielsweise unter Nutzung einer Kettenverlängerung kurzer telecheler PLA-Ketten. Nach der Demonstration der Machbarkeit des Syntheseweges konzentrieren sich die Arbeiten auf Untersuchungen zur technischen Umsetzbarkeit sowie Möglichkeiten, die Syntheseroute gleichzeitig für den Aufbau maßgeschneiderter Strukturen wie Stereoblock-PLA, PLA mit Weichblöcken etc. für spezielle Anwendungen zu nutzen. Vor dem Hintergrund einer für die nächsten 3 Jahre erwarteten Markteinführung von Furandicarbonsäure, einem neuen bio-basierten Baustein mit dem Potenzial, Terephthalsäure in Kunststoffen zu ersetzen, werden gegenwärtig Konzepte für entsprechende Materialentwicklungen innerhalb verschiedener Polymerklassen erarbeitet.

Neben diesen Aktivitäten werden auch Arbeiten zur Synthese neuer erdölbasierender Polymersysteme für spezifische Anwendungen, vor allem unter Nutzung von Heterophasenpolymerisationsprozessen, vorangetrieben. Hervorzuheben ist die Entwicklung eines Polyacrylnitril (PAN) basierten thermoplastisch verarbeitbaren Precursormaterials für Carbonfasern. Im geschmolzenen Zustand verfügt das Material über eine für derartige Copolymere bisher unerreichte hohe thermische Stabilität. Die damit eröffnete Möglichkeit einer Filamentherstellung mittels Schmelzspinnen kann den Weg zu preisgünstigeren C-Fasern für Anwendungen zum Beispiel im Automobilbereich ebnen. Im Zuge der Arbeiten konnte auch ein Emulsionspolymerisationsprozess zur Herstellung von PAN-Copolymeren im Kilogramm-Maßstab entwickelt werden. Um derartige Prozesse künftig noch effizienter entwickeln zu können, wurde im Rahmen einer strategischen Kooperation mit der Firma PDW Analytics GmbH aus Potsdam die Möglichkeit geschaffen, mit der Photonendichtewellenspektroskopie eine neuartige Prozessanalytik in die vorhandene RC1e-basierte Prozessentwicklungsstation einzubinden, was eine online-Verfolgung von Partikelgrößen im Nanometerbereich erlaubt.

Die Abteilung Formgedächtnispolymere ist auf die Synthese, Verarbeitung und Charakterisierung von Formgedächtnispolymeren spezialisiert. Dabei handelt es sich um leistungsstarke Funktionswerkstoffe, die imstande sind, eine im Rahmen einer Programmierung aufgezwungene Form so lange beizubehalten,

bis sie über ihre Schalttemperatur erwärmt werden. Daraufhin nehmen sie fast wieder ihre Ursprungsform an. Die jüngsten Entwicklungen in der Abteilung waren von der Synthese neuartiger Formgedächtnispolymere gekennzeichnet. Zeitgleich wurde die Geräteausstattung sukzessive erweitert. Im Mittelpunkt der Geräteinvestitionen stand die Anschaffung eines Universalprüfsystems, das mit einer Temperierkammer ausgerüstet ist. Hiermit werden zukünftig innovative Programmierungsverfahren erprobt. Das System ist für die Untersuchung von Proben in Zug-, Druck- und 3-Punkt-Biegeversuchen mit Kräften von bis zu 50 Kilonewton für den Temperaturbereich von -40 °C bis 200 °C ausgelegt. Dabei sind auch berührungslose Messungen mit einem Laserextensometer möglich. Zusätzlich können die Vicat-Erweichungstemperatur und die Durchstoßfestigkeit von Polymeren bestimmt werden. Im Zuge weiterer Geräteinvestitionen wurden eine Kniehebelstanze, ein Filamentextruder und zwei nach dem Prinzip der Schmelzschichtung funktionierende 3D-Drucker angeschafft. Im Herbst 2016 konnten Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung eingeworben werden. Hiermit wird 2017 die Gerätebasis sukzessive verstärkt.

Einsatzchancen für Formgedächtnispolymere bietet der Produktschutz. Durch eine thermisch induzierbare Formänderung können Informationen über die Echtheit eines Produkts preisgegeben werden. Auch in der Sensorik können die smarten Polymere als Überwachungstechnologie zum Einhalten von Kühlketten wichtige Beiträge leisten. In selbstaufrichtenden Strukturen haben sie das Potenzial, den Montageaufwand von Folien- und Wandertunneln auf ein Minimum zu reduzieren. Zu den bereits etablierten Anwendungen zählen als Kabelschutz eingesetzte Schrumpfschläuche, als Packmittel bewährte Schrumpffolien, im Backofen schrumpfende Spielzeuge und sich der Fußform anpassende Schuhsohlen.

MATERIAL AND PROCESS DEVELOPMENT

The Synthesis and Polymer Technology research division offers a wide range of material and process development services thanks to the balanced mix of expertise in its departments of Microencapsulation/Particle Applications, Polymer Synthesis and Shape-Memory Polymers. The field membrane technology has expanded to include bioprocess engineering. Dr. Murat Tutus has taken over as head of the new Function Integrated Polymer Films department. The acquired bioprocess engineering know-how has led to a noticeable improvement in the range of services on offer and has created new opportunities for interdisciplinary cooperation. Its service portfolio means the research division is well-positioned to address the right markets in the future through material and process development.

The research activities in the Function Integrated Polymer Films department are oriented towards resource-efficient processes for producing membranes and films. In the case of membranes, this ranges from hollow fibers to flat membranes for gas separation, nanofiltration of organic solvents and fuel cells. The work on films focuses on refining the surfaces of existing systems, for example, by applying functional coatings. The majority of the films are used by end consumers and are subject to a constantly changing, socially defined requirement profile. This includes low contaminant permeation, enhanced biodegradability and the ability to completely empty residual contents. The development of proteinogenic materials is another key focus of the research carried out in the department.

Microencapsulation, in other words enveloping a fine solid material or small drop of liquid in a polymer wall, is one of the key research areas of the Microencapsulation/Particle Applications department. One of the most important and widely used encapsulation technologies uses melamine resins containing formaldehyde to construct the capsule wall. Since the CLP Regulation reclassified formaldehyde to be "mutagenic" and "carcinogenic" as per Class 1B, the use of this resin has been increasingly placed under scrutiny. This not only affects its use in microencapsulation applications; amino resins play a much larger role in wood processing glue and as an impregnation

resin for décor paper. Around 700,000 tons of amino resins are used in the production of wood materials every year in Germany alone. As a result, melamine resins that use alternative aldehydes, such as glyoxylic acid and glyoxal, are being synthesized as part of various projects with cooperation partners in order to investigate the opportunities for use in the area of wood processing. The results have shown that the formaldehyde-free melamine resins are also suitable for these types of applications; however, further research and development is required before they can compete with resins containing formaldehyde. This applies equally to price and application-relevant properties such as moisture absorption. In terms of price, focus was increasingly placed on urea resins in 2016. In order to improve the hygric properties, glycolaldehyde was added to the list of alternative aldehydes.

Another focus is on expanding the spectrum of use of formaldehyde-free amino resins. Current projects are additionally investigating the use of resins in paint applications (as crosslinking components or as sole binders for baking varnishes) and as flow additives for mineral-bound building materials. Initial results show that new fields of application for formaldehyde-free amino resins are also opening up in these areas.

The Polymer Synthesis department investigates material and process-related aspects as part of the synthesis of plastics. Here, focus is placed on renewable materials. The markets for long-life, biobased and bio-degradable plastics are forecasted to grow by around 50 percent in the next five years. Thus our developments in synthesizing application-optimized types of polylactide acid (PLA) focus on simplifying technical synthesis processes, for example using chain elongation of short telechelic PLA chains. After demonstrating the feasibility of this synthetic pathway, our work has concentrated on investigating how it can be technically implemented and what opportunities there are to simultaneously use the synthetic pathway to construct tailored structures such as stereoblock PLA, PLA with soft blocks etc. for special applications. With the knowledge that furandicarboxylic acid, a new biobased

component with the potential to replace terephthalic acid in plastics, will be introduced on the market within the next three years, concepts are currently being developed to innovate corresponding materials in various polymer classes.

In addition to these activities, work is advancing on synthesizing new petroleum-based polymer systems for specific applications, above all using heterophase polymerization processes. Of note is the development of a polyacrylonitrile (PAN)-based, thermoplastically processable precursor material for carbon fibers. In its melted state the material has a high thermal stability which had been unachievable up until now for such copolymers. This has opened up the possibility of manufacturing a filament using melt spinning which can smooth the way for less expensive C fibers for applications in, for example, the automotive industry. In the course of these investigations, an emulsion polymerization process has been developed to produce PAN copolymers on a kilogram scale. In order to make the development of such processes more efficient in the future, a strategic cooperation with the company PDW Analytics GmbH in Potsdam has found a way to use photon density wave spectroscopy to incorporate a new form of process analysis into the existing RC 1e-based process development stage. This enables nanometer-sized particles to be tracked online.

The Shape-Memory Polymers department specializes in the synthesis, processing and characterization of shape-memory polymers. These are high-performance functional materials which, after programming, are capable of maintaining a specific shape until they are warmed up to their switching temperature. Once they reach this temperature they are able to almost completely assume their original form again. The latest developments in the department were marked by the synthesis of novel shape-memory polymers. At the same time we successively extended our inventory of equipment. The centerpiece of this equipment investment was the acquisition of a universal testing system that is equipped with a temperature chamber. It will be used to test innovative programming processes in the future. The system is designed to analyze samples using

tensile, pressure and 3-point bending tests with forces of up to 50 kilonewtons and temperatures ranging from -40 °C to 200 °C. At the same time, contactless measurements with a laser extensometer are possible. It can also determine the Vicat softening temperature and the penetration resistance of polymers. Further equipment was acquired including a knee-lever die cutter, a filament extruder, and two 3D printers that use the principle of fused filament fabrication. In the fall of 2016 we were able to obtain funding from the European Regional Development Fund. We will successively add to our range of equipment in 2017.

Product protection is one area in which shape-memory polymers can be used. Information about a product's authenticity can be obtained through a thermally induced shape change. The smart polymers can also be used in the area of sensor technology for monitoring the maintenance of cold chains. In self-righting structures they have the potential to greatly reduce the installation times of mobile film tunnels. Applications that have already been established include shrink tubes to protect cables, shrink films used as packaging materials, shrinkable toys, and shoe insoles that adapt to the form of the foot.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Polymersynthese

Produktentwicklung

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

Prozessentwicklung

- 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 Futtermittelergänzungstoffe, Kunststoffadditive, Reaktionskomponenten für Kleb- und Dichtstoffe und andere Komponenten)

Charakterisierung

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

Funktionsintegrierte Polymerfilme

Materialsynthese

- funktionale Beschichtung (z.B. antibiotisch)
- proteinogene Filme und Membranen
- REACH konforme Membran- und Foliensynthese

Membranentwicklung

- Herstellung und Charakterisierung von Dünnschicht-Compositmembranen
- Herstellung und Charakterisierung von Flachmembranen und Hohlfasern
- Membranen für Batterien, Brennstoffzellen, Gas- und Flüssigkeitstrennung
- Messung der Gaspermabilität von konventionellen und biologischen Polymeren

Engineering

- Anlagenmodifikation und -bau
- Produkt- und Verfahrensentwicklung
- wissenschaftliche und technische Beratung

Formgedächtnispolymere

- Materialentwicklung
- Anwendung und Bereitstellung von Strategien zur Polymerveredelung
- Entwicklung stimuli-responsiver, multifunktionaler Polymermaterialien
- Untersuchungen zu den Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
- Verfahren zur Kontrolle der Formgedächtniseigenschaften: Programmierung von Einweg- und Zweiweg-Formgedächtniseffekten sowie von Temperatureffekten
- Untersuchungen zur Lebensdauer
- Messtechnik zur Bestimmung von Form- und Temperatureffekten
- Beratung zur Polymerauswahl und zur Prozesstechnik
- Erstellung von Machbarkeitsstudien



Forschungsbereichsleiter | Division director
Dr. Thorsten Pretsch

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

Funktionsintegrierte Polymerfilme
Function Integrated Polymer Films

Dr. Murat Tutuş

Telefon +49 331 568-3211

Fax +49 331 568-3000

murat.tutus@iap.fraunhofer.de

APPLICATIONS AND SERVICES

Polymer synthesis

Product development

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

Process development

- 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)
-

Function integrated polymer films

Material synthesis

- functional coating
(e.g. antibiotic)
- proteinogenic films and
membranes
- REACH conformable
membrane and film synthesis

Membrane development

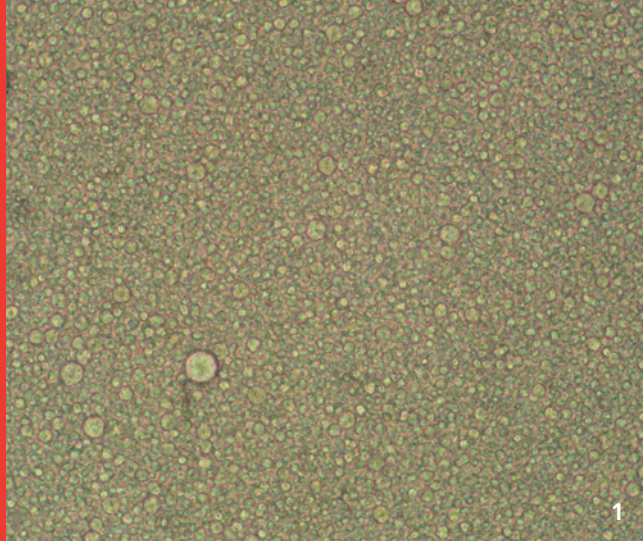
- flat sheet membrane and
hollow fiber preparation
and characterization
- membranes for batteries,
fuel cells, gas and liquid
separation
- measurement of gas per-
meability of conventional
and biological polymers
- preparation and
characterization of thin film
composite membranes

Engineering

- machine building and
modification
 - product and process
development
 - scientific and technical
consulting
-

Shape-memory polymers

- material development
 - refinement of polymers
 - development of stimuli-
responsive, multifunctional
polymer materials
 - investigation of structure-
property relationships
 - procedures to control
shape-memory proper-
ties: programming of
one-way and two-way
shape-memory effects and
of temperature-memory
effects
 - measurement technique to
determine shape-memory
and temperature-memory
properties
 - durability analyses
 - advice about polymer
materials and process
technology
 - feasibility studies
-



1 Plant oil mini-emulsion under the light microscope (phase contrast, magnification 500).

2 Combination of plant oil mini-emulsions with berry juice containing anthocyanins.

3 Spraying plant oil mini-emulsions containing lutein ester.

Wirkstoff-Formulierungen und Trägersysteme für innovative Nahrungsergänzungsmittel

In einer alternden Gesellschaft entwickeln sich neue Bedürfnisse, auf die Forschung und Entwicklung reagieren sollten. Gesundheit und Lebensqualität bis in ein hohes Alter erfordern mehr Aufwand für Stoffwechsel und Versorgung. Ein junger Mensch, der sich ausgewogen und gesund ernährt, nimmt dabei alles auf, was der Körper an Spurenelementen, Vitaminen und Mineralstoffen benötigt. Bei älteren Menschen sinkt dagegen die Effizienz der Stoffaufnahme. Daher müssen lebenswichtige Substanzen zugeführt werden, zum Beispiel über Nahrungsergänzungsmittel.

Der Wirkstoff Lutein verhindert die Makuladegeneration, das heißt, er sorgt für die Hell-Dunkel-Wahrnehmung und ausreichenden Farbkontrast beim Sehen. Luteinester färbt die Blütenblätter der Studentenblume (*Tagetes*) intensiv gelborange. Sie stellen die natürliche Quelle für eine Gewinnung des Wirkstoffs per Extraktion dar. Lutein und Luteinester sind öllöslich. Der Begriff »Anthocyane« umschreibt eine Gruppe wasserlöslicher, farbiger Substanzen, die im Organismus unter anderem als Radikalfänger wirken. Sie kommen in intensiv gefärbten Beeren (Brombeere, Holunder, Heidelbeere) und in Herbstblättern der Laubbäume vor. Im Rahmen eines Mittelstandsförderprojekts beteiligte sich das Fraunhofer IAP an der modellhaften Entwicklung von zwei Nahrungsergänzungsmitteln für die altersgerechte Versorgung. Die Erarbeitung stabiler Wirkstoff-Formulierungen und die Präparation von Trägersystemen für a) öllösliche und b) wasserlösliche Wirkstoffe war Part des Fraunhofer IAP.

Eine geeignete Trägerphase für öllösliche Wirkstoffe stellen Pflanzenöle dar (Sonnenblume, Raps, Mandel, Olive). Für die Versorgung mit Lutein – in Form von Luteinester – wurde daher ein Pumpspray auf der Basis einer stabilen Pflanzenöl-Miniemulsion konzipiert, das in der Wasserphase zusätzlich Vitamine und Mineralstoffe enthält. Das Grundkonzept für diese Miniemulsion wurde der Monomer-Emulgierung für eine Miniemulsionspolymerisation entlehnt, ebenso die Präparationstechnik. Das heißt, per Ultraschalldispersion oder per Hochdruckhomogenisation wurde die Ölphase in Tröpfchenform in Wasser verteilt und mit Hilfe eines pharmazeutisch zugelassenen Emulgators kolloidal stabilisiert. Die Tröpfchengrößenverteilung wurde mit 0,1–0,7 Mikrometer für eine Lagerfähigkeit von mehr als einem Jahr eingestellt (Fig. 1).

Für die wasserlöslichen Anthocyane wurden hydrophile Nanogel-Teilchen um 150 Nanometer synthetisiert. Die dafür eingesetzte Heterophasen-Polymerisation in Wasser führte zu einem Methacrylat-Copolymer, das in seiner Zusammensetzung dem für Mikrokapseln pharmazeutisch zugelassenen EUDRAGIT entspricht. Mit Anthocyan beladene Nanogel-Teilchen können sowohl in einer wässrigen Formulierung, als auch in einer inversen Emulsion (Wasser in Öl) appliziert werden. Mit der Beladung der Träger wird ein Schutz für die empfindlichen Wirkstoffe, aber auch ein Depot-Effekt angestrebt.

In der Endphase der Entwicklungsarbeiten wurden beide Konzepte miteinander kombiniert. Die Wasserphase der stabilen Pflanzenöl-Miniemulsion (mit Luteinester in den Öltröpfchen) wurde durch stark anthocyanhaltigen Beerensaft ersetzt (Fig. 2). Die Lagerstabilität aller Formulierungen wurde durch Größenanalytik auf kolloidaler Ebene und Tests auf Versprühbarkeit periodisch überprüft (Fig. 3). Die Produktion des Lutein-Pumpsprays wird in Kürze gestartet.

Literatur Literature

[1] M. Khalil, J. Railaa, M. Alia, K. M. S. Islam, R. Schenk, J.-P. Krausec, F. J. Schweigert, H. Rawel: *Stability and bioavailability of lutein ester supplements from Tagetes flower prepared under food processing conditions*, Journal of Functional Foods 4, pp. 602–610 (2012)



Drug formulations and carrier systems for innovative food supplement products

An aging society develops new requirements that need to be addressed by research and development. Enjoying good health and a high quality of life long into old age requires more effort when it comes to food intake and metabolism. Young persons who eat well-balanced and healthy food absorb all the necessary trace elements, vitamins and minerals they need. Nutrients are less efficiently absorbed as people age. Therefore, essential substances must be delivered, for example, in the form of dietary supplements.

Lutein prevents the degeneration of the macula which is responsible for the perception of brightness and darkness and for color contrast in eyesight. Lutein ester gives marigold petals their intensely yellow orange color which makes them a natural source of the drug. Lutein and lutein ester can dissolve in an oil phase. Anthocyanins are water-soluble, colored substances that capture free radicals inside the body. They can be found in intensely dark berries (blackberry, elderberry, blueberry) as well as in the autumn leaves of deciduous trees. As part of a project that promotes SMEs, the Fraunhofer IAP took part in a pilot project to develop two dietary supplements for age-related nutrition. The Fraunhofer IAP project team created stable drug formulations and prepared carrier systems for a) oil-soluble and b) water-soluble active components.

Plant oils (sun flower, rapeseed, almond, olive) represent suitable carrier phases for oil-soluble drugs. A pump spray based on a stable plant oil mini-emulsion was designed to supply lutein in the form of lutein ester. It also contained vitamins and minerals in the water phase. The basic concept for this mini-emulsion was taken from monomer emulsification used in mini-emulsion polymerization, another preparation technology. The oil phase was distributed in water in the form of small droplets using ultrasound and high-pressure homogenization. The small droplets were stabilized on a colloidal level by means of a pharmaceutically approved emulsifier. Droplet size distribution was adjusted to 0.1–0.7 micrometers (Fig. 1). This means that the formulation can be stored and used for more than one year.

Nanogel particles measuring around 150 nanometers were synthesized for water-soluble anthocyanins. Heterophase polymerization in water produced a methacrylate copolymer whose composition corresponds to EUDRAGIT which is pharmaceutically approved for microcapsules. Nanogel particles loaded with anthocyanins can be applied in an aqueous formulation and in an inverse emulsion (water in oil). By loading the carriers, the sensitive drugs are protected and a depot effect is produced.

Finally, both concepts were combined with each other. In other words, the water phase of the stable plant oil mini-emulsion (with lutein ester inside the oil droplets) was substituted by berry juice containing anthocyanins (Fig. 2). Storage stability of all of the formulations was periodically tested by size measurements on a colloidal level and through spray tests (Fig. 3). Production of the lutein pump spray will begin shortly.



Dipl.-Ing. Monika Jobmann

Telefon +49 331 568-1213

Fax +49 331 568-3000

monika.jobmann@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

- Arbeitsgemeinschaft für industrielle Forschung (Projekt GmbH Berlin)
- Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Kooperation Collaboration

- Hofmann & Sommer, Berlin-Adlershof
- Universität Potsdam, Ernährungs-wissenschaft Rehbrücke



1

Neue Vernetzungskonzepte für Weißleime

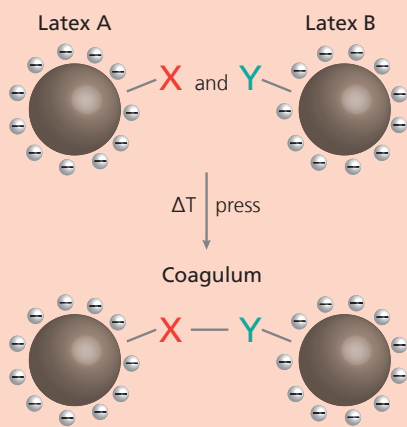
Weißleim ist ein formaldehydarker Holzleim, der sowohl von Hobbybastlern als auch im gewerblichen Handwerk eingesetzt wird. Weißleime auf Grundlage wässriger Polyvinylacetat (PVAc) Dispersionen leisten hierbei erstklassige Arbeit, egal ob es sich um einfache Bastelarbeiten, den Selbstbau von Terrarien, die Lamellierung von Fensterkanteln oder die Herstellung von Parkett, Leimholz- bzw. Mehrschichtplatten aus Massivholz handelt.

Die wichtigsten Vorteile der Weißleime sind a) die formaldehydarme Verleimung im Unterschied zu den häufig verwendeten Formaldehyd-Harzen, b) ein geringerer Klebstoffbedarf und c) deutlich kürzere Presszeiten bei der Kaltverleimung. Auch in Heißpressen bieten PVAc-Dispersionen Vorteile bei der Massivholzverleimung, da sie bei wesentlich geringeren Temperaturen verarbeitet werden können.

Damit PVAc-Holzleime auch für Massivholzprodukte mit Anwendungen in Feuchträumen im Innen- und Außenbereich eingesetzt werden können, muss der Leim die Beanspruchungsgruppe D3 oder D4 nach DIN EN 204/205 erfüllen (Fig. 1), das heißt witterungsbeständige Klebefugen liefern. Dies wird dadurch erreicht, dass man PVAc vernetzt, wobei zusätzlich kovalente Bindungen zwischen der Klebefuge und dem Holz ausgebildet werden können.

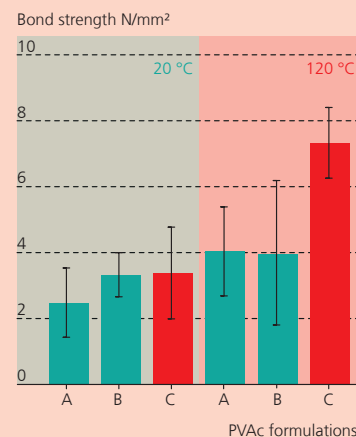
Kommerzielle D3- oder D4-PVAc-Systeme arbeiten auf Basis reaktiver Additive, die entweder nach Zugabe zum Basisleim sofort Vernetzungsreaktionen auslösen (kurze Topfzeit) und entsprechend als 2K-Lösung angeboten werden müssen. Andere Systeme wirken erst während der Trocknung vernetzend und können demzufolge als 1K-Lösung angeboten werden. Allerdings können solche Holzleime zum Aufschäumen neigen und damit die Festigkeit der Klebefuge beeinträchtigen oder sie weisen einen sauren pH-Wert auf, wodurch es zu unerwünschten Holzverfärbungen kommen kann.

Dagegen verfolgt unser Beitrag zur Entwicklung von 1K-D4-PVAc-Holzleimen einen konvergenten Ansatz (Fig. 2). Zwei modifizierte PVAc-Holzleime A und B mit den reaktiven Gruppen X und Y werden separat hergestellt und anschließend zu einem Holzleim C vermischt. Die Auswahl der reaktiven Gruppen erfolgt dabei so, dass sie bei erhöhter Temperatur eine Reaktion miteinander eingehen und das vernetzte Koagulat C bilden, wobei dieser Vorgang idealerweise während des Trocknungsvorgangs in der Presse stattfindet. Bei geeigneter Auswahl der funktionellen Gruppen und ihrer Konzentration ermöglicht dieses Konzept idealerweise lange Topfzeiten und die Realisierung neutraler PVAc-Holzleime. Erste Anwendungsversuche führten bereits zu ermutigenden Resultaten (Fig. 3), obwohl bisher keinerlei Optimierung der Gesamtkonzentration an funktionellen Gruppen, des Verhältnisses von X zu Y oder der Hydrophobie der Dispersion stattgefunden hat. Die einsetzende Vernetzung wird durch die verbesserten mechanischen Kennwerte eines Prüfkörpers, der mit einem Holzleim C bei erhöhter Temperatur verklebt wurde, sowohl im Vergleich mit Holzleim A oder B bei niedriger und erhöhter als auch mit Holzleim C bei niedriger Temperatur widergespiegelt.



2

- 1 Preparation of test pieces as defined in EN205. Image was taken before pressing. The test pieces are then cut and subjected to appropriate conditioning sequences as defined in EN204.
- 2 Approach for developing novel 1K-D4-PVAc dispersions.
- 3 The average strength in N/mm² of 10 valid test pieces. The initial tests clearly show that the non-optimized mixture C provides improved bond strength. Conditioning sequence: 7 days in standard atmosphere, 3 h in water at (20°C), and 7 days in standard atmosphere.



3

New cross-linking concepts for white glues

White glue is a low-formaldehyde wood adhesive which is used by hobbyists as well as the industry. White glues based on aqueous polyvinylacetate (PVAc) dispersions provide first-class bonding, regardless of whether it is about simple handicrafts, the self-construction of terraria, lamination of window-frame scantlings, or the manufacture of parquet, laminated timber or multiply panels made of solid wood.

The most important advantages of PVAc glues are a) the low-formaldehyde gluing unlike the frequently used formaldehyde-based resins, b) the lower amount of adhesive required for bonding, and c) considerably shorter pressing times in cold bonding. PVAc dispersions provide also advantages in solid wood bonding when hot pressing is applied, since they can be processed at much lower temperatures.

In order to use PVAc wood adhesives for solid wood products in wet rooms for interior and exterior applications, the adhesive must fulfill the requirements of the durability classes D3 or D4, respectively, according to EN 204/205 (Fig. 1), i.e. provide weather-proof bonding. This is achieved by cross-linking PVAc, whereby covalent bonds are additionally formed between the adhesive layer and timber.

Commercial D3- or D4-PVAc formulations contain reactive additives, which either induce cross-linking immediately after addition (short pot life) and hence are offered as two-component formulation. Different systems form cross-links only during processing and hence are offered as one-component formulation. However, such PVAc adhesives may tend to foam and thus affect the stability of the bonds or they exhibit an acidic pH, which might lead to undesired discoloration of sensitive woods.

In contrast, our contribution to the development of an one-component D4-PVAc adhesive pursues a convergent approach (Fig. 2). Two modified PVAc dispersions A and B containing the reactive groups X and Y are separately produced and then formulated to generate dispersion C. The reactive groups are selected in such a way that they react at elevated temperatures to form the cross-linked coagulum C, with the reaction occurring ideally only during drying in the press. If a suitable pair of reactive groups is selected, this concept provides long pot lives and affords formulations with a neutral pH. Initial tests led to promising results (Fig. 3), although optimizations of the concentration of reactive groups, the ratio of X and Y, and the hydrophobicity of the dispersion have not yet been done at all. The successful cross-linking is reflected by the increased mechanical properties obtained for hot-pressed test pieces made using adhesive C as compared to test pieces obtained using adhesive A or B alone at room and elevated temperatures or adhesive C at room temperature, respectively.



Dr. Daniel Zehm

Telefon +49 331 568-1318

Fax +49 331 568-3000

daniel.zehm@iap.fraunhofer.de

Dr. Antje Lieske

Telefon +49 331 568-1329

Fax +49 331 568-3000

antje.lieske@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

– Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V., AiF, FKZ 18385 BR

Kooperation Collaboration

– Institut für Holztechnologie, IHD, Dresden

LIFE SCIENCE UND BIOPROZESSE

LIFE SCIENCE AND BIOPROCESSES

- 70** Life Science und Bioprozesse
Life Science and Bioprocesses
- 72** Anwendungen und Dienstleistungen
Applications and services
- 76** Verbesserung der oralen Bioverfügbarkeit
von wasserlöslichen Medikamenten
Improving the oral bioavailability of water soluble drugs
- 78** Glykopolymere – Vielseitigkeit der Natur
in biofunktionellen Polymeren
Glycopolymers – nature's diversity in biofunctional
polymers



pioneers in polymers



LIFE SCIENCE UND BIOPROZESSE

LIFE SCIENCE AND BIOPROCESSES

Der Forschungsbereich Life Science und Bioprozesse wurde im Jahr 2016 teilweise neu aufgestellt. Durch die Zusammenlegung der Aktivitäten in den Bereichen Biotechnologie und Proteinmaterialien wurde die Abteilung Funktionale Proteinsysteme/Biotechnologie gebildet, die vom Forschungsbereichsleiter Professor Alexander Böker geleitet wird. Das Ziel der neuen Abteilung ist die Integration von funktionalen Bausteinen aus der Natur in polymere Werkstoffe. So werden beispielsweise neuartige Membranen aus Proteinen und synthetischen Polymeren erforscht und sollen in den nächsten Jahren bis zur industriellen Reife entwickelt werden. Proteinkanäle werden dafür mit synthetischen Polymeren kombiniert, um besondere Eigenschaften beider Materialien in den Membranen zu vereinen. Die Proteine fungieren dabei als die Membranporen. Dafür wird die starre Konformation und damit exakt einheitliche Porengröße der Proteinkanäle ausgenutzt. Die synthetischen Polymere bilden eine ultradünne Polymerschicht von 5–10 Nanometern rund um die Proteine. Bisher können Membranen mit einer Fläche von 20 Quadratzentimetern hergestellt werden. In den nächsten Jahren werden neue Fertigungsprozesse entwickelt, um stabile Membranen auch über große Flächen von mehr als einem Quadratmeter herstellen zu können.

Die Abteilung Funktionale Proteinsysteme/Biotechnologie ist zudem auf dem Gebiet der Glykopolymere aktiv und kann insbesondere bei den Produktionsmethoden einen deutlichen Fortschritt verzeichnen. 2016 standen insbesondere die wirtschaftliche Herstellung von Glykomonomeren und -polymeren im Vordergrund sowie der Einsatz von biogenen Rohstoffen. Der Grundstein für innovative Projekte sowohl im Rahmen des Leistungszentrums »Integration biologischer und physikalisch-chemischer Materialfunktionen« als auch mit dem Forschungsbereich PYCO wurde gelegt und wird die Einsatzmöglichkeiten dieser Substanzklasse weiter vergrößern. Zukünftig wird insbesondere auf Anwendungen im Bereich Diagnostik und Life Sciences gezielt, aber auch auf den Einsatz als biologische Funktionalität in Bulkunststoffen. Hierbei wird auch die sehr gute regionale Vernetzung nicht zuletzt auch im Rahmen des glyconetBB zu zahlreichen Forschungsprojekten mit starken Partnern aus Berlin und Brandenburg führen.

Darüber hinaus wurden neue Konzepte zur Enzymimmobilisierung und -modifizierung verfolgt. Der Einbau von Enzymen in polymere Matrices verspricht die Möglichkeit, diese außerhalb ihrer gewohnten Umgebung nicht nur zu stabilisieren und einer Wiederverwendbarkeit zugänglich zu machen, sondern auch biokatalytisch aktive, dünne Schichten zu generieren, an denen auf sehr effektive und vor allem spezifische Weise chemische Umsetzungen stattfinden können. Dies ist vor allem für den Bereich der Feinchemikaliensynthese und der Sensorik von Bedeutung. Im vergangenen Jahr konnte beispielsweise die Eignung thiolactonhaltiger Polymere als proteinreaktives Material zur Erzeugung dünner, enzymhaltiger Filme gezeigt werden. In Zukunft soll diese Chemie auf alternative, skalierbare Filmherstellungsmethoden analog einem Membranziehverfahren übertragen werden. Mit den resultierenden Filmen sollen dann konkrete biokatalytische Fragestellung adressiert werden, um konventionelle Syntheseverfahren für Feinchemikalien durch nachhaltigere Verfahren zu ersetzen. Erste Projekte befinden sich bereits in enger Zusammenarbeit mit Firmen aus dem Bereich der Enzymproduktion und der Feinchemikaliensynthese in der Antragsphase. Neben der Enzymimmobilisierung wollen wir auch neue Konzepte und Herstellungsverfahren für schaltbare Proteinaktivität entwickeln und etablieren. Hier soll es vor allem darum gehen, biokatalytische Prozesse gezielt durch externe Parameter wie der Temperatur von außen zu beeinflussen.

Die Abteilung Biomaterialien und Healthcare erhielt im Jahr 2016 ihren neuen Namen und erfuhre aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen in der Entwicklung von Implantaten erneut internationale Anerkennung in Form von Forschungspreisen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit wurde beispielsweise durch die Entwicklung von neuen Materialien für Prüfkörper und Nullserien für biologische und präklinische Prüfungen erfolgreich erweitert.

Damit einhergehend konnte das Fraunhofer IAP seine Führungsposition in der angewandten Forschung und Entwicklung im Biomaterial-, Healthcare, Kosmetik- und Biopolymerbereich für technische- und Life Science Applikationen verfestigen und durch verstärkte Anstrengungen in der Entwicklung von Brückentechnologien weitere Aktivitätsbereiche erschließen.



The Life Science and Bioprocesses research division was partially reorganized in 2016. The department of Functional Protein Systems/Biotechnology, led by the head of the research division, Professor Alexander Böker, was integrated by merging the activities in the fields of biotechnology and protein materials. The aim of the new department is to integrate functional components from nature into polymeric materials. Innovative membranes from proteins and synthetic polymers are being studied and will be developed in the coming years until they reach industrial maturity. To do this, protein channels are combined with synthetic polymers so that the properties of both materials are united in the membranes. The proteins function here as membrane pores. The rigid conformation and thus precise uniform pore size of the protein channels is utilized for this. The synthetic polymers form an ultra-thin polymer layer around the proteins that measures 5–10 nanometers. Until now, membranes with an area of 20 cubic centimeters have been produced. In the coming years, new production processes will be developed that will allow stable membranes to be produced with a larger surface area measuring more than one square meter.

The department of Functional Protein Systems/Biotechnology is also active in the area of glycopolymers and has made particular advancements in improving production methods. In 2016 focus was on the cost-efficient production of glycomonomers and polymers, as well as on the use of biogenic materials. The foundation for innovative projects in the framework of the High Performance Center "Integration of biological and physical-chemical material functions" and the PYCO research division is laid. These projects will further expand the field of application of this class of substances. In the future, particular focus will be placed on applications in the area of diagnostics and life sciences, and on their use as a biological functionality in bulk plastics. The excellent regional network, also as part of glyconetBB, will lead to numerous research projects with strong partners from Berlin and Brandenburg.

Furthermore, new concepts for enzyme immobilization and modification are being pursued. Integrating enzymes into polymer matrices promises not only to stabilize them outside their familiar environment and to open up the possibility of reusability, but also to generate active thin layers on which chemical transformations can take place in a very effective and, above all, specific way. This is of primary importance for fine chemical synthesis and sensor technology.

Last year we were able to show that polymers containing thiolactones are a protein-reactive material suitable for creating thin films that contain enzymes. In the future these chemicals will be applied to alternative, scalable film production methods similar to the membrane pultrusion process. The resulting films will enable concrete biocatalytic questions to be addressed so that conventional synthesis processes for fine chemicals can be replaced with more sustainable methods. Initial projects, in close collaboration with companies from the fields of enzyme production and fine chemical synthesis, are currently in the application phase.

In addition to enzyme immobilization, we aim to develop and establish new concepts and production processes for switchable protein activity. The goal is to specifically influence biocatalytic processes by external parameters such as temperature.

The department of Biomaterials and Healthcare was renamed in 2016 and, based on years of experience in the development of implants, received international recognition again in the form of research prizes. Research and development was successfully expanded, for example, to include the development of new materials for test specimens and pilot series for biological and preclinical tests.

Along with this, the Fraunhofer IAP was able to solidify its leading position in applied research and development in the areas of biomaterials, healthcare, cosmetics and biopolymers for technical and life science applications, and to develop other areas of activity through increased efforts in the development of bridging technologies.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Synthesen und

Verfahren für ausgewählte Anwendungen

- neue Funktionsmonomere, Initiatoren und Kettenüberträger
- Beschichtungen und Oberflächenmodifizierung
- chemische Modifizierung von Polymeren
- Dispersions- und Emulsionspolymerisation in wässrigen, inversen und nichtwässrigen Systemen
- Hydrogele
- Mikrokontaktdruck auf Flächen und Partikel
- Wellensubstrate

Definierte Molekülarchitekturen

- Block- und Pfropfcopolymere
- Polyelektrolyte mit gezielt eingestellter Ladungsdichte, Ladungsstärke, variablem Verhältnis hydrophiler und hydrophober Anteile
- schaltbare Polymere
- partiell funktionalisierte Partikel
- biofunktionelle Polymere, Glykopolymere
- maßgeschneiderte Partikelgrößen und -verteilungen im Nano- und Mikrometerbereich

Entwicklung von Medizinprodukten, Healthcare und Kosmetik

- Biomaterialentwicklung und -synthese
- Entwicklung bioaktiver Oberflächen
- Oberflächenfunktionalisierungen
- Entwicklung und Herstellung von Implantaten
- Synthese von pharmazeutischen Wirkstoffen
- Farb- und Fluoreszenz-Markierung für Diagnostik, Sensoren und medizinische Therapien
- Präparation von Oberflächen als Träger von Biomolekülen für die medizinische Diagnose
- gezielte »intelligente« Wirkstofffreisetzung
- Entwicklung von kosmetischen Formulierungen
- Hilfsstoffe für Kosmetika und Pharmazeutika

Oberflächenanalysen

- (konfokale) Fluoreszenzmikroskopie, digitale 2D- und 3D-Mikroskopie
- Rasterkraftmikroskopie, molekular mechanische Analyse
- Oberflächenanalyse durch UV/VIS/NIR Absorptions- und Reflexionsmessungen
- Messung von Kontaktwinkel, Ober- und Grenzflächen-spannung und freie Oberflächenenergie

Biologische in-vitro Untersuchungen

- Biokompatibilitätsuntersuchungen
- Grenzflächenbiologie
- mikrobiologische Untersuchungen mit humanpathogenen Erregern nach § 44 IfSG
- Prüfungen auf Zytotoxizität
- Untersuchungen mit primären humanen Zellen
- Assay Entwicklung
- Kinetik biomolekularer Interaktionen
- Zellkulturen (Primär- und Zelllinien)
- in-vitro Diagnostik-Entwicklung

Analytik von Biomaterialien für die Medizintechnik

- mikroskopische Untersuchungen
- Refraktionsindexbestimmung von Flüssigkeiten und Polymeren
- Restmonomeren- und Restlösemittelbestimmung
- Untersuchungen ophthalmologischer Implantate und Explantate
- Untersuchungen von Brustimplantaten

Biotechnologie

- Entwicklung/Optimierung von Fermentationsprozessen (Upstream) und von Aufarbeitungsprozessen (Downstream)
- fermentative Herstellung von Monomeren (z.B. Milchsäure) für die Polymersynthese und von Biopolymeren (z.B. PHB) und Proteinen (z.B. Enzyme, Strukturproteine)
- Fraktionierung von Cellulose, Hemicellulose und Lignin
- gentechnische Arbeiten (S1, S2), Stammentwicklung, Metabolic Engineering
- (heterologe) Proteinexpression und Aufarbeitung (z.B. Peroxidasen)
- Multibioreaktoranlage mit Online-Analytik (pH, pO₂, Biomasse, Zuluft/Abluft)
- Nutzung von Biomasse als Quelle für neue Rohstoffe
- Nutzung von Biomassereststoffen als Substrat bei Fermentationen
- Scale-Up von Up- und Downstream-Prozessen
- Klonierung und Proteinengineering
- Bioinformatik
- Expressionsanalysen und Quantifizierung von Genen



Forschungsbereichsleiter | Division director
Prof. Dr. Alexander Böker (acting)

Funktionale Proteinsysteme/
Biotechnologie
Functional Protein Systems/
Biotechnology

Prof. Dr. Alexander Böker

Telefon +49 331 568-1112

Fax +49 331 568-3000

alexander.boeker@iap.fraunhofer.de

Biomaterialien und Healthcare
Biomaterials and Healthcare

Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-331321

joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

APPLICATIONS AND SERVICES

Syntheses and processes for selected applications

- new functional monomers, initiators and chain transfer agents
- coatings and surface modification
- chemical modification of polymers
- dispersion and emulsion polymerization in aqueous, inverse and non-aqueous systems
- hydrogels
- microcontactprinting on surfaces and particles
- wrinkled substrates

Defined molecular architectures

- block and graft copolymers
- polyelectrolytes with tailored charge density, ionic strength, variable hydrophobic-hydrophilic balance
- polyzwitterions
- “smart” polymers
- synthesis of patchy particles
- biofunctional polymers, glycopolymers
- tailored particle sizes and size distributions in nano and micron range

Development of medical devices, healthcare and cosmetic

- development and synthesis of biomaterials
- development of bioactive surfaces
- surface modifications
- development of implants
- synthesis of active pharmaceutical compounds
- color and fluorescence labeling for diagnostics, sensors and medical therapies
- preparation of surfaces as biomolecule carriers for medical diagnostics
- controlled “smart” drug release
- development of cosmetic formulations
- additives for cosmetic and pharmaceutical formulations

Surface analysis

- (confocal) fluorescence microscopy, digitale 2D and 3D microscopy
- atomic force microscopy, molecular mechanical analysis
- surface analysis by UV/VIS/NIR absorbance and reflectance measurements
- measurement of contact angle, surface and interfacial tension and free surface energy

Biological in-vitro investigations

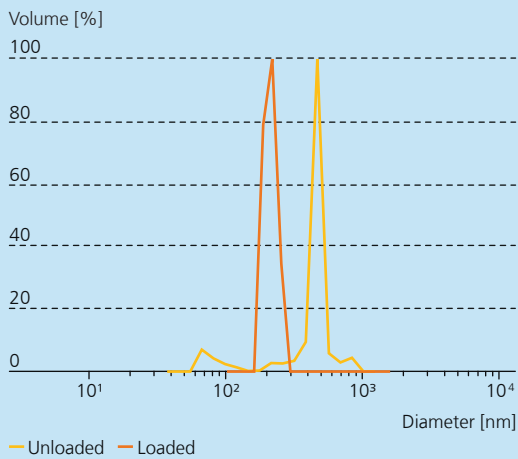
- biocompatibility testings
 - cell biology of surfaces and interfaces
 - microbiological examinations using human pathogens according to §44IfSG
 - cytotoxicity assays
 - tests using primary human cells
 - assay development
 - kinetics of biomolecular interactions
 - tissue culture (primary cells and cell lines)
 - development of in-vitro diagnostic system
-

Analysis of biomaterials for medical engineering

- microscopic analysis
 - measurement of refraction indices of liquids and polymer films
 - identification and quantification of solvents and monomer residual
 - examination of ophthalmologic implants and explants
 - examination of breast implants
-

Biotechnology

- development and optimization of fermentation processes (upstream) and of downstream processes
 - fermentative production of monomers (e.g. lactid acid) for polymer synthesis, and biopolymers (e.g. PHB) and proteins (e.g. enzymes, structure proteins)
 - fractionation of cellulose, hemicellulose and lignin
 - genetic engineering (S1, S2), strain development, metabolic engineering
 - (heterologous) protein expression and purification (e.g. peroxidases)
 - 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
 - cloning and protein engineering
 - bioinformatics
 - expression analyses and quantification of genes
-



1

1 Size distribution of blank (yellow curve) and loaded (orange curve) nanoparticles. The drug administered was an antibiotic. Shown here is the size distribution of the respective particle preparation as determined by dynamic light scattering.

2 In-vitro tests of formulations with a human cell line.

Verbesserung der oralen Bioverfügbarkeit von wasserlöslichen Medikamenten

Verbesserung der Bioverfügbarkeit von »BCS class III drugs«

Die Verabreichung von Arzneimitteln unter Umgehung des Verdauungstrakts ist oftmals mit rein praktischen, aber auch logistischen und ökonomischen Nachteilen verbunden. Dies gilt vor allem für dauerhaft vorbeugende Behandlungen, die tägliche Medikamentengaben erfordern. Orale Medikation der Therapeutika ist in diesem Fall das Mittel der Wahl, vor allem aus Patienten-sicht. Dem steht eine dann oft unzureichende Verfügbarkeit des Medikaments am Wirkort gegenüber, deren Ursache verschiedene physiologische Prozesse sind. Somit ist die orale Verabreichung von sogenannten »BCS class III drugs« (Biopharmaceutics Classification System, wasserlöslich, nicht ausreichende Permeabilität im Verdauungstrakt) ein bislang weitgehend ungelöstes Problem der Pharmaindustrie. Beiträge zu dessen Lösung könnten eine Vielzahl von Medikamenten bzw. deren Formulierungen für orale Anwendungen verfügbar machen.

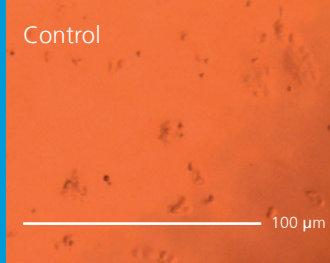
Polymere Wirkstoffträger zur Verbesserung der Bioverfügbarkeit

Um die Bioverfügbarkeit von bestimmten Pharmazeutika zu verbessern, wurde in einem gemeinsamen Projekt mit Forschern des Instituts für Wirkstoffforschung der Hebrew University Jerusalem ein polymerbasiertes Wirkstoffträgersystem entwickelt. Dieses wasserlösliche, biobasierte und biokompatible kationische Polymersystem wurde in hoher Reinheit und einer Reihe von Derivaten unter anderem mit Fluoreszenzmarkern synthetisiert. Die Polymerzusammensetzung wurde bezüglich des Molekulargewichts, der Ladung und der hydrophilen Eigenschaften optimiert. Die Produkte bilden als Polymer-Wirkstoff-Komplexe Nanopartikel. Als Wirkstoff wurde ein Metastasen-Hemmer verwendet, dessen Synthese von den Projektpartnern an der Hebrew University durchgeführt wurde.

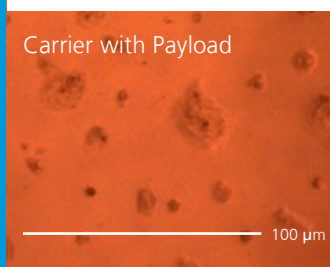
In-vitro und in-vivo Testreihen

Die Wirkstoffträger wurden umfassend vor allem mit physikalischen und biologischen Methoden untersucht. In mikrobiologischen Tests wurde die Wechselwirkung des Wirkstoffträgersystems mit im Verdauungstrakt vorkommenden Bakterienkulturen untersucht, unter anderem um die Hemmkonzentration zu ermitteln. Des Weiteren war es wesentlich zu beweisen, dass die Wirkstoffkomplexe nicht schon vor Erreichen des Tumorgewebes durch Darmbakterien abgebaut werden. Zur Einschätzung der Zytotoxizität wurden umfangreiche Zellkulturversuche durchgeführt. Durch Experimente mit einer humanen Zelllinie wurden die Wechselwirkungen des Wirkstoffkomplexes mit Schleimhautzellen unter realitätsnahen Bedingungen belegt. Im Ergebnis wurde gezeigt, dass die geeignete Wirkstoffformulierung zu einem Anstieg der Zellbeweglichkeit führt, was für eine sehr geringe Zytotoxizität spricht. Durch den IDR-Projektpartner wurden in-vivo Tests und pharmakokinetische Studien durchgeführt. Auch dort zeigte sich eine signifikante Verbesserung der neu entwickelten Wirkstoffsysteme.

Control

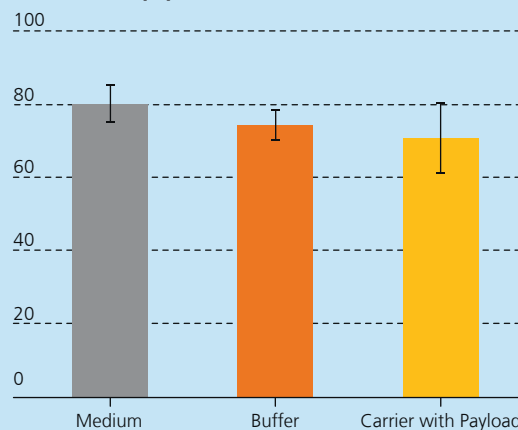


Carrier with Payload



Quantitation

Relative survival [%]



2

Improving the oral bioavailability of water soluble drugs

Improving the bioavailability of Class III drugs

Parenteral administration of drugs is associated with practical, clinical and economical disadvantages, especially in the case of lifetime preventative treatments requiring daily drug administration. Oral delivery of therapeutic agents is preferred by patients. However, oral treatment is often limited due to the fact of the low bioavailability of the drug. In fact, a poor permeability may occur due to various physiological processes. Thus, the oral administration of BCS Class III drugs (Biopharmaceutics Classification System, water-soluble, poor intestinal permeability), is an unmet need in pharmaceutical industry. Many drugs are not used in clinical applications due to these limitations. Overcoming these problems is a challenge in the development of oral administered drug formulations.

Polymeric drug carriers to improve the bioavailability

To improve the bioavailability of drugs, we developed in a joint project with researchers from the Institute of Drug Research at the Hebrew University, Jerusalem, a polymer-based carrier system. Therefore, fully water-soluble biobased and biocompatible cationic polymers were synthesized in high purity and a variety of derivatives with, for example, fluorescence markers. Polymer composition was optimized regarding molecular weight, charge and hydrophilicity. These polymers are capable of forming nano-sized particles as polymer-drug complexes. As drug, we used a metastasis inhibitor which was synthesized by the Hebrew University project partners.

In-vitro and in-vivo testing

The carrier systems were extensively characterized and analyzed especially via physical and biological methods. In microbiological tests the interaction of the polymer-drug systems with intestinal occurring bacteria was investigated to determine the concentration of inhibition. It was also of great interest, to prove that the drug-delivery system is not degraded by intestinal bacteria before reaching the tumor tissue. In cell-culture experiments, the cytotoxicity was studied. Experiments with a human cell line revealed the interaction of the drug-delivery systems with mucous cells under close-to-reality conditions. In sum, our results demonstrated that the formulation yield a viability boost of the cells, suggesting low cytotoxicity of the administered formulation. In-vivo test and kinetic pharmacological studies were performed by our IDR project partners. It was shown, that the developed systems show a significant improvement.



Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-331321

joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

Dr. Jörg Bohrisch

Telefon +49 331 568-1331

Fax +49 331 568-3000

joerg.bohrisch@iap.fraunhofer.de

Dr. Christian Schmidt

Telefon +49 331 568-1456

Fax +49 331 568-3000

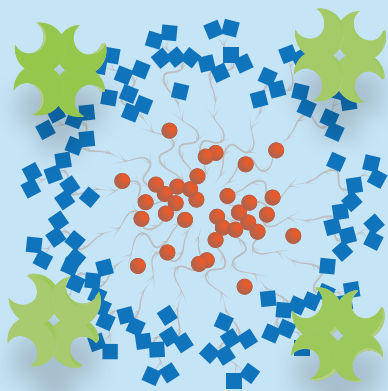
christian.schmidt@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Fraunhofer ICON Projekt

Kooperation Collaboration

– Prof. Dr. Amnon Hoffmann,
Prof. Dr. Eli Breuer,
Hebrew University, Institute of
Drug Research, Jerusalem (Israel)

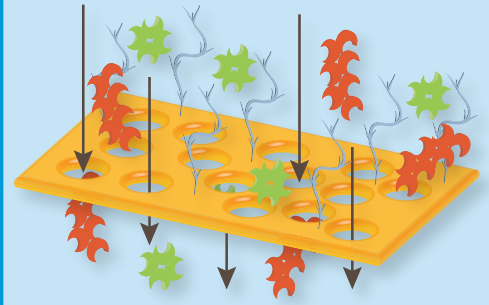


1

1 Diagram of a glycopolymer-based container with incorporated dye and lectins that bind to the glycan corona.

2 Principles of our flow-through SPR device for detecting lectins that bind to glycopolymers on the sensor foil.

3 Glycan gels display anti-adhesive properties on glass when incubated with *E. coli*.



2

Glykopolymere – Vielseitigkeit der Natur in biofunktionellen Polymeren

Zucker spielen in nahezu allen biologischen Vorgängen eine tragende Rolle. Neben dem Einsatz als Energieträger sind Zucker auch am Informationstransfer zwischen Zellen, für die Viskoelastizität des Zellverbunds, aber auch für die Erkennung von Fremdstrukturen verantwortlich. Jede spezifische Interaktion zwischen Zellen wird durch Zucker vermittelt. Bekannte Beispiele für kommerzielle Zucker, die als aktiver Inhaltsstoff verwendet werden, sind Heparin, das therapeutisch zur Blutgerinnungshemmung eingesetzt wird und Hyaluronsäure, die als »Schmiermittel« in Arthrose geschädigten Gelenken Nutzen findet.

Das Fraunhofer IAP entwickelt neuartige Polymere, die Glykane als biologische Funktionseinheit tragen. Diese Glykopolymere können in Lösung als Träger von Farb- oder Wirkstoffen dienen (Fig. 1). Spezifität für Zielstrukturen kann durch die Glykanhülle eingebracht werden. Durch die dichte Anordnung der zahlreichen Zuckerstrukturen wird eine extrem hohe Affinität zu zuckerbindenden Proteinen, den Lektinen, erreicht. Diese Multivalenz der Zuckerliganden ist ausschließlich durch die Verwendung eines Polymerrückgrats in Verbindung mit Glykomonomeren möglich [1]. Zukünftig wird dieses System in Hinblick auf optimale Wechselwirkung mit Geweben oder Zellen optimiert.

Oberflächengebundene Glykopolymere werden am Fraunhofer IAP für neue Biosensoren verwendet, die es ermöglichen die Interaktion zwischen Lektinen und Glykanen nachzuweisen. Lektine spielen eine zentrale Rolle bei der Metastasierung von Krebs oder bei bakteriellen sowie viralen Infektionen. Die Kenntnis von Lektinwechselwirkungen ist daher sehr vorteilhaft bei der Erforschung, Diagnose und Therapie von Krankheiten. Das Fraunhofer IAP entwickelt mit seinen Partnern Sensorsysteme basierend auf elektrochemischer Impedanzspektroskopie (EIS), Plasmonenresonanzspektroskopie (SPR) und optischen Ringresonatoren [2–4]. Ausschlaggebend für die Funktionalität ist die Bindung von Glykopolymeren an die Oberfläche. So werden Sensoren zugänglich, die hochspezifisch Lektine charakterisieren können. Hierfür wurden günstige Alternativen zu klassischen kommerziellen SPR-Geräten entwickelt, die bei einer Reduktion der Sensitivität um nur zehn Prozent, 100-fach günstiger sein können (Fig. 2). Zukünftig arbeitet das Fraunhofer IAP an der Entwicklung von Schnelltests für bakterielle Infektionen basierend auf Glykopolymeren sowie an der Weiterführung und Kommerzialisierung der bisher entwickelten Systeme für Diagnose und Analytik.

Glykopolymere können auch als biobasierte, biokompatible, antibakterielle Oberfläche oder als biobasierter und -kompatibler Kleber genutzt werden. So wurden am Fraunhofer IAP verschiedene Glykan-Gele durch eine biokompatible Vernetzungsmethode hergestellt (Fig. 3).

Zukünftig wird am Fraunhofer IAP weiter an der ökonomischen Herstellung von Glykopolymeren für verschiedenste Anwendungen gearbeitet und so die Vielseitigkeit der natürlichen Glykanfunktionen in biofunktionellen Polymeren eingebracht.

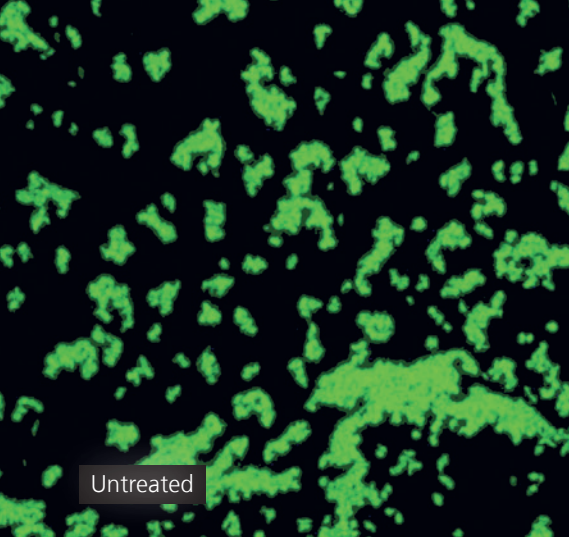
[1] H. Park*, S. Walta*, R. R. Rosencrantz*, A. Körner, C. Schulte, L. Elling, W. Richtering, A. Böker: *Micelles from self-assembled double-hydrophilic PHEMA-glycopolymer-diblock copolymers as multivalent scaffolds for lectin binding*, Polym. Chem. 7, pp. 878–886 (2016)

[2] R. R. Rosencrantz*, V. H. Nguyen*, H. Park*, A. Böker, U. Schnakenberg, L. Elling: *Lectin binding studies on a glycopolymer brush flow-through biosensor by localized surface plasmon resonance*, Anal. Bioanal. Chem. 408, pp. 5633–5640 (2016)

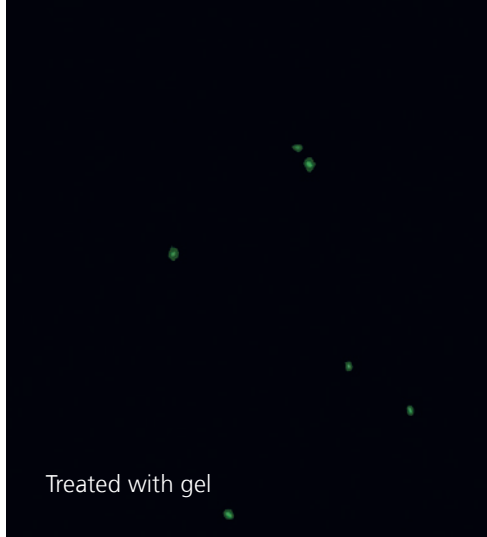
[3] J. Lazar*, H. Park*, R. R. Rosencrantz*, A. Böker, L. Elling, U. Schnakenberg: *Evaluating the thickness of multivalent glycopolymer brushes for lectin binding*, Macromol. Rapid Commun. 36, pp. 1472–1478 (2015)

[4] J. Lazar, R. R. Rosencrantz, L. Elling, U. Schnakenberg: *Simultaneous Electrochemical Impedance Spectroscopy and Localized Surface Plasmon Resonance in a Microfluidic Chip: New Insights into the Spatial Origin of the Signal*, Anal. Chem. 88, pp. 9590–9596 (2016)

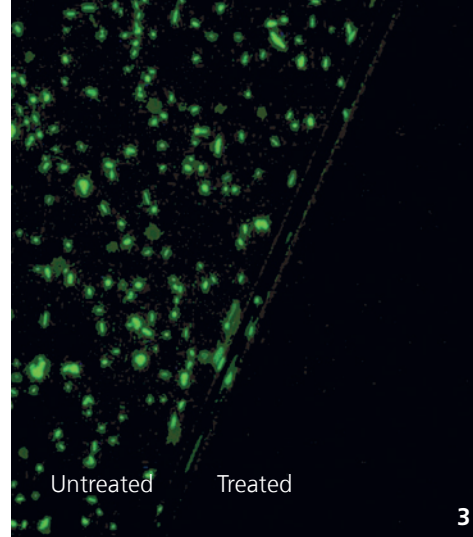
* these authors contributed equally to this work



Untreated



Treated with gel



Untreated

Treated

3

Glycopolymers – nature's diversity in biofunctional polymers

Sugars play an essential role in almost every biological process. In addition to supplying energy, they are also responsible for transferring cellular information, maintaining tissue viscoelasticity, and identifying foreign structures. One could say that every specific interaction between cells is driven by glycan-mediated interactions. Heparin and hyaluronic acid are two prominent examples of commercially available sugars that are used as active ingredients. Heparin is used as an anticoagulation agent, whereas hyaluronic acid is applied as a lubricant to damaged joints.

The Fraunhofer IAP is developing novel polymers which contain glycans as their biofunctional units. In a solution, these glycopolymers can act as carriers for dyes or drugs (Fig. 1). The target structures can be specified by altering the glycan corona. Due to the dense multivalent presentation of the glycans, the affinity towards lectins, which are glycan-binding proteins, is extraordinarily high. Multivalent presentation of glycans is essential for high affinity ligands and is based on the use of tailored polymer structures [1]. In the future this system will be optimized to enable cell- or tissue-specific interactions.

The Fraunhofer IAP is using surface-bound glycopolymers as novel biosensors. This enables the interplay between lectin and glycan to be analyzed. In addition to their other functions, lectins play an important role in cancer metastasis as well as in viral and bacterial infections. Knowledge about lectin interactions is therefore beneficial for medical research and for diagnosing and treating diseases. The Fraunhofer IAP is collaborating with its partners to develop new sensor systems based on electrochemical impedance spectroscopy, surface plasmon resonance spectroscopy (SPR) and optical ring resonators [2–4]. This provides access to sensors that can highly specifically characterize lectins. Alternatives to commercially available SPR devices are also being developed which, despite a ten percent reduction in sensitivity, are more than 100-times cheaper than the standard devices on the market (Fig. 2). In the future we will work on glycopolymer-based systems that can quickly diagnose bacterial infections. We will also move forward with the commercialization of diagnostic and analytical systems that have already been developed.

Glycopolymers may also be used as biobased, biocompatible, antibacterial surface coatings or as biobased and biocompatible glue. The Fraunhofer IAP has developed various glycan gels using an innovative biocompatible cross-linking method (Fig. 3).

In the future we will focus on the cost-efficient, large-scale synthesis of glycopolymers for various applications in order to capture the potential of glycan's natural diversity in biofunctional polymers.



Dr. Ruben R. Rosencrantz

Telefon +49 331 568-3203

Fax +49 331 568-3000

ruben.rosencrantz@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Kooperation Collaboration

- RWTH Aachen, Lehrstuhl für Biotechnologie, Aachen
- RWTH Aachen, Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik 1, Aachen
- Fraunhofer HHI, Berlin
- Largentec Vertriebs GmbH, Berlin

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 Polyisopren mit einheitlicher Mikrostruktur für Reifenanwendungen**
Polyisoprene with uniform microstructure for tire applications



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.

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 weiter ausgebaut werden. So wurden 2015 Mittel für die bauliche und apparative Erweiterung in Höhe von 15 Millionen Euro aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE beantragt. Die PAZ-Erweiterung befindet sich derzeit in der Planungsphase.

Polymersynthese

Der Bereich Polymersynthese, unter der Leitung von Professor Michael Bartke, ist in zwei Abteilungen strukturiert, die eng miteinander verzahnt arbeiten. In der Abteilung Synthese- und Produktentwicklung, geleitet 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 unter der Leitung von Dipl.-Ing. Marcus Vater, wird 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 Technikums-Maßstab sowie die Entwicklung und Optimierung einzelner Verfahrensstufen bis hin zur Entwicklung neuer Verfahren.

Im Jahr 2016 sind eine Reihe von Industrieprojekten im Technikum bearbeitet worden, die die breite thematische Aufstellung des Fraunhofer PAZ verdeutlichen. So wurden für einen Bestandskunden aus der Kautschuk-Industrie eine anionische Polymersynthese in den Technikum-Maßstab überführt und Mustermengen für Anwendungs- und Applikationstests polymerisiert und aufgearbeitet. In einem weiteren Projekt für einen Dispersionshersteller wurde zunächst der bestehende Produktionsprozess im Rahmen eines Beratungsprojekts analysiert. Forschungsbedarfe wurden festgestellt und Optimierungskonzepte entwickelt und im Labor ausgetestet. Basierend auf den Ergebnissen ist dann ein entsprechender Pilotanlagenaufbau im Fraunhofer PAZ geplant und realisiert worden, in dem anschließend eine Versuchskampagne zur Validierung und Optimierung einer radikalischen Polymerisation durchgeführt wurde. Je nach Fortschritt des Kundenprojekts sind 2017 Folgeaufträge möglich. 2016 wurde außerdem ein weiteres, großvolumiges Projekt initiiert, bei dem eine Polyamid-Produktionstechnologie aus dem Labor- in den Technikum-Maßstab überführt wird. Zu diesem Zweck wurde eine komplexe Versuchsanlage geplant, in der nach dem vollständigen Aufbau 2017 umfangreiche Versuchsreihen folgen werden.



In einem weiteren Projekt sind für eine Spezialanwendung Styrol-Copolymere durch anionische Polymerisation im Technikum erzeugt und aufgearbeitet worden. Weiterhin wurden im Labor vorbereitende Projekte und Machbarkeitsstudien durchgeführt. Für ein mittelständiges Unternehmen aus der Membrantechnik sind Polymer-Modifizierungen im Labormaßstab durchgeführt worden. Zudem wurden Vorversuche in einem Knetreaktor für Hochtemperaturpolymere durchgeführt.

Im Bereich der öffentlich geförderten Forschung wurde 2016 ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördertes Projekt zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Herstellung von Synthesekautschuk mit gutem Erfolg abgeschlossen. Ein weiteres Projekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung beschäftigt sich im Rahmen des VIP-Programms (Validierung des Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung) mit der Entwicklung und Maßstabsübertragung von Multiblockcopolymeren mit spezifischen Eigenschaftsprofilen. Zudem wurde 2016 ein Fraunhofer internes Verbundprojekt zur Entwicklung von biomimetischem Synthesekautschuk in Zusammenarbeit mit unseren Partnern Fraunhofer IME, ISC, IWM und IMWS erfolgreich vorangetrieben.

Das nationale Leistungszentrum Chemie- und Biosystemtechnik wurde 2016 in der Region Halle-Leipzig eröffnet. Mit Unterstützung des Landes Sachsen-Anhalt und der Fraunhofer-Gesellschaft werden Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit den regionalen Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft zur Erforschung und Optimierung verfahrenstechnischer Prozessketten der Kunststoff verarbeitenden, chemischen, biotechnologischen und biomedizinischen Industrie vom Rohstoff bis zum Produkt bearbeitet. Der Bereich Polymersynthese des Fraunhofer PAZ bearbeitet im Rahmen des Leistungszentrums mit dem Partner Fraunhofer CBP ein Projekt über biobasierte Materialien auf Basis von Itaconsäure und Isopren.

Polymerverarbeitung

Der Bereich Polymerverarbeitung unter der Leitung von Professor Peter Michel setzt sich aus den beiden Gruppen Thermoplast-basierte Faserverbund-Halbzeuge und Thermoplast-basierte Faserverbund-Bauteile zusammen.

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

Die Gruppe Thermoplast-basierte Faserverbund-Bauteile wird geleitet von Dr. Matthias Zschoyge und beschäftigt sich mit der Bauteil- und Technologieentwicklung für thermoplastische Leichtbaustrukturen auf Basis von endlosfaserverstärkten Halbzeugen. Die Entwicklung startet bei der virtuellen Prozess- und Strukturauslegung und vollzieht sich bis zur prototypischen Bauteilfertigung unter Serienbedingungen.

In engem Kontakt mit regionalen sowie überregionalen Industriekunden wurden zahlreiche Bauteilabmusterungen vorgenommen. Des Weiteren wurden Neukunden gewonnen, die originär nicht in der kunststoffverarbeitenden Industrie angesiedelt sind. Zugeschnitten auf deren Anforderungen wurden komplette Bauteilentwicklungen bis hin zur prototypischen Abmusterung vorgenommen. Die Gruppe Thermoplastbasierte Faserverbund-Bauteile hat im Rahmen ihrer Vorlauftforschung die hybriden Materialsysteme aus kurz-/lang-/endlosfaserverstärkten Kunststoff- und Metallsystemen um den Ansatz thermoplastischer Sandwichstrukturen erweitert. Im Rahmen des Forschungsprojekts »Organosandwich« konnten in Kooperation mit der ThermHex Waben GmbH signifikante Fortschritte im Bereich des Aufheiz- und Fügeverhaltens von thermoplastischen Sandwichsystemen erzielt werden.

Die Gruppe Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge forschte intensiv an Themen der Material- und Halbzeugentwicklung. Im Rahmen des Projekts Bioframe – ein Projekt des Spitzenclusters BioEconomy – konnten erfolgreich hochsteife regenerative Materialsysteme entwickelt werden. Der Forschungsansatz Hochleistungsglas stellte einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten dar. Im Labormaßstab wurden UD-Tapes mit unterschiedlichen Glasqualitäten hergestellt. Erste Untersuchungen an diesen »alternativen« Tapes zeigten, dass signifikante Leistungssteigerungen bei thermoplastischen Verbundsystemen durch den Einsatz von Glasfasern als Optimierungselement erzielt werden können.

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.

Development of the Fraunhofer PAZ

The Fraunhofer PAZ is an established research facility 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.

In addition to scaling-up new polymer systems to pilot plant scale and the synthesis of sample quantities, the synthesis division is focusing more and more on the development of polyreaction processes. With regard to polymer processing, its top priorities are on material development and optimization during project implementation. The funding of research at the pilot plant center operates on the basis of the Fraunhofer model and is characterized by a high degree of work commissioned by industry.

The Fraunhofer PAZ is set to expand as part of the “regional innovation strategy” of the government of the state of Saxony-Anhalt. A total of 15 million euros in funding was applied for from the European Regional Development Fund in 2015 to expand the center's building and equipment. Planning for the expansion of the PAZ is currently underway.

Polymer synthesis

The polymer synthesis division, headed up by Professor Michael Bartke, is divided into two departments that work closely together. Dr. Ulrich Wendler, who is the deputy to the director, Professor Bartke, heads the Synthesis and Product Development department which conducts activities in the area of synthesis and material development, as well as project management. The department Scale-up and Pilot Testing, led by graduate engineer Marcus Vater, manages the operation of the pilot plant. 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.

In 2016 a series of industry projects were processed in the pilot plant that illustrate the wide range of services offered by the Fraunhofer PAZ. For example, anionic polymer synthesis was scaled up to pilot plant scale for a regular customer in the synthetic rubber industry, and sample quantities were polymerized and refined for implementation and application tests. In another project for a dispersion producer, the existing production process was first analyzed as part of a consulting project. Research requirements were determined and optimization concepts were developed and tested in the lab. Based on the results, a corresponding pilot plant was planned and realized at the Fraunhofer PAZ. Finally, a test campaign was conducted to validate and optimize a radical polymerization. Follow-up orders are possible in 2017 depending on the progress of the customer's project. In addition, a further large-scale project was initiated in 2016 in which polyamide production technology was scaled up from lab to pilot plant scale. For this purpose, planning began on complex testing facilities in which extensive trial series will be conducted after its completion in 2017. In another project, styrene copolymers were produced in a pilot plant using anionic polymerization and refined for a special application. Furthermore, preparatory projects and feasibility

studies were carried out in the lab. Polymers were modified on a lab scale for a medium-sized company specializing in membrane technology. In addition, preliminary tests on high-temperature polymers were conducted in a kneader reactor.

In the area of publicly funded research, a project, funded by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy, was successfully completed in 2016 with the aim of increasing energy efficiency during the production of synthetic rubber. Another project of the Federal Ministry of Education and Research looked at the development and scale-up of multi-block copolymers with special properties as part of the VIP program (Validation of the Innovation Potential of Scientific Research). Moreover, an internal Fraunhofer project in which biomimetic synthetic rubber is being developed in collaboration with our partners Fraunhofer IME, ISC, IWM and IMWS made good headway in 2016.

In 2016 the National High Performance Center for Chemistry and Biosystems Engineering opened in the Halle-Leipzig region. With support from the state of Saxony-Anhalt and the Fraunhofer Gesellschaft, research and development projects were carried out with regional partners from industry and science. These projects investigated and optimized process chains, from raw material to product, for the plastics processing, chemical, biotech and biomedical industries. The polymer synthesis division at the Fraunhofer PAZ is working on a project at the High Performance Center in collaboration with its partner Fraunhofer CBP. This project investigates biobased materials based on itaconic acid and isoprene.

Polymer processing

The polymer processing division, under the leadership of Professor Peter Michel, is made up of two 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 under serial conditions.

Numerous component prototypes were made in close cooperation with regional and national industrial customers. Furthermore, new customers were acquired who are not originally part of the plastics processing industry. Entire components were developed based on their specifications. These also included prototype samples. As part of their initial research, the High Performance Thermoplastics group expanded their hybrid material systems, made from short, long, and endless fiber-reinforced plastics and metal systems, to include thermoplastic sandwich structures. In the context of the research project "Organosandwich", significant advances were made in the area of heating and joining behavior in partnership with ThermHex Waben GmbH.

The Thermoplastic Semi-Finished Fiber Composites group conducts intensive research into developing materials and semi-finished products. The project Bioframe – a project of the Leading-Edge Cluster BioEconomy – successfully developed extremely rigid regenerative material systems. The group's research is also focused on high-performance glass. UD tapes with different glass qualities have been produced on a lab scale. Initial investigations on these "alternative" tapes reveal that significant improvement to performance can be achieved with thermoplastic composite systems by adding glass fibers as an optimizing element.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Leistungen

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

Pilotanlage – Synthese

Ausrüstung

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

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: Schmelzpumpe
- 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)
- DSC
- Mooney Viskosität

APPLICATIONS AND SERVICES



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

Services

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

Polymer characterization

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

Pilot plant – synthesis

Equipment

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

Design parameters of synthesis reactors

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

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

Polymersynthese

Polymer 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 and Pilot Testing

Dipl.-Ing. Marcus Vater

Telefon +49 3461 2598-230

Fax +49 3461 2598-105

marcus.vater@iap.fraunhofer.de

Polymerverarbeitung

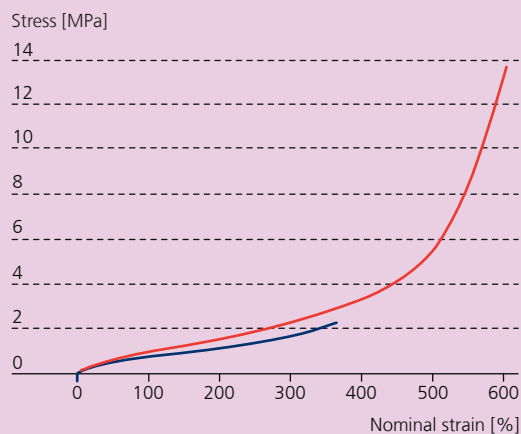
Polymer Processing

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Michel

Telefon +49 345 5589-203

Fax +49 345 5589-101

peter.michel@imws.fraunhofer.de



1

- 1 Stress-strain diagram of NR and SBR.
- 2 Model of a rubber particle which consist of 95 percent polyisoprene and five percent proteins and lipids (bio components).

Polyisopren mit einheitlicher Mikrostruktur für Reifenanwendungen

Natur- und Synthetikgummi gelten als wesentliche Bestandteile von mehr als 40 000 Produkten des täglichen Lebens wie zum Beispiel Reifen, Handschuhe oder Matratzen. Beide Gummigruppen verfügen über besondere Eigenschaften – beim Naturgummi bereits durch die Natur vorgegeben, beim Synthetikgummi über die Wahl der einzelnen Bestandteile einstellbar – weshalb sie sich in ihren jeweiligen Einsatzgebieten etabliert haben. So ist im Bereich der LKW-Reifen der Naturgummi aufgrund einzigartiger mechanischer Eigenschaften unverzichtbar. Allerdings sind die natürlichen Ressourcen begrenzt und eine Erhöhung der Produktionsmenge schwierig. Daher wird weltweit nach möglichen Alternativen gesucht.

Im Rahmen eines institutsübergreifenden Projekts werden die Ursachen für die einzigartigen mechanischen Eigenschaften des Naturgummis erforscht und deren Übertragung auf Synthetikgummi erarbeitet. Mit diesem »biomimetischen Synthetikgummi« soll ein innovatives Produkt mit hohem Wertschöpfungspotenzial hervorgebracht werden. So sollen zum Beispiel die mechanischen Eigenschaften wie E-Modul, Zug- und Reißfestigkeit vom Naturgummi erreicht werden (Fig. 1). Diese im Naturgummi einzigartigen mechanischen Eigenschaften können durch das Auftreten der »dehninduzierten Kristallisation« erklärt werden. Dabei wird angenommen, dass neben der extrem hohen Mikrostruktureinheitlichkeit des im Naturgummi vorkommenden Polyisoprens auch die Biokomponenten wie Proteine und Lipide eine Rolle spielen (Fig. 2).

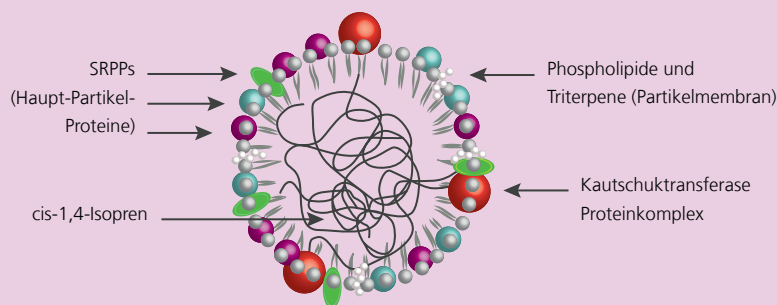
Als ein wesentlicher Punkt ist es bereits gelungen, hoch mikrostruktureines Polyisopren mittels koordinativer Polymerisation herzustellen. Die Mikrostruktureinheitlichkeit bezieht sich dabei auf den hohen Anteil an *cis*-1,4-Doppelbindungen, welcher sich durch die Wahl des Katalysators beeinflussen lässt. Aber auch andere Parameter wie die Wahl des Lösungsmittels, der Reaktionstemperatur und des Verhältnisses von Co-Katalysator zu Katalysator haben einen entscheidenden Einfluss auf den *cis*-Gehalt. Neben dem Anteil an *cis*-1,4-Doppelbindungen spielt aber auch die Kontrolle der Molmassen im Hinblick auf die Verarbeitung eine wichtige Rolle. Wichtige Stellschrauben sind dabei die Wahl der Polymerisationstemperatur und das Verhältnis von Monomer zu Co-Katalysator. Nach Abwägung aller Parameter konnte die für die Projektziele optimierte Synthese von hoch mikrostruktureinem Polyisopren vom Labor ins Technikum und somit zum Kilogramm-Maßstab übertragen werden.

Da natürliches Polyisopren neben der einheitlichen Mikrostruktur auch funktionelle Endgruppen aufweist, besteht eine weitere Herausforderung darin, diese im synthetisierten hoch mikrostruktureinen Polyisopren einzuführen. Auf Grund der Katalysatorstruktur und der postulierten Übertragungsmechanismen gestaltet sich diese Fragestellung vergleichsweise komplex. Erste Erfolge im Bereich Heteroaromaten konnten erzielt werden, weitere Funktionalitäten stehen im Fokus der Entwicklungsarbeiten.

Literatur Literature

[1] K. Brüning: *In-situ Structure Characterization of Elastomers during Deformation and Fracture*, Springer International Publishing, Switzerland (2014)

[2] C. Schulze Gronover, Fraunhofer IME, Münster



2

Polyisoprene with uniform microstructure for tire applications

Natural and synthetic rubber are essential parts of more than 40,000 products used in daily life, such as tires, gloves and mattresses. Both types of rubber have specific properties. The properties of natural rubber have already been predetermined by nature, however the properties of synthetic rubber can be adjusted by selecting different components and compositions. Both types are established in their specific areas of application. For example, natural rubber is indispensable in the field of truck tires due to its unique mechanical properties. However, natural resources are limited and it is difficult to increase production volumes. Thus, alternatives are being investigated worldwide.

A joint, interdisciplinary project between various institutes of the Fraunhofer-Gesellschaft seeks to establish the cause of the unique mechanical properties of natural rubber and to develop a route for transferring these properties to synthetic rubber. With this "biomimetic synthetic rubber" an innovative product with a high potential for added value shall be created. The aim is to achieve the mechanical properties of natural rubber, such as elastic modulus, tensile strength and tensile strength at break (Fig. 1). These unique mechanical properties of natural rubber can be explained by "strain-induced crystallization". It is assumed that both the extremely uniform microstructure of the polyisoprene chains in the natural rubber and the biocomponents, such as proteins and lipids, play an important role (Fig. 2).

One key achievement so far has been the use of coordination polymerization to produce polyisoprene with a unique microstructure. The uniformity of the microstructure is based on the high proportion of *cis*-1,4-double bonds which can be influenced by the choice of catalyst. Other parameters, like choice of solvent, reaction temperature and ratio of co-catalyst to catalyst, also have an decisive influence on the *cis* content. In addition to the proportion of the *cis*-1,4-double bonds, controlling molar weight plays an important role with respect to processing the resulting polymers. Important parameters include polymerization temperature and the ratio of monomer to co-catalyst. Taking these various aspects into account, we optimized in a laboratory the synthesis process of this polyisoprene with a highly-defined microstructure, and scaled-up the process to pilot plant scale in preparation for the production of kilogram-scale sample material.

In addition to its unique microstructure, another feature of natural rubber is the existence of functional end groups. Introducing these end groups into our synthesis route to create highly microstructure-pure polyisoprene remains a further challenge. The question of functionalization is relatively complex due to the structure of the catalysts used and the postulated transfer mechanism. Initial successes in the field of heteroaromatic structures have been achieved and the introduction of further functional groups is the focus of our development activities.



Dr. Marlen Malke

Telefon +49 3461 2598-229

Fax +49 3461 2598-105

marlen.malke@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Kooperation Collaboration

- Fraunhofer IME, Münster
- Fraunhofer IWM, Freiburg
- Fraunhofer IMWS, Halle
- Fraunhofer ISC, Würzburg

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 UV-LED-härtbare Composite für Leichtbauanwendungen**
UV-LED curing of thermoset-based composites
- 102 Beschichtungen zur Ausrüstung textiler
Bewehrungsstrukturen für den Carbonbetonbau**
Coatings for textile reinforcements in carbon concrete

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



POLYMER MATERIALIEN UND COMPOSITE PYCO

Der Forschungsbereich Polymermaterialien und Composite PYCO entwickelt an den Standorten Teltow und Wildau hochvernetzte Polymere (Thermosets oder Reaktivharze/Duomere) 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.

Materialforschung

Der Forschungsbereich PYCO beschäftigt sich mit der Entwicklung von Materialien aus vernetzten Kunststoffen und Verbundwerkstoffen (Composite) aus mehreren miteinander verbundenen Materialien – hauptsächlich Faser-Kunststoff-Verbunde. Die Fasern, vor allem 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 des Forschungsbereichs besteht in der Spezialisierung auf so genannte Reaktivharze, in der Fachsprache auch thermosetting resins genannt. 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.

Die Entscheidung für die Spezialisierung auf Thermosets ist dabei bewusst getroffen worden. Die wichtigsten Vorteile der Thermosets sind offensichtlich. Sie können bei niedrigen Temperaturen bis hin zur Raumtemperatur gehärtet werden, sie haben eine gute Medienbeständigkeit (gegen Flüssigkeiten, Gase usw.), sie können hohe Temperaturen aushalten (>250 °C) und sie kriechen bzw. dehnen sich unter Belastung nicht, da ihre dreidimensionale Netzwerkstruktur starr ist. Deshalb sind sie auch für tragende Strukturanwendungen einsetzbar.

Diese Reaktivharzentwicklungen werden im Forschungsbereich beginnend beim Monomer bis hin zum fertigen Bauteil, einschließlich der dazu erforderlichen grundwissenschaftlichen Arbeiten durchgeführt. 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. Hinzu kommen dann noch (opto-)elektronische Anwendungen, Beiträge zur Energiewende sowie Werkzeuganwendungen im Anlagenmaßstab und Anwendungen im Bauwesen, wie beispielsweise neuartige Carbonfaserbetone.

Der Forschungsbereich PYCO ist bereits seit Mitte der 2000er Jahre auf Leichtbautechnologien fokussiert. So wurden am Standort Wildau seitdem eine neuartige modular konfigurierbare horizontale Imprägnieranlage, eine RTM-Anlage, eine Industriemikrowelle mit 8 Kubikmetern Nutzraum sowie eine Mehrfrequenz-Durchlauf-Mikrowellenanlage in Kombination mit Infrarotstrahlern zur homogenen Härtung (faserverstärkter) Kunststoffbauteile etabliert.



Außerdem sind dort ein Autoklav, eine Spritzgießanlage für Thermoplast- und Duromermaterialien und weitere Technologien aufgebaut, um sowohl der Industrie als auch der Forschung an Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstituten in der Region, aber auch 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, Barrierschichten.

Da deren 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 Koreaktanden, 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 und bringt die Expertise in puncto Polymerforschung, ob Thermosets wie beim Forschungsbereich PYCO oder Thermoplaste, Elastomere wie bei den anderen Forschungsbereichen des Fraunhofer IAP, in die Fläche des Landes Brandenburgs.

Zum 1. Dezember 2016 ist ein durch das Ministerium für Wirtschaft und Energie mit Mitteln des EFRE-Strukturfonds gefördertes Projekt zur Planung und zum Aufbau eines Kompetenzzentrums für energie- und ressourceneffizienten Leichtbau in der Region Berlin-Brandenburg gestartet. Darin sollen die im Land Brandenburg vorhandenen Strukturen und Kompetenzen zum polymerbasierten Leichtbau informell zusammengeführt werden, um Verbundforschungsprojekte anzuregen und der Industrie- und Forschungslandschaft auf diesem Gebiet ein Dienstleister zu sein.

Eine bessere Vernetzung in der Region stellt auch die seit Mai 2015 laufende Kooperation des Forschungsbereichs PYCO mit der Technischen Hochschule Wildau unter der interimistischen Leitung von Professor Michael Herzog dar. Sie umfasst neben der Betreuung von Studierendengruppen und Praktika vor allem auch gemeinsame Forschungsprojekte, wie etwa das mit der AG Maschinendynamik gestartete EFRE-StaF-Projekt ViCProQuO zur vibroakustischen Composite-Prozesskontrolle für Qualitätssicherung und Optimierung.

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.

POLYMERIC MATERIALS AND COMPOSITES PYCO

The Polymeric Materials and Composites PYCO research division located in Teltow and Wildau develops highly cross-linked 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.

Material research

The PYCO research division looks at the development of materials made from crosslinked polymers and composites that are made of multiple materials that are bound together – particularly fiber-reinforced plastics. 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. The result is a comparatively low-weight component with excellent material properties.

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 plastic (in German they are known as duroplastics) which clearly sets it apart from the much more widely known and distributed type of plastic

called thermoplastics. In very simple terms, thermoplastics can be melted and, thus, are deformable. Once thermosets harden, they can no longer be melted or reshaped. Both types of plastics have their specific advantages and disadvantages. Thermosets can 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 of their rigid three-dimensional network structure. Therefore they can also be used in load-bearing structural applications.

The reactive resins are developed in the 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, where it is broken down into aspects of the underlying chemistry and developed at this level of complexity. Transport technology makes up most of the research division's research profile, followed 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. Since then the Wildau site has invested in an innovative, modularly configurable, horizontal impregnation system, an RTM plant, an industrial microwave with an 8 cubic meter capacity and a multifrequency throughput microwave system combined with infrared radiators to homogeneously cure (fiber-reinforced) plastic components.

The site now also has an autoclave, an injection molding machine for thermoplastics and thermoset materials and other technologies that enable it 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.

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 own co-reactants such as flame retardants, tougheners and (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 Technical University of Applied Sciences Wildau distribute the 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 Fraunhofer IAP research departments.

Since December 2016, a project has been running through the Ministry for Economic Affairs and Energy, with funding from the "European Regional Development Fund" (ERDF) structural fund, that involves planning and creating a competence center for energy- and resource-efficient lightweight construction in the region of Berlin-Brandenburg. As part of the project, the structures and competencies existing in the State of Brandenburg are to be informally brought together in order to encourage joint research projects and to provide services in this area to industry and research.

Improved regional networking is also reflected in the partnership, started in May 2015, between the PYCO research division and the Technical University of Applied Sciences in Wildau under the provisional leadership of professor Michael Herzog. It supports student groups and internships as well as joint research projects, such as the project ViCProQuO, vibroacoustic composite process control for quality measurement and optimization, which was started with the machine dynamics working group.

Like all other major aviation suppliers, the research division is a member of the Hamburg's Center of Applied Aeronautical Research (ZAL) that was initiated, primarily by Airbus and Lufthansa, in spring 2016. Thus, it has laid the cornerstone for other successful activities in lightweight construction applications in aviation and beyond.

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) – Wellenleitermesstechnologie – freilaufendes Torsionspendel – Permeationsmessplatz	– Polymerentwicklungen – neuen Messtechnologien zur Polymercharakterisierung – Implementierung neuer Technologien und deren Anpassung an spezifische Produktionsbesonderheiten
Pilotanlage – faserverstärkte Composite – Lamine, Prepregs – Papier- und Textilbeschichtung – Leichtbaumaterialien (Sandwiches, Kernmaterialien)		Struktur-Eigenschafts-Beziehungen – 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

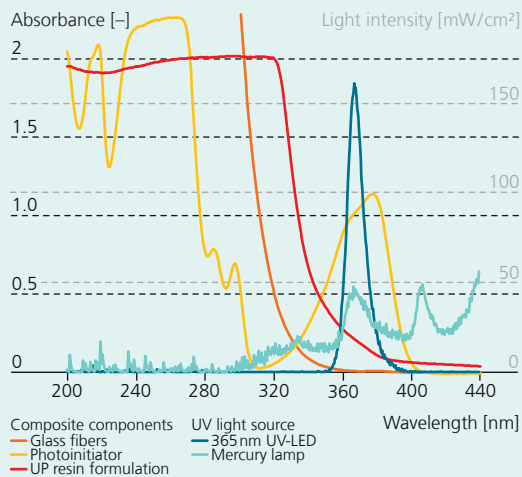


Forschungsbereichsleiter | Division director
Dr. Christian Dreyer (acting)

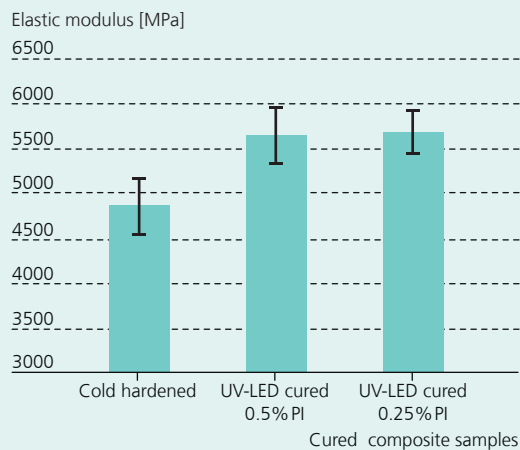
Harzformulierung und Charakterisierung
Resin Formulation and Characterization
Dr. Christian Dreyer

Thermosets im Leichtbau
Thermosets for Lightweight Applications
Dr. Christian Dreyer (acting)
Telefon +49 3328 330-284
Fax +49 3328 330-282
christian.dreyer@iap.fraunhofer.de

Harzsynthese und Halbzeuge
Resin Synthesis
and Semi-finished Components
Dr. Sebastian Steffen
Telefon +49 3328 330-246
Fax +49 3328 330-282
sebastian.steffen@iap.fraunhofer.de



1



2

UV-LED-härtbare Composite für Leichtbauanwendungen

Härtung mittels ultravioletttem Licht (UV-Härtung) ist einer der effektivsten Wege, um Harze in hochvernetzte Polymere bei Umgebungstemperatur umzuwandeln. In den letzten Jahren fand die UV-Technologie Einzug in viele Applikationsbereiche wie Druckfarben, Fotolacke (Photoresiste), Klebstoffe und Beschichtungen [1–3]. Viele Anwendungsmöglichkeiten wurden erst durch die Entwicklung neuer UV-härtbarer Harzformulierungen möglich.

UV-Härtung unterscheidet sich deutlich von konventionellen Härtungstechnologien. Die nahezu sofortige Härtung und die Abwesenheit von Lösungsmitteln ermöglichen das Ergebnis eines vollständig gehärteten Materials innerhalb von Minuten oder sogar Sekunden. Die UV-Härtungstechnologie hat sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile gegenüber thermischen Härtungsprozessen. Darüber hinaus kann das ausgehärtete Bauteil sofort weiterverarbeitet werden.

Lichtemittierende Dioden (LEDs) gewinnen in der UV-Härtungstechnik zunehmend an Bedeutung. Die LEDs emittieren Licht in einem relativ engen Wellenlängenbereich, der für einen bestimmten Photoinitiator (PI) maßgeschneidert werden kann, was zu einer effizienten Absorption und einem sehr hohen Wirkungsgrad führt (Fig. 1). UV-LED-Technologie weist auch signifikante ökologische und technologische Vorteile wie ozonfreie Arbeitsplätze, kompakte Einbaugrößen, Robustheit sowie Möglichkeiten zur erheblichen Energieeinsparung auf. Die aktuelle Herausforderung für die UV-LED-Härtung ist die Anpassung von Harzformulierungen an das monochromatische LED-Licht. Zusätzlich müssen die optimalen Prozessparameter ermittelt werden.

Die Entwicklung UV-LED-härtbarer Harze für unterschiedliche Anwendungsgebiete ist das Thema der Forschungsprojekte im BMBF-Zwanzig20-Konsortium »Advanced UV for Life«. Insbesondere die neuen auf UV-LED-Härtung angepassten duromerbasierten Composite haben ein großes Marktpotenzial. Die Vernetzungsdichte UV-gehärteter Materialien ist viel höher als bei konventionell gehärteten Systemen, was sich in verbesserten mechanischen Eigenschaften und chemischer Beständigkeit der Bauteile widerspiegelt (Fig. 2). Derzeit können glasfaserverstärkte Verbundwerkstoffe mit bis zu 10 Millimeter Dicke mit UVA-LEDs gehärtet werden. Darüber hinaus wurden am Fraunhofer IAP neue chemisch recycelbare UV-LED-härtbare Vinylester-Matrixharze (VE) mit einer Glasübergangstemperatur von bis zu 120 °C entwickelt (Fig. 3). In Zukunft kann eine beschädigte VE-Compositmatrix 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. Duromerbasierte Faserverbundwerkstoffe, die an UV-LEDs angepasst sind, können als Leichtbauwerkstoffe in vielen Bereichen wie in der Luftfahrt, im Schienenverkehr, im Bauwesen, in der Automobilbranche und für Windkraftanlagen eingesetzt werden.

Literatur Literature

- [1] C. Decker: *Kinetic Study and New Applications of UV Radiation Curing, Macromolecular Rapid Communications*, Vol. 23 (2002)
- [2] P. Glöckner, T. Jung, S. Struck, K. Studer: *Radiation Curing: Coatings and Printing Inks: Technical Basics and Applications*, Vincentz Network, Hannover (2008)
- [3] R. Schwalm: *UV Coatings: Basics, Recent Development and New Applications*, Elsevier, Amsterdam (2007)

1 Efficient curing of composite material by adjusting the composite formulation on UV-LED light source; light intensity in the range of 200–440 nm: 207 mW/cm² for 365 nm LEDs, 331 mW/cm² for conventional mercury lamp.

2 Crosslink density of UV cured laminates is much higher than in conventionally cured systems, resulting in better mechanical properties like higher elastic modulus. Curing conditions for UV-LED cured samples: 390 nm UV-LED with light intensity $I=700$ mW/cm² for 5 min at ambient temperature; for cold hardened samples: 24 hours at ambient temperature; laminate thickness: 4 mm.

3 Glass fiber-reinforced pipe with recyclable thermoset matrix manufactured using filament winding and cured with UV-LED arrays.



3

UV-LED curing of thermoset-based composites

Ultraviolet (UV) curing is considered to be one of the most effective ways to convert resins into highly cross-linked polymers at ambient temperatures. Over the last decade UV curing systems have been successful in a large number of applications such as paints, printing inks, photoresists, adhesives and coatings [1–3]. Many of these applications became possible through the development of new UV-curable resin formulations.

Radiation curing is distinctly different to conventional curing technologies. The nearly instantaneous curing and the absence of solvents allow a fully cured material to be obtained within minutes or even seconds. Radiation curable formulations are available as completely liquid systems with no dangerous volatile organic compounds (VOCs). Energy-efficient UV-LED curing is more ecological and economical than thermal curing processes. Moreover, the cured material can undergo immediate further processing.

Light emitting diode (LED) arrays are currently gaining in importance in the area of UV-curing technology. The light emitted from LEDs has a relatively narrow wavelength range, which can be tailored for a distinct photoinitiator (PI). This results in maximum absorption and very high efficiency (Fig. 1). UV-LEDs also present significant environmental benefits, such as ozone-free workplaces as well as advanced capabilities (e.g. very compact equipment, thorough curing, controlled curing intensity). The current challenge for UV-LED curing is to adapt resin formulations to monochromatic LED light. In addition, the optimal process parameters have to be determined.

The development of UV-curable resins using UV-LED technology for different fields of application is the topic of research projects within the Zwanzig20 consortium "Advanced UV for Life". The new thermoset-based composites adapted for UV-LED curing have a particularly great potential on the market since the crosslink density of UV-cured materials is much higher than in conventional systems, resulting in components with extraordinarily high hardness and chemical resistance (Fig. 2). Currently glass fiber-reinforced composites of up to 10 millimeters in thickness can be cured using UVA-LEDs. Moreover, newly developed UV-LED curable vinyl ester (VE) composite matrices with a glass transition temperature of up to 120 °C are designed to be chemically recyclable (Fig. 3). In the future, a damaged VE composite matrix will be able to decompose under relatively mild conditions within an hour. At the same time, the fibers can be reclaimed without any significant change in their mechanical properties and the decomposed resin can be used to synthesize new polymers. Thermoset-based composites adapted for UV-LED curing can be used as lightweight materials in many areas, such as wind turbines, the automotive industry, the rail sector, and aviation.



Jagoda Jagodzinska M. Sc.

Torsten Lertz M. A., M. Sc.

Telefon +49 3328 330-284

Fax +49 3328 330-282

torsten.lertz@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Förderung Funding

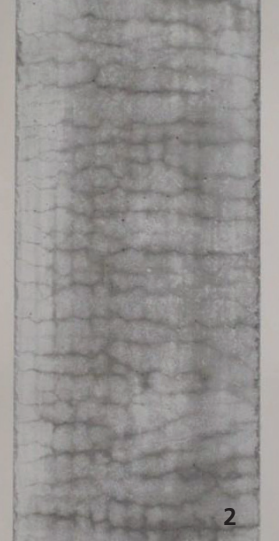
- »UV-LED-härtbare Composite für Leichtbauanwendungen«, Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF) FKZ 03ZZ0127
- Consortium »Advanced UV for Life«
- »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation«

Kooperation Collaboration

- Polystal Composites GmbH, Haldensleben
- Haase GFK-Technik GmbH, Großbröhrsdorf
- OSA Opto Light GmbH, Berlin



1



2

Beschichtungen zur Ausrüstung textiler Bewehrungsstrukturen für den Carbonbetonbau

Stahlbeton ist heutzutage das Material der Wahl im Bauwesen. Nachteilig für Natur und Volkswirtschaft sind jedoch die begrenzte Lebensdauer (40 bis 80 Jahre) sowie der hohe Ressourcenverbrauch bei der Herstellung und beim Transport. Korrosionsbedingt muss der Stahl durch eine dicke Betondeckung geschützt werden, woraus ein zusätzlicher hoher Verbrauch an Rohstoffen und Energie resultiert. Durch die Verwendung von Bewehrungen aus nichtkorrodierendem Material wie zum Beispiel Carbonfasern kann die Bauteildicke erheblich reduziert werden. Im Vergleich zu Stahlbeton kann mit Carbonbeton, wie mit keinem anderen Bewehrungsmaterial, der Ressourcen- und Energieverbrauch sowie die CO₂-Bilanz erheblich reduziert werden. Bauen mit Carbonbeton verlängert nicht nur die Lebensdauer von Bauwerken, sondern ermöglicht auch filigranere Geometrien. Leicht bauen und Beton sind kein Widerspruch mehr, sondern das Konzept der Zukunft.

C³-Carbon Concrete Composite ist das derzeit größte Forschungsprojekt im deutschen Bauwesen. Das Innovationsnetzwerk von 130 Partnern aus Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Verbänden hat das Ziel, den neuen Baustoff Carbonbeton zu erforschen und in die Praxis einzuführen. Bis 2020 sollen dann alle Voraussetzungen geschaffen werden, um die völlig neue C³-Bauweise zu etablieren.

Im Rahmen des Basisvorhabens C³-B1 wurden im Forschungsbereich PYCO Duomere, das bedeutet vernetzende Beschichtungen für die zur Bewehrung des Betons eingesetzten Carbonfasern, entwickelt, um diese dauerhaft vor dem aggressiven Medium Beton zu schützen und eine stabile Bewehrung auch bei Temperaturen bis 100 °C zu gewährleisten.

Nach Abschluss der Voruntersuchungen zur Medienbeständigkeit (Beton ist im flüssigen Zustand stark alkalisch) wurden textile Bewehrungsstrukturen des Partners TU Dresden beschichtet und vernetzt, um eine Prüfung im Beton zu ermöglichen.

Gleich zwei Formulierungen (eine vinylesterharzbasierte und eine silikonharzbasierte), die am Fraunhofer IAP entwickelt wurden, erfüllen alle Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der Betonbewehrung (Auszugstest an eingebetteten Bewehrungsstrukturen).

Eine weitere cyanatesterharzbasierte Formulierung wurde für den Brandfall entwickelt. Das bedeutet, dass diese Beschichtung auch Temperaturen von mehr als 400 °C standhalten muss und es nicht zu Betonabplatzungen infolge des thermischen Abbaus der Beschichtung kommen darf. Hierdurch wird auch die Anwendung in besonders sicherheitsrelevanten Wänden und Decken, die einen hohen Feuerwiderstand aufweisen müssen, ermöglicht.

Zurzeit wird die Umsetzbarkeit der Entwicklung in einen kontinuierlichen Beschichtungsprozess untersucht, um auch die geforderten großen Volumina des Bauwesens erfüllen zu können.

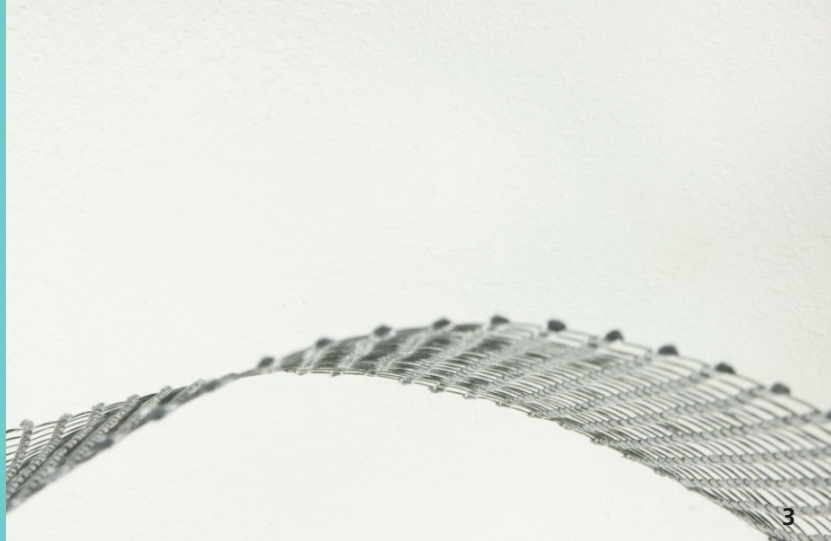
Der bisher erzielte große Erfolg des Gesamtvorhabens C³ wurde mit dem deutschen Nachhaltigkeitspreis Forschung 2015 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, dem Deutschen Rohstoffeffizienz-Preis 2015 und dem GreenTec Award honoriert.

Förderung Funding

– C³ ist eines von zehn im Programm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« geförderten Projekten im Programm von »Unternehmen Region«. Das BMBF stellt eine Fördersumme von 45 Millionen Euro bereit, ca. 23 Millionen Euro kommen als Eigenmittel der Unternehmen hinzu. FKZ 03ZZ0302E

- 1 Pull test samples (coated carbon fiber casted in concrete).*
- 2 Textile reinforced concrete sample after tensile test. *
- 3 Carbon fiber textile reinforcement.

* TU Dresden, Institute of Concrete Structures, Dr.-Ing. Marko Butler



Coatings for textile reinforcements in carbon concrete

Ferroconcrete is currently the material of choice in construction. Due to its limited service life (40 to 80 years) and the high consumption of resources required for its production and transportation, ferro-concrete has environmental and economical drawbacks. The reinforcing steel has to be covered with thick layers of concrete to prevent corrosion. This requires additional raw materials and a high consumption of energy. The use of non-corrosive reinforcements, e.g. carbon fibers, means the component thickness can be significantly reduced.

Compared to ferroconcrete, carbon concrete greatly reduces the consumption of energy and resources and lowers carbon dioxide emissions. Carbon concrete allows structures to have longer life cycles and enables filigree geometries to be produced. Lightweight concrete construction is no longer a contradiction – it is a concept of the future.

C³- Carbon Concrete Composite is Germany's largest research project in the field of construction. More than 130 research institutes, companies and associations have joined this network with the aim of developing this new construction material and bringing it to market. By 2020 the foundations should be laid for the establishment of this fully new C³ construction method.

As part of the basic research project C³-B1, scientists at the Fraunhofer IAP have developed coating formulations based on thermosetting resins to protect the reinforcing carbon fibers against the aggressive concrete matrix and to ensure a strong reinforcement of the concrete component up to 100 °C.

First, the resistance to concrete was investigated. Then the textile carbon fiber non-woven reinforcements were coated in order to evaluate durability within the concrete matrix (pull-out test). Two Fraunhofer IAP formulations (one based on vinyl ester and one based on silicon resin systems) fulfill all the requirements of a durable carbon fiber-reinforcement and are suitable for further development.

In addition, a cyanate ester based formulation was developed so that carbon concrete could also be used for high temperature applications. In this case the formulation has to be stable against temperatures of more than 400 °C. Otherwise, the concrete surface of the construction will be blasted away during a fire by the gases released during thermal degradation. The Fraunhofer IAP formulation meets this requirement and all other major requirements and can be used in safety walls and ceilings which have to be very fire resistant.

During the current project, the Fraunhofer IAP has been evaluating a continuous coating process to ensure large-scale processing of carbon fiber structures for concrete reinforcement.

The joint C³ research project has achieved outstanding results and has been honored with the following awards: Deutscher Nachhaltigkeitspreis Forschung 2015 funded by the Federal Ministry of Education and Research, Deutscher Rohstoffeffizienz-Preis 2015 and Green Tec Award.



Dr. Sebastian Steffen

Telefon +49 3328 330-246

Fax +49 3328 330-282

sebastian.steffen@iap.fraunhofer.de

Kontakt Contact

Kooperation Collaboration

- KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH, Chemnitz
- CHT R. Beitz GmbH, Tübingen
- DBF Deutsche Basalt Faser GmbH, Sangerhausen
- Lefatex-Chemie GmbH, Brüggen-Bracht
- Synthomer Deutschland GmbH, Marl
- Leichtbau – Zentrum Sachsen GmbH, Dresden
- ThyssenKrupp Carbon Components GmbH, Wilsdruff
- P-D Glasseiden GmbH, Oschatz
- SGL Carbon GmbH, Meitingen
- Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden
- Institut für Baustoffe, TU Dresden
- Institut für Massivbau, TU Dresden
- Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden
- Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Chemnitz
- Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.
- SKZ – Das Kunststoffzentrum, Halle (Saale)

FAKTEN, PUBLIKATIONEN, STANDORTE

FACTS, PUBLICATIONS, LOCATIONS

- 106 Ausstattung**
Equipment
- 112 Zusammenarbeit**
Collaboration
- 120 Patente**
Patents
- 124 Publikationen**
Publications
- 132 Anfahrt**
How to reach us
- 133 Standorte**
Locations

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



AUSSTATTUNG EQUIPMENT

Polymersynthese – Polymerverarbeitung

Reaktoren und Knetzer

- Laborreaktoren 0,05–50 L
- Laborautoklaven 1–5 L
- explosionsgeschützter 50 L-Reaktor
- Glas/Metall Druckreaktorsysteme
- automatische Reaktorsysteme LabMax
- Mikrowellenreaktor
- Mikrowellengerät
- Laborfermenter
- Laborknetzer und -zerfaserer
- Messknetzer

Pilotanlage PLA-Synthese

- Rektifikationskolonne
- Schmelzekristallisator
- kleintechnische Reaktorsysteme
- 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-, Zentrifugal-mühlen
- 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 Vakuumtrocken-schränke
- Klimakammer
- Ozonisator

Compound-Herstellung

- konische Doppelschnecken-extruder für Kleinstmengen ab 5 cm³
- Zweischneckencompounder
- 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 Verschäumungs-einheit 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
- Rakeltechnologie zur Prozessierung dünner Polymer- und Elastomerschichten

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
- Spin coater
- automatisches Filmziehgerät
- Membranziehmaschine für Flachmembranen
- kontinuierliche Waschanlage für Flachmembranen
- Langmuir-Waage

Pilotanlagenzentrum PAZ

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

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 × 1500 mm)
- Autoklav
- RTM-Anlage
- Prepreg-Technologie
- Mikrowellenhärtung (8 m³ Ofen und kontinuierlich)
- optische Charakterisierung dünner Schichten
- Duroplastspritzguss

Organische, elektronische und diffraktive optische Bauelemente

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

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

- Festkörperlaser (532 nm)
- HeNe-Laser (633 nm)
- Holographie-Aufbau mit Festkörperlaser 355 nm, 100 mW Leistung in-situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- Holographie-Aufbau mit holographischem Festkörperlaser 532 nm (200 mW Leistung) mit in-situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- 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)

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
- Titratoren
- 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 Lösungviskosität bis 160 °C
- Gefrierpunkt-Osmometer
- automatische Kapillar-Viskosimeter für Lösungviskosität
- Mooney-Viskosimeter

AUSSTATTUNG EQUIPMENT

Morphologie und Strukturaufklärung

- Rasterelektronenmikroskop inkl. Röntgenmikroanalyse (EDX) und Rückstreuелектронendetektor, Ausrüstung für Kryopräparation feuchter Proben
- Transmissionselektronenmikroskop; Ultradünnschnitttechnik, Kryomikrotomie, Abdrucktechniken
- Lichtmikroskope mit Video- und Bildanalysetechnik
- Röntgengeräte für Weitwinkel- (WAXS) und Kleinwinkelstreuung (SAXS)
- Quecksilberporosimetrie
- volumetrische Gasadsorption (BET)
- dynamische Wasserdampfsorption
- Polarisations-Mikroskopie
- optische, Lumineszenz- und Polarisations-Mikroskopie

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
- Dart-Drop (Fallbolzen)-Gerät
- 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

Molekularbiologie, Biochemie

- Thermocycler
- Real-Time Thermocycler
- DGGE/SSCP-Anlage
- Geldokumentationsanlage mit multipler Detektion
- Gelelektrophorese und Blotting-Systeme
- Isoelektrische Fokussierung
- Mikrolattenleser (Absorption, Fluoreszenz)
- UV/VIS-Spektrometer
- NanoDrop
- 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
- Mikrolatten-Lesegerät für ELISA-assays
- Spektrophotometer
- Stereomikroskop mit digitaler Kamera
- inverses Fluoreszenzmikroskop
- konfokales Laserscanning Mikroskop

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
- 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 centrifugal 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
- ozonizer

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
- doctor-blade techniques in order to process thin polymer and elastomer layer

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
- Langmuir balance

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)
- cascade of stirred tank reactors
- thin film evaporator
- 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)

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

Organic electronic and diffractive optical 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
- holographic setups with UV and VIS lasers

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

- solid state laser (532 nm)
- HeNe laser (633 nm)
- 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
- 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)

Chromatography and solution characterization

- gel permeation chromatographs with multi-detection (VISCO, MALLS, UV, RI, ELSD), analytical
- Eluents: water, DMSO, dichloromethane, dimethyl-formamide/LiBr, hexafluoroisopropanol/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
- optical, luminescence and polarisation 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
- dart-drop tester
- 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

Molecularbiology and biochemistry

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

Micro and cell biological test procedure

- autoclaves
- 3-filter classII 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

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

www.polymer-analytik.de

ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

Zusammenarbeit Collaboration

Fraunhofer-Institute Fraunhofer Institutes

Fraunhofer CBP, Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse, Leuna

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

Fraunhofer ENAS, Institut für Elektronische Nanosysteme, Chemnitz

Fraunhofer FEP, Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnologie, Dresden

Fraunhofer FOKUS, Institut für Offene Kommunikationssysteme, Berlin

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

Fraunhofer IAO, Institut für Arbeitswirtschaft und -organisation, Stuttgart

Fraunhofer IBMT, Institut für Biomedizinische Technik, St. Ingbert

Fraunhofer ICT, Institut für Chemische Technologie, Pfinztal

Fraunhofer IFAM, Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Bremen

Fraunhofer IGB, Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik, Stuttgart

Fraunhofer IIS, Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen

Fraunhofer IKTS, Institut für Keramische Technologien und Systeme, Dresden

Fraunhofer ILT, Institut für Lasertechnik, Aachen

Fraunhofer IME, Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie, Schmallingenberg

Fraunhofer IMS, Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg

Fraunhofer IMWS, Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen, Halle (Saale)

Fraunhofer INT, Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen, Euskirchen

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 Silicidforschung, Würzburg

Fraunhofer ISE, Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg

Fraunhofer ISI, Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe

Fraunhofer IVV, Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung, Freising

Fraunhofer IWM, Institut für Werkstoffmechanik, Freiburg

Fraunhofer IWU, Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Dresden

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

Fraunhofer IZM, Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Berlin

Fraunhofer LBF, Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, Darmstadt

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

Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg, Fachgebiet Leichtbau mit strukturierten Werkstoffen, Lehrstuhl für Thermophysik, Fakultät 3/Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme

Fachhochschule Münster, Fachbereich Chemieingenieurwesen

Freie Universität Berlin, Institut für Chemie, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, BWL und Management; Lehrstuhl für Innovationsmanagement

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Angewandte Optik

Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Fachbereich Holzingenieurwesen

Hochschule Hannover, Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe

Hochschule Merseburg

Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik

Hochschule Reutlingen

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

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

Rheinisch-Westfälische Technische
Hochschule Aachen

Technische Hochschule Wildau,
Fachbereich Ingenieur- und
Naturwissenschaften

Technische Universität Berlin,
Fachgebiet Polymertechnik/Poly-
merphysik, Fakultät für Elektro-
technik und Informatik, Institut
für Physik, Institut für Chemie,
Institut für Hochfrequenztechnik,
Institut für Strukturleichtbau,
Zentrum für Mikrotechnologien

Technische Universität Chemnitz

Technische Universität Dresden,
Institut für Pflanzen- und
Holzchemie

Technische Universität Ilmenau

Universität Düsseldorf, Institut für
Bioorganische Chemie

Universität Albstadt-Sigmaringen,
Department of Engineering

Universität Bayreuth,
Polymer Engineering

Universität Darmstadt, Lehrstuhl
für Elektronische Bauelemente

Universität Erlangen – Nürnberg,
Materials for Electronics and
Energy Technology

Universität Jena, Institut für
Organische Chemie und Makro-
molekulare Chemie

Universität Kassel, Institut für
Werkstofftechnik, Kunststoff-
und Recyclingtechnik

Universität Leipzig

Universität Marburg, Institut für
Pharmazeutische Chemie

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

Universität Rostock, Universitäts-
medizin Rostock

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

Hochschulen im Ausland Foreign universities

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

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

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

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

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

Instituto de Pesquisas Energéticas
e Nucleares, Reator Multipropósi-
to Brasileiro, São Paulo (Brazil)

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

Technische Universität Graz, Ins-
titut für Chemische Technologie
von Materialien, Graz (Austria)

The Hebrew University of
Jerusalem, HUJI, Institute for
Drug Research (IDR), School of
Pharmacy, Hadassah University
Medical Center, Department of
Gastroenterology, Jerusalem
(Israel)

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

The University of Texas, MD An-
derson Cancer Center, Houston,
Texas (USA)

The University of Texas at Austin,
College of Natural Sciences,
Department of Molecular Bio-
sciences, Austin, Texas (USA)

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

Universidad de Santiago de
Compostela, Dept. Microbiología,
Facultad de Biología, Santiago de
Compostela (Spain)

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

Université de Mons, Institut des
biosciences, Mons (Belgium)

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)

Universität Graz, Institut für
Chemie, Graz (Austria)

ZUSAMMENARBEIT

COLLABORATION

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

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

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

University of Liverpool, Department Chemistry, Liverpool (UK)

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

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

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

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 Material Forming, MINES ParisTech, Sophia Antipolis, Cedex (France)

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

Centrum für Angewandte Nanotechnologie, CAN, Hamburg

CIDETEC IK4, San Sebastian (Spain)

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

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

Cori Coatings Research Institute, Ottignies-Louvain-la-Neuve, (Belgium)

DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien e.V., Aachen

EU Joint Research Center, Ispra (Italy)

Forschungsinstitut Bioaktive Polymersysteme e.V., Teltow

Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen gGmbH, FILK, Freiberg

Forschungszentrum Jülich, Jülich

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Berlin

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

Institut für Dünnschichttechnologie und Mikrosensorik e.V., Teltow

Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH, Dresden

Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, IVW, Kaiserslautern

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

Instituto de Investigação da Floresta e Papel, RAIZ, Eixo (Portugal)

Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, IMPiB, Toruń (Poland)

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Graz (Austria)

Karlsruher Institut für Technologie, KIT, Karlsruhe

Kompetenzzentrum Holz GmbH (WoodK plus), Wien (Austria)

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

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

MateriaNova, Mons-Bergen (Belgium)

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

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

NanoTecCenter Weiz, Graz, Austria

Papiertechnische Stiftung, PTS, München

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., STFI, Chemnitz

Stiftelsen SINTEF, Trondheim (Norway)

Süddeutsches Kunststoffzentrum Würzburg, SKZ, Würzburg

Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz

The Institute of Photonic Sciences, ICFO, Barcelona (Spanien)

Thünen-Institut, Großhansdorf

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

Firmenkooperationen Cooperations with companies

3D Micromac, Chemnitz	Cargill Deutschland GmbH, Krefeld	Emsland-Stärke GmbH, Emlichheim	ImaBiotech, Lille (France)
ABB, Ladenburg	Centro Ricerche Fiat (CRF), Turin-Orbassano (Italy)	ESE GmbH, Neuruppin	Indulor Chemie GmbH & Co. KG, Bitterfeld
Advent, Patras (Greece)	Ceresan Erfurt GmbH, Markranstädt	Evonik Industries AG, Essen	Ineos Melamines GmbH, Frankfurt a. Main
aevotis GmbH, Potsdam	Clariant Deutschland GmbH, Frankfurt/Main	Festo AG & Co. KG, Esslingen	Interstarch GmbH Alttrogitz, Elsteraue
Agrana Research & Innovation Center GmbH, Tulln (Austria)	Coatema, Coating Machinery GmbH, Dormagen	Folex AG, Seewen (Switzerland)	Intrinsiq Materials Limited, Farnborough, Hamshire (UK)
Aixtron, Aachen	Coltène/Whaledent AG, Altstätten (Switzerland)	Follmann GmbH & Co. KG, Minden	Isovoltaic AG, Lebring (Austria)
Allresist GmbH, Strausberg	Compraxx GmbH, Brehna	Gen-IAL GmbH, Troisdorf	Jäckering Mühlen-Nährmittelwerke GmbH, Hamm
amynova polymers GmbH, Bitterfeld-Wolfen	Compucon, Thessaloniki (Greece)	glabete GmbH, Ebersbach	Jotun AS, Sandefjord (Norway)
AquaBioTech Limited, Mosta (Malta)	COMSA EMTE SL, Barcelona (Spain)	Glatfelter Falkenhagen GmbH, Pritzwalk	Jowat AG, Detmold
ARKEMA France, Grenoble (France)	Continental, Hannover	GMT Membrantechnik GmbH, Rheinfelden	KARL WEISS Technologies GmbH, Berlin
AVEBE, Veendam (Netherlands)	Cordenka GmbH & Co. KG, Obernburg	Göckener GmbH, Ahaus	Koenen GmbH, Ottobrunn-Riemerling
BASF SE, Ludwigshafen	Corning Cable Systems, Berlin-Adlershof	Gundlach Verpackungen GmbH, Oerlinghausen	Konarka Technologies, Linz (Austria)
BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Weiherhammer	Cromotransfer, Joinville (Brazil)	HAUTE INNOVATION, Berlin	Korea Electronics Technology Institute, KETI, Bundang-gu Seongnam (Republic of Korea)
BioLog Biotechnologie GmbH, Queist	crystalsol GmbH, Wien (Austria)	H. Hiendl GmbH & Co. KG, Bogen-Furth	Kronoply GmbH, Heiligengrabe
Biomer, Krailling	C-Tech Innovation Limited, Capenhurst (UK)	Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf	KSG Leiterplatten GmbH, Gornsdorf
BIOTEC GmbH & Co. KG, Emmerich	Cynora GmbH, Karlsruhe	Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde	Lanxess Deutschland GmbH, Leverkusen
Bruker Daltonics, Bremen	Cyramid AG, Güster	Hobum Oleochemicals GmbH, Hamburg	Leipa Georg Leinfelder GmbH, Schwedt
Bundesdruckerei GmbH, Berlin	Eastman, Kingsport (USA)	Horiba Jobin Yvon SAS, Palaiseau (France)	Lenzing AG, Lenzing (Austria)
	Eckert&Ziegler BEBIG GmbH, Berlin		

ZUSAMMENARBEIT

COLLABORATION

Linotech GmbH & Co. KG, Forst	Oxford Lasers, Oxford–Oxon (UK)	Sapemus Chemie GmbH, Springe	Synthopol Chemie Deutschland, Buxtehude
LIST AG, Arisdorf (Switzerland)	PanEuro, Cork (Ireland)	Schill+Seilacher GmbH, Böblingen	Synthos SA, Oswiecim (Poland)
Loewe Technology GmbH, Kronach	Papierfabrik August Koehler AG, Oberkirch	Schoeller Technocell GmbH & Co. KG, Osnabrück	Technip Zimmer GmbH, Frankfurt/Main
Lonza AG, Visp (Switzerland)	Papierfabrik Palm GmbH, Schwepnitz	SE Tylose GmbH & Co. KG, Wiesbaden	Tecnaro GmbH, Ilsfeld-Auenstein
Lonza Group Ltd., Basel (Switzerland)	PDW Analytics GmbH, Potsdam	Sensor- und Lasertechnik Dr. W. Bohmeyer, Neuenhagen bei Berlin	TES Frontdesign GmbH, Neuruppin
LTB Lasertechnik Berlin GmbH, Berlin	PLAton GmbH, Hamburg	SG Austria Pte Ltd., Singapore (Singapore)	tesa SE, Hamburg
Lüth & Dümchen GmbH, Berlin	Polygal AG Schweiz, Märstetten (Switzerland)	Siemens AG, Berlin	Tilse Formglas GmbH, Liepe
Marintek, Trondheim (Norway)	Polyterra Innovations GmbH, Berlin	Sikoplast Maschinenbau GmbH, Siegburg	Trinseo Deutschland GmbH, Schkopau
MateriaNova, Mons (Belgium)	PRA Trading Ltd., London (UK)	Sirigen Inc., San Diego (USA)	UBC GmbH, Murr
MaxBiogas GmbH, Marienwerder	Pracht Lichttechnik GmbH, Dautphetal	Smallmatek, Aveiro (Portugal)	Uhde Inventa-Fischer GmbH & Co. KG, Berlin
M. Braun Inertgas-Systeme GmbH, Garching	Precision Varionic International LTD, Swindon (UK)	Smurfit Kappa Hoya Papier und Karton GmbH, Hoya	Viscofan S.A., Navada (Spain)
Merck KGaA, Darmstadt	Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus	Solardynamik, Berlin-Adlershof	Volkswagen AG, Wolfsburg
micro resist technology GmbH, Berlin	PSS Polymer Standards Service GmbH, Mainz	Specific Polymers, Montpellier (France)	Wacker Chemie AG, Burghausen
Microdyn-Nadir GmbH, Wiesbaden	Quarzwerte GmbH, Frechen	Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt, Obrigheim	WESSLING GmbH, Altenberge
Model AG, Weinfelden (Switzerland)	Raab-Photonik GmbH, Potsdam	Styron Deutschland GmbH, Schkopau	Xetos AG, Hohenbrunn
Nanograde Ltd., Staefa (Switzerland)	Reifenhäuser REICOFIL GmbH & Co. KG, Troisdorf	SWL Tischlerplatten Betriebs-GmbH, Langenberg	Zellstoff Stendal GmbH, Arneburg
Nematel GmbH & Co. KG, Mainz	Rent-a-Scientist GmbH, Regensburg	Symrise AG, Holzminden	Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal GmbH, Blankenstein
Novald, Dresden	Robert Bosch Battery Systems GmbH, Stuttgart	SYNTHON Chemicals GmbH & Co. KG, Wolfen	Zeppelin Systems GmbH, Kassel
orfix International GmbH, Radbruch			
Osram Opto Semiconductors GmbH, Regensburg			

Netzwerke und Verbünde Networks and associations

Das Fraunhofer IAP war 2016 Mitglied in folgenden Netzwerken, Vereinen bzw. Arbeitsgemeinschaften:

- Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e.V., AGEF
- Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, AiF
- Berlin-Brandenburgischer Verband Polymerforschung
- Cluster Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland
- Deutsches Flachdisplayforum, DFF
- Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., DGM, Fachausschuss Polymerwerkstoffe
- European Polysaccharide Network of Excellence, EPNOE
- Exzellenzcluster »Das Taschentuchlabor – Impulszentrum für Integrierte Bioanalytik«, IZIB
- Fachverband der Stärke-Industrie e.V.
- Forschungsvereinigung Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V., WNR

- Fraunhofer-Allianz NANOTECH
- Fraunhofer-Allianz POLO®
- Fraunhofer-Allianz Textil
- Fraunhofer-Forschungsallianz Kulturerbe
- Fraunhofer-Leitprojekt »Theranostische Implantate«
- Fraunhofer-Netzwerk Elektrochemie
- Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., GdCh
- Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., DECHEMA
- Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V., AVK
- International Advisory Board, Chiral Compounds and Polymers, CCSP
- International Advisory Board, IUPAC, Novel Materials and their Synthesis, NMS
- Internationaler Verein für technische Holzfragen e.V., IVTH
- Kompetenznetz Optische Technologien, OpTecBB e.V.
- Kunststoff-Verbund Brandenburg Berlin e.V., KuVBB
- Landesvereinigung Außeruniversitärer Forschung Brandenburg, LAUF e.V.
- Leibniz-Kolleg Potsdam e.V.
- Organic and Printed Electronics Association, oe-a

- pearls-Potsdam Research Network
- Photonik BB e.V.
- POLYKUM e.V., Fördergemeinschaft für Polymerentwicklung und Kunststofftechnik in Mitteldeutschland
- ProWissen Potsdam e.V.
- Society for Information Display-Mid Europe Chapter, SID-MEC
- Spitzencluster BioEconomy
- Technologieplattform Mikroverkapselung
- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., VDMA
- Verein der Zellstoff- und Papierchemiker und -ingenieure e.V., Zellcheming
- Verein Sichere Identität Berlin-Brandenburg e.V.
- Wissenschaftspark Potsdam-Golm
- Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH

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

Prof. Dr. A. Böker
– Aufsichtsratsmitglied pearls-Potsdam Research Network
– Deutsche Forschungsgemeinschaft 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)
– Reimund Stadler Minerva Center for Mesoscale Macromolecular Engineering

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

Dipl.-Ing. T. Büsse
– Kunststoff-Verbund Brandenburg Berlin e.V. (KuVBB)

Dr. C. Dreyer
– BMBF, Zwanzig20, Advanced UV for Life-Konsortium
– Carbon Composites e.V., CCeV
– OpTecBB e.V.
– Berlin-Brandenburg Aerospace Allianz e.V., BBAA, Wildau
– Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V., BDLI

ZUSAMMENARBEIT

COLLABORATION

Dr. K. Hettrich
– DIN Arbeitsausschuss
Partikelmessstechnik,
Oberflächenmessverfahren

Prof. Dr. D. Hofmann
– Verantwortlicher für das
Handlungsfeld »Biopolymere«
im Cluster »Kunststoffe und
Chemie Brandenburg«

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 Processes
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 Fachgruppen
Makromolekulare Chemie und
Chemie des Waschens
– Vorstandsmitglied SEPAWA e.V.

Dr. T. Pretsch
– Verband »3D-Druck« e.V.

Dr. R.R. Rosencrantz
– glyconet Berlin Brandenburg e.V.

Dr. C. Schmidt
– The American Society for Bio-
chemistry and Molecular Biology,
ASBMB (USA)

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 Fach-
gruppen »Makromolekulare
Chemie«
– Leitung der Arbeitsgruppe
»Materialien für medizinische
Anwendungen« in der »Re-
generativen Medizin Initiative
Berlin-Brandenburg«, RMIB
– Société Suisse Des Chimistes-
Cosméticiens, SWISS SCC
(Switzerland)

Dr. S. Steffen
– Bundesministerium für Bildung
und Forschung, BMBF,
Zwanzig20, C³-Carbon Concrete
Composites-Konsortium

Dr. B. Volkert
– Zellcheming Cellulosefach-
ausschuss

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

Dr. J. Wagner
– OpTecBB e.V.
– VDI, GMA-Fachausschuss 4.16
»Funktionsmaterialien für
Mechatronische Systeme«

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

Lehrveranstaltungen Lecturing activities

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

Prof. Dr. A. Böker
– Vorlesung: *Biobased Building
Blocks for Nanotechnology*,
Universität Potsdam
– Vorlesung: *Verarbeitung
von polymeren Werkstoffen*,
Universität Potsdam
– Seminar: *Diplomanden-,
Doktoranden-, Mitarbeiter-
seminar der Kolloid- und
Polymerchemie*

Dipl.-Ing. T. Büsse
– Vorlesung: *Nachhaltigkeit in
der Kunststoffverarbeitung*,
BTU Cottbus – Senftenberg
– Praktikum: *Kunststoffverarbei-
tung*, BTU Cottbus – Senftenberg

Dr. C. Dreyer
– Praktikum: *Alternative
Härtungsmethoden*, TH Wildau

Prof. Dr. J. Ganster
– Vorlesung: *Strukturcharakteri-
sierung von biobasierten Polymer-
werkstoffen*, Universität Kassel
– Kompaktpraktikum: *Methoden
der Strukturcharakterisierung
im IAP*, Universität Kassel

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

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

Dr. T. Pretsch
– Vorlesung: *Soft Matter –
Shape-Memory Polymers*,
FU Berlin

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

Auszeichnungen Awards

Christina Gabriel
*The ATIPIC award for the best
lecture on environmental and
ecological aspects on European
Technical Coatings Congress,
ETCC, Birmingham (UK)*

Mine Kaya
Förderpreis der
SEPAWA e.V. 2016 in der
Kategorie »Herausragende
Hochschulabsolventin mit
Bachelorabschluss«, 3. Preis,
SEPAWA e.V., Fulda

Dr. Joachim Storsberg
*InnoPlast Solutions Award for
Outstanding Contributions for
Advancement of Polymer Techno-
logy for Medical Devices*, InnoPlast
Solutions Inc., Miami (USA)

PATENTE

PATENTS

Offengelegte Patente 2016: 30 Published patents in 2016: 30

M. Bauer, D. Söthje, C. Dreyer:
Chemisch Abbaubares Epoxidharzsystem
US 2016/0347902 A1
EP 3 102 628 A1

M. Bennemann, F. Morgner, A. Geßner:
Drucksensor mit einem Laser mit verteilter Rückkopplung
DE 10 2014 215 949 A1

F. Börner, B. Dix: *Holzwerkstoffprodukt oder Naturfaser-Verbundwerkstoffprodukt und Verwendung eines formaldehydfreien Amino- und Amidharzes basierend auf Glyoxylsäureestern zu deren Herstellung*
EP 3 080 204

F. Börner, B. Dix: *Holzwerkstoffprodukt oder Naturfaser-Verbundwerkstoffprodukt und Verwendung eines formaldehydfreien Amino- oder Amidharzes zu deren Herstellung*
EP 3 080 202

F. Börner, M. Jobmann, M. Hahn:
Formaldehyd-freie Harze basierend auf Glyoxylsäureestern
EP 3 080 179

F. Börner, M. Jobmann, M. Hahn:
Formaldehyd-freie Harze basierend auf Hydroxyaldehyden
EP 3 080 178

F. Börner, M. Jobmann, M. Hahn: *Formaldehydfreie Amino- oder Amidharze basierend auf einer reaktiven Schutzgruppe und einem Di- oder Trialdehyd als Netzwerkbildner*
EP 3 041 875

B. Dix, F. Börner: *Holzwerkstoffprodukt oder Naturfaser-Verbundwerkstoffprodukt und Verwendung eines formaldehydfreien Aminoplastharzes zu deren Herstellung*
EP 3041909

J. Erdmann, G. Engelmann, J. Ganster: *Mikrostrukturiertes Kompositmaterial, Verfahren zu dessen Herstellung, Formkörper hieraus sowie Verwendungszwecke*
US 2016/0002466 A1

J. Erdmann, G. Engelmann, J. Ganster: *Thermoplastische Polymercompounds mit niedermolekularen Ligninen, Verfahren zu deren Herstellung, Formkörper sowie Verwendungen*
US 2016/0002467 A1

D. Fritsch: *Verfahren zur Herstellung von Poly-(meth)acrylnitril-basierten Polymermembranen, Polymermembranen sowie Lösungen zur Herstellung einer Polymermembran*
EP 3 077 090 A2

D. Fritsch: *Verfahren zur Herstellung von lösemittelstabilen Polymermembranen sowie Lösung zur Herstellung einer Polymermembran*
EP 3 068 522 A2

K. Hettrich, J. Rohowsky: *Verfahren zur Herstellung von sulfatierten Celluloseestern sowie hieraus hergestellte Mikrokapseln und deren Verwendung*
EP 2 976 363

S. Janietz, E. Katholing, H. von Seggern, A. Gassmann, E. Reis Simas: *Elektronisches Bauteil, Verwendung eines Polymerphats sowie Polymerisat*
DE 10 2014 215 108 A1

M. Jobmann, K. Hohmann, F. Börner:
Formaldehyd-freie Mikrokapseln auf Aminoharzbasis
DE 10 2014 218 030.9

M. Jobmann, K. Hohmann, F. Börner: *Formaldehyd-freies Polymer auf der Basis von Aminoharz für die Mikroverkapselung*
DE 10 2014 218 857 A1

M. Knoop, A. Lieske, M. Hahn: *Schmelzspinnbare Copolymere vom Polyacrylnitril, Verfahren zur Herstellung von Fasern oder Faserprecursoren mittels Schmelzspinnen und entsprechend hergestellte Fasern*
WO 2016/050478 A1

M. Knoop, A. Lieske, M. Hahn: *Verfahren zur thermischen Stabilisierung von Fasern sowie derart stabilisierte Fasern*
WO 2016/050479 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch:
Wasch- und Reinigungsmittel mit polymerem Wirkstoff
WO 2016/087259 A1
DE 10 2014 017 962 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch, N. Bode, Y. Willemsen, H. Hellmuth, B. Luneau, A. Schulz, A. Buhl: *Wasch- und Reinigungsmittel mit polymerem Wirkstoff*
WO 2016/087258 A1
DE 10 2014 017 964 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch, N. Bode, Y. Willemsen, H. Hellmuth, B. Luneau, A. Schulz, A. Buhl: *Wasch- und Reinigungsmittel mit polymerem Wirkstoff*
WO 2016/162254 A1
DE 10 2015 004 399 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch, N. Bode, Y. Willemsen, H. Hellmuth, B. Luneau, A. Schulz, A. Buhl: *Wasch- und Reinigungsmittel mit polymerem Wirkstoff*
WO 2016/162253 A1
DE 10 2015 004 400 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Sütterlin, J.-P. Couturier: *Responsives Hydrogel für den Nachweis von Biomolekülen*
EP 3 092 068 A1

A. Lehmann, M. Hassan-Nejad, M. Doss:
Polyacrylnitril basierte Vliestoffe und Verfahren zu deren Herstellung
EP 3 004 436

F. Limberg, H. Krüger: *Organisch elektronisches Bauteil mit einer vernetzten organisch-elektronischen Funktionsschicht und zur Herstellung dieses Bauteils verwendbarer Alkinylderivate*
WO 2016/026806
DE 10 2014 112 038 A1

M. Schukar, E. Wischerhoff: *Stoffzusammensetzung mit linear verlaufender spezifischer kritischer Mischungstemperatur und faser-optischer Temperatursensor basierend auf thermoresponsiven Polymeren*
DE 10 2015 100 097 B4

A. Seeboth, D. Löttsch, C. Rabe, P. Frach, M. Gittner, H. Bartsch, R. de la Barré, R. Bartmann, M. Vergöhl, S. Bruns, T. Neubert, J. Fischer: *Elektrisch steuerbarer Interferenzfarbfilter und dessen Verwendung*
WO 2016/113051 A1
DE 10 2015 200 488 A1

J. Storsberg: *Einsatzvorrichtung sowie Vorrichtung zum Einsetzen einer Intraokularlinse in ein Auge*
DE 10 2014 222 069 B4

J. Storsberg, J. Bohrich: *Verfahren zur kovalenten Beschichtung von Polymeren mit zumindest teilweise nucleophilen Kettenenden, oberflächlich beschichtetes Substrat sowie Verwendungsmöglichkeiten*
EP 3 077 450

U. Wendler, M. Vater, C. Gehrhardt, F. Herzig: *Verfahren zur Abtrennung eines Polymers aus einer Polymerlösung oder -dispersion*
US 2016/0137757 A1
EP 2 981 559

Angemeldete Patente 2016: 13
Applied patents in 2016: 13

PATENTE PATENTS

Erteilte Patente 2016: 20 Granted patents in 2016: 20

M. Bauer, H.-J. Gläsel, D. Decker: *Polysiloxan-modifiziertes Resolharz, daraus erhältliche Formkörper und Komposite sowie Verfahren zum Herstellen des Harzes, der Formkörper und der Komposite*
US 9,328,236 B2

M. Bauer, L. Hartmann, F. Kuschel, W. Weissflog: *Substituierte Amioalkohole als chirale Dotanden*
US 9,273,247 B2

M. Bauer, S. Steffen: *Phosphorhaltige ungesättigte Polyester, Polyesterharze und ggf. faserverstärkte Bauteile daraus*
CN ZL301380015887.5

M. Bauer, S. Steffen, D. Decker, F. Richter: *Harze aus ungesättigten Polyestern und Polysilazanen sowie damit hergestellte, duroplastische Reaktionsharz-Formstoffe*
JP 5884246

A. Concord, G. Wachinger, H. Luinge, E. Langkabel, M. Bauer: *Klebstoff-Zusammensetzung für lösbare Klebeverbindungen und Modifikation der Verkapselungsmaterialien für gezielte Energieeinbringung*
EP 2 427 525 (DE, GB, FR, ES)

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*
US 9,476,024 B2

D. Fritsch, P. Merten: *Kompositmembran*
EP 2 292 317 B1 (DE, NL, GB, FR, BE, AT)

T. Greco, C. Ippen, A. Wedel: *Lumineszierende, cadmiumfreie Kern-Multischalen-Quantenpunkte auf Basis von Indiumphosphid*
KR 10-1687086

S. Janietz, K. Schulze, T. Egorov-Brening, E. Katholing, H. von Seggern: *Verfahren zur Herstellung durchschlagfester ultradünner Dielektrika in elektronischen Bauteilen unter Verwendung vernetzbarer polymerer dielektrischer Materialien*
EP 2 606 076 (DE, NL, IT, GB, AT)

H. Krüger, M. Thesen, S. Janietz, A. Wedel: *Polymere Licht-emittierende Diode und Verfahren zu deren Herstellung*
EP 2 193 692 B1 (DE)

A. Laschewsky, M. Hahn, B.-R. Paulke, W. Jaeger, C. Przybyla, A. Sieger: *Polymer dispersion and process for preparing a polymer dispersion*
EP 1 846 477 B1

A. Lehmann, H. Ebeling, H.-P. Fink: *Verfahren zur Herstellung ligninhaltiger Precursorfasern sowie Carbonfasern*
EP 2 726 653 (DE, TR, SE, PT, PL, IT, GB, FR, FI, ES)

R. Lorenz, M. Bauer, S. Steffen: *Hochzähe Werkstoffe auf Basis ungesättigter Polyester*
CN 1208483 A (HK)

T. Pretsch, J. Lindebacher, J. Hättig: *Funktionale Folientunnel, insbesondere sich selbst aufrichtende Strukturen und Verfahren der Programmierung*
EP 2 693 866 B1 (DE, PL, ES)

M. Schukar, E. Wischerhoff: *Stoffzusammensetzung mit linear verlaufender spezifischer kritischer Mischungstemperatur und faseroptischer Temperatursensor basierend auf thermoresponsiven Polymeren*
DE 10 2015 100 097 B4

A. Seeboth, O. Mühling, R. Ruhmann, R. Vetter:
Komposit mit inversen thermochromen Eigenschaften, dieses enthaltender Verbundwerkstoff sowie dessen Verwendung
KR 10-1590382

D. Söthje, C. Dreyer, M. Bauer, R. Fischer:
Anordnung zur Behandlung von Materialien mit Mikrowellen
DE 10 2015 111 555 B3

D. Söthje, C. Dreyer, M. Bauer: *Verfahren zum Recycling benzoxazinharzhaltiger Materialien, insbesondere von benzoxazinharzhaltigen Faserverbundkunststoffen*
DE 10 2015 111 939 B3

J. Storsberg: *Einsatzvorrichtung sowie Vorrichtung zum Einsetzen einer Intraokularlinse in ein Auge*
DE 10 2014 222 069 B4

E. Wischerhoff, J.-F. Lutz, A. Laschewsky, N. Badi, C. Duschl, A. Lankenau, C. Schmidt:
Thermoresponsives Multischichtsubstrat für biologische Zellen
DE 50 2010 012 757.7
EP 2 390 310 B1

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

Graduierungsarbeiten Theses

Untersuchungen zur Anzucht von *Phanerochaete chrysosporium*

Aylin Arslan

Bachelor thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Energieeffizientes Recycling von duromerbasierten Faserverbundkunststoffen

Christian Braune

Master thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Sorption Studies of Propylene and Ethylene in Polypropylene Powders

Luis Castillon

Master thesis, Martin Luther University Halle-Wittenberg

Biotechnologische Produktion einer Ferulasäureesterase aus *Aspergillus niger*

Jennifer Chalkidis

Bachelor thesis, Technical University of Applied Sciences Wildau

Telechelic poly(lactid acid) synthesis by polycondensation: upscaling to miniplant scale

Esra Dincer

Master thesis, University of Potsdam

Optimierung des μ CP-Verfahrens zur Herstellung von Glycopolymerbürsten für die Lektinbindung

Melissa Freitag

Bachelor thesis, Technical University Berlin

Entwicklung eines Aufarbeitungsverfahrens zur Gewinnung von rekombinantem Florfliegen-seidenprotein

Richard Frenkler

Bachelor thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Noppenwaben als neue Kernwerkstoffe für Leichtbauanwendungen

Nils Gerber

PhD thesis, BTU Cottbus – Senftenberg

Entwicklung eines polymerbasierten Verstärkersystems zur Antikörperdetektion

Alexander Gorczyza

Diploma thesis, Technical University Berlin

Biopolymerfolien mit Formgedächtniseigenschaften

Hannah Helmers

Bachelor thesis, Technical University Berlin

Die Entwicklung von optischen Nachweissystemen für die Sterilisation mit Wasserstoffperoxiddampf

Phuong Ho

Bachelor thesis, Technical University Berlin

Untersuchungen zu Möglichkeiten der Verarbeitung von Celluloseacetat und -mischungen mittels 3D-Druckertechnologie

Ron Martin Jacob

Bachelor thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Herstellung und Untersuchung von tensidstabilisierten Emulsionen und hyaluronsäurebasierten kosmetischen Applikationssystemen

Mine Kaya

Bachelor of Engineering, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Neue Polyacrylnitril-basierte, schmelzspinnbare Präkursoren für Carbonfasern

Mats Timothy Knoop
PhD thesis, University of Potsdam

Überführung von InP – basierten Quantenpunkten in eine wässrige Phase

Christopher Pries
Master thesis, University of Potsdam

Untersuchung zur Anzucht von *Ustilago maydis* in unterschiedlichen Fermentationssystemen

Fabian Körner
Master thesis, University of Applied Sciences Neubrandenburg

Herstellung eines Stammes für die biotechnologische Isoprenproduktion

Lutz Richter
Bachelor thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Entwicklung eines Reinigungsverfahrens zur Herstellung von rekombinantem Seidenprotein

Johannes Lemke
Bachelor thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Entwicklung und Charakterisierung von tensidbasierten kosmetischen Emulsionen mit anti-aging-aktiven Wirkstoffen

Ahlam Sahleh
Bachelor of Engineering, Beuth University of Applied Sciences Berlin

Synthese und Entwicklung thermisch vernetzbarer OLED-Materialien

Felix Limberg
PhD thesis, University of Potsdam

Klonierung und Expression von glykanmodifizierenden Enzymen

Romy Thomas
Bachelor thesis, Technical University Berlin

Synthesis of defined monodisperse microgel-protein conjugates and immobilization on Gold and ITO

Riccardo Marina
Master thesis, Université catholique de Louvain

Study of Bimodal homo-polypropylene polymerization kinetics

Sina Valaei
Master thesis, Martin Luther University Halle-Wittenberg

Synthesis of protein-PDMAEMA conjugates for the formation of ultrathin membranes

Lilia Mavliotova
Master thesis, Freie Universität Berlin, Humboldt University Berlin, Technical University Berlin, University of Potsdam

Repair of glass fiber-reinforced epoxy polymers with UV-LED curable resin systems

Perrine Wohlfrom
Master thesis, Université des Strasbourg, École Européenne de Chimie, Polymères et Matériaux, ECPM

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

Vorträge Lectures

M. Bartke: *Effect of prepolymerization on polymerization rate of propene*, 4th Blue Sky Conference on Catalytic Olefin Polymerization, Sorrento (Italy), 27.6. – 1.7.2016

M. Biedermann, H. Krüger, M. Wegener: *Chemischer Fertigungsprozess für Dielektrische Elastomer-Stapelaktoren*, Kuratoriumssitzung, Fraunhofer IAP, Potsdam-Golm, 24.6.2016

C. Boeffel: *ALD as effective barrier for organic electronic devices*, 16th International Summer Schools on Nanosciences & Nanoelectronics & Nanomedicine, Thessaloniki (Greece), 2. – 9.7.2016

C. Boeffel, S. Kröpke, A. Lange, A. Wedel, Y. Kim: *Solution processing of organic light emitting diodes*, 9th International Symposium on Flexible Organic Electronics, ISFOE 2016, Thessaloniki (Greece), 4. – 7.7.2016

J. Bohrisch, I. Stachel: *New Developments to Synthetic Tissue Adhesives*, 6th Freiberg Collagen Symposium, Freiberg, 14. – 15.9.2016

G. Engelmann, J. Ganster: *Lignin as component in bio-based epoxy resins*, Statusseminar über Lignin, Frankfurt am Main, 27.1.2016

J. Erdmann, J. Ganster: *Lignin als Blendkomponente in Thermoplasten*, Statusworkshop »Stoffliche Nutzung von Lignin«, Frankfurt am Main, 27.1.2016

C. Gabriel, M. Wanner, H. Wetzel, S. Radosta, W. Vorwerg: *Modified starch as potential water-based binder system for interior coatings*, 67th Starch Convention 2016, Detmold, 13. – 14.4.2016

C. Gabriel, H. Wetzel, S. Radosta, W. Vorwerg: *Modified starch as potential water-based binder system for interior coatings*, European Technical Coatings Congress 2016, Birmingham (UK), 25.5.2016

C. Gabriel, M. Wanner, H. Wetzel, S. Radosta, W. Vorwerg: *Modified starch dispersion as water-based binder system for paints and varnishes*, Advances in Coatings Technology '16, Sosnowiec (Poland), 8. – 10.11.2016

C. Gabriel, M. Wanner, H. Wetzel, S. Radosta, W. Vorwerg: *Modified starches for concentrated water-based binder systems with application in paints and varnishes*, EPNOE Junior Scientists Meeting '16, Sophia Antipolis (France), 13. – 14.10.2016

U. Glebe: *Protein-polymer conjugates of engineered FhuA: Aiming at membrane applications*, Aachen Protein Engineering Symposium, AcES 2016, Aachen, 21. – 23.7.2016

S. Janietz: *Möglichkeiten der Integration von OLEDs, OPV und Batterien in Textilien*, Wehrtechnischen Symposium 2016, Erding, 11. – 13.10.2016

S. Janietz, A. Lange, B. Gruber, P. Pingel: *Non halogenated ink formulations for inkjet printed photoactive layers*, MRS Fall Meeting & Exhibit, Boston (USA), 27.11. – 2.12.2016

S. Janietz, W. Meyer: *Solid electrolyt membran with crosslinkable Ionic liquides for Li batteries*, CLIB 2016, International Conference on Bio-based Materials, Neuss, 13.6.2016

S. Janietz, P. Pingel: *Thermal stabilization of the bulk-heterojunction morphology in polymer-fullerene solar cells by using organic bisazides*, 9th International Symposium on Flexible Organic Electronics, ISFOE 2016, Thessaloniki (Greece), 4. – 7.7.2016

J. Kettner, M. Bartke: *Kinetic modeling of the gas-phase polymerization of propylene with a high active Ziegler-Natta catalyst under different injection conditions*, 12th International Workshop on Polymer Reaction Engineering, Hamburg, 17. – 20.5.2016

H. Krüger: *Dielektrische Elastomeraktoren (DEA): Leicht, lautlos, proportional. Konzepte und Entwicklungsstand*, 5. Ilmenauer Magnettag, Ilmenau, 8.6.2016

A. Lieske: *Biobasierte Polymermaterialien – von der Biomasse zum Werkstoff anhand ausgewählter Beispiele*, HTP Fachforum, Leipzig, 8.9.2016

A. Lieske: *Development of industrially feasible structure variations of polylactide: Stereoblock-PLA*, 4th PLA World Congress, München, 25.5.2016

A. Lieske: *Synthesis of cationic polyelectrolytes by dispersion polymerization in aqueous aluminum salt solutions*, 12th International Workshop on Polymer Reaction Engineering, Hamburg, 18.5.2016

A.-S. Lindenberg, S. Zarmas-Röhl, J. Storsberg, L. Morawietz: *Analyse von explantierten eingetrübten Intraokularlinsen*, Klinik für Augenheilkunde, Charité Campus Virchow-Klinikum/Charité Campus Benjamin Franklin im Rahmen der Wintertagung der Berlin-Brandenburgischen Augenärztlichen Gesellschaft, Berlin, 2.12.2016

R. Rosencrantz: *Glykopolymere – Informationskodierung, Vielseitigkeit und Komplexität der Natur in funktionellen Polymeren*, Cross-Innovation-Workshop »Polymere – Neue Perspektiven für IVD, Bioanalytik und Medizin«, Wildau, 23.6.2016

Poster
Posters

O. Sakhno, A. Raybchun, W. Wegener: *Elastomeric materials for all-optical fabrication of tunable volume diffraction gratings*, EOSAM 2016, Berlin, 26.–30.9.2016

M. Sborikas, J. Ealo, M. Wegener: *Piezoelectric polymer foams: Structure and property adjustment for air-borne ultrasonic transducer*, 5th International Conference on Smart and Multi-functional Materials, Structures and Systems, CIMTEC, Perugia (Italy), 5.–9.6.2016

B. Volkert, A. Lehmann, J. Ganster: *Biobased thermoplastic resins from starch and lignocellulose*, Sino-German Symposium on Biomaterials from Lignocelluloses, Beijing (China), 6.3.–11.3.2016

M. Arvind, P. Pingel, S. Janietz, D. Neher: *Molecular doping of conjugated polymers with the strong lewis acid Tris(pentafluoro-phenyl) borane*, DPG-Frühjahrstagung, Regensburg, 6.–11.3.2016

M. Arvind, P. Pingel, S. Janietz, D. Neher: *Molecular p-doping of semiconducting polymers with the strong lewis acid Tris(pentafluorophenyl)borane*, Polydays 2016, Potsdam, 28.–30.9.2016

H. Charan, U. Glebe, A. Böker: *To transmembrane protein-polymer conjugates and beyond: Moving from proof-of-principles to applications*, Polydays 2016, Potsdam, 28.–30.9.2016

X. Dai, U. Glebe, A. Böker: *Chemical conjugates via an enzymatic strategy (Sortase A)*, Polydays 2016, Potsdam, 28.–30.9.2016

D. Dietz, M. Schmidt: *Added value of biomass for biopolymers and biofuels*, 3rd Sino-German Symposium on Biobased Chemicals and Biorefinery, Hangzhou (China) 15.–19.11.2016

A. Drawpateep, M. Bartke: *High impact polypropylene – kinetics and selectivity effects*, 12th International Workshop on Polymer Reaction Engineering, University of Hamburg, 17.–20.5.2016

C. Gabriel, M. Wanner, H. Wetzel, S. Radosta, W. Vorweg: *Water-based starch ester dispersions as binder system in paints and varnishes*, 5. Berliner Chemie Symposium & 1. Chemie Praxis; für Studierende, AbsolventInnen und DoktorandInnen, Berlin, 12.–13.4.2016

K. Hennig, W. Meyer: *Catechol-based photocurable materials for bioinspired coatings of titanium implants*, Polydays 2016, Potsdam, 28.–30.9.2016,

A. Lieske, M. Hahn, A. Gomoll, E. Mitzner, F. Reiche: *Development of industrially feasible structure variations of polylactide*, Eco-Bio Conference, Rotterdam (Netherlands) 6.–9.3.2016

W. Meyer, S. Asaftei, D. Grothe, S. Janietz: *New material routes to polymeric solid electrolytes*, Bunsen-Kolloquium "Solid-State Batteries II – From Fundamentals to Application", SSB 2016, Frankfurt am Main, 23.–25.11.2016

M. Plata, M. Bartke: *High impact polypropylene structure evolution and impact on reaction*, 6th International Conference on Polyolefin Characterization, Shanghai (China) 6.–9.11.2016

M. Plata, M. Bartke: *High impact polypropylene: Morphology generation during homo-stage*, 4th Blue Sky Conference on Catalytic Olefin Polymerization, Sorrento (Italy) 27.6.–1.7.2016

M. Plata, M. Bartke: *High impact polypropylene: Morphology generation during homo-stage*, 12th International Workshop on Polymer Reaction Engineering, University of Hamburg, Hamburg, 17.–20.5.2016

E. Spielmann-Emden, K. Hennig, W. Meyer: *Tear-tensile-strength study of biomimetic photo-elastomers*, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomaterialien 2016, Aachen, 29.9.–1.10.2016

L. Tan, B. Liu, U. Glebe, A. Böker: *Synthesis and assembly of responsive cobalt nanoparticles*, Polydays 2016, Potsdam, 28.–30.9.2016

M. Vater, M. Bartke: *Multi-reactor system for catalyst testing in synthetic rubber solution polymerization*, 12th International Workshop on Polymer Reaction Engineering, University of Hamburg, 17.–20.5.2016

M. Wegener, M. Biedermann, S.-O. Seidel, H. Krüger: *Processing line for stacked DE-actuator modules*, EuroEAP 2016, International Conference on Electromechanically Active Polymer, EAP, transducers & artificial muscles, Helsingør (Denmark), 14.–15.6.2016

D. Zimmermann, J. Schröder, S. Janietz, C. Sprau, A. Colsmann, H. Krüger: *Donor-acceptor polymers synthesized by direct arylation*, ElecMol 2016, 8th International Conference on Molecular Electronics, Paris (France), 22.–26.8.2016

D. Zimmermann, J. Schröder, S. Janietz, C. Sprau, A. Colsmann, H. Krüger: *Donor-acceptor polymers synthesized by direct arylation*, Polydays 2016, Potsdam, 28.–30.9.2016

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

Publikationen Publications

- F. Ahrend**, U. Glebe, L. Árnadóttir, J. Baio, D. Fischer, C. Jaye, B. Leung, A. Hitchcock, T. Weidner, U. Siemeling, A. Ehresmann: *Magnetic Field Landscapes Guiding the Chemisorption of Diamagnetic Molecules*, Langmuir, The ACS journal of surfaces and colloids, Vol. 32, No. 41, pp. 10491–10496 (2016)
- J. Bauer**, C. Westphalen, W. Bidlingmaier, M. Hiebel, D. Maga, S. Kabasci, T. Hartmann, L. Kroll, A. Dörgens, A. Siebert-Raths, T. Fell, A. Mäurer, K. Jesse, A. Lieske, H.-J. Endres, D. Bellusova, S. Mauer: *Die Rohstoffkosten mittels Recycling senken: Nachhaltige Verwertungsstrategien für Abfälle aus biobasierten Kunststoffen*, Plstverarbeiter No. 07, pp. 28–31 (2016)
- M. Bauer**, L. Hartmann, S. Krüger, F. Kuschel, W. Weissflog: *Structural aspects and host effects of the chirality transfer by mesogenic substituted amino-alcohols*, Molecular Crystals and Liquid Crystals, Vol. 626, No. 1, pp. 1–11 (2016)
- A. Böker**: *Announcement of the 2016 Polymers Young Investigator Award*, Polymers. Online resource, Vol. 8, No. 3, Art. 65, pp. 2 (2016)
- T. Brenner**, B. Kiessler, S. Radosta, T. Arndt: *Processing surface sizing starch using oxidation, enzymatic hydrolysis and ultrasonic treatment methods – preparation and application*, Carbohydrate polymers, Vol. 138, pp. 273–279 (2016)
- M. Brown**, J. Storsberg, C. Schmidt: *Where the Future is Being Made Today*, American Journal of Immunology, Vol. 12, No. 2, pp. 17–19 (2016)
- H. Charan**, J. Kinzel, U. Glebe, D. Anand, T. Garakani, L. Zhu, M. Bocola, U. Schwaneberg, A. Böker: *Grafting PNIPAAm from β -barrel shaped transmembrane nanopores*, Biomaterials, Vol. 107, pp. 115–123 (2016)
- S. Costa**, P. Pingel, S. Janietz, A. Nogueira: *Inverted organic solar cells using nanocellulose as substrate*, Journal of applied polymer science, Vol. 133, No. 28, Art. 43679, p. 6 (2016)
- J.-P. Couturier**, E. Wischerhoff, R. Bernin, C. Hettrich, J. Koetz, M. Sütterlin, B. Tiersch, A. Laschewsky: *Thermoresponsive polymers and inverse opal hydrogels for the detection of diols*, Langmuir. The ACS journal of surfaces and colloids, Vol. 32, No. 17, pp. 4333–4345 (2016)
- P. Cywinski**, M. Pietraszkiewicz, M. Maciejczyk, K. Gorski, T. Hammann, K. Liermann, B.-R. Paulke, H.-G. Löhmansröben: *Total protein concentration quantification using nanobeads with a new highly luminescent terbium(III) complex*, RSC Adv. 6, pp. 115068–115073 (2016)
- C. Dreyer**, F. Mildner: *Application of LEDs for UV-curing*, M. Kneissl: *III-nitride ultraviolet emitters: Technology and applications.*, Cham: Springer International Publishing, (Springer series in materials science 227), pp. 415–434 (2016)
- G. Engelmann**, J. Ganster: *Lignin reinforcement in thermosets composites*, O. Faruk: *Lignin in polymer composites*, Amsterdam: Elsevier, pp. 119–151 (2016)
- A. Enzenberg**, A. Laschewsky, C. Boeffel, E. Wischerhoff: *Influence of the near molecular vicinity on the temperature regulated fluorescence response of Poly(N-vinylcaprolactam)*, Polymers, Online resource, Vol. 8, No. 4, Art. 109, pp. 21 (2016)
- C. Franke**, O. Stenzel, S. Wilbrandt, M. Schürmann, J. Wolf, V. Todorova, B. Doherty, N. Kaiser: *Optische Konstanten von Substraten im NIR/MIR-Spektralbereich: Bestimmung mittels Fourier-Transform-Infrarot-(FTIR-)Spektrometrie*, Vakuum in Forschung und Praxis, Vol. 28, No. 1, pp. 28–32 (2016)
- C. Gabriel**, M. Wanner, H. Wetzel, S. Radosta, W. Vorwerg: *Modified starch dispersions as water-based binder system for paints and varnishes*, Farby i Lakiery, No. 5, pp. 3–10 (2016)
- C. Gabriel**, M. Wanner, H. Wetzel, S. Radosta, W. Vorwerg: *Water-based starch ester dispersions as binder system in paints and varnishes*, JungChemikerForum, JCF, Berlin: 5. Berliner Chemie Symposium & 1. Chemie in Praxis, BCS & ChiP 2016: 12.–13.4.2016, Berlin, Book of Abstracts. Berlin, p. 54 (2016)
- F. Galeotti**, L. Hartmann, C. Botta: *Robust surface patterning by parylene-reinforced breath figures: An enabling tool for liquid crystal microcell arrays*, Journal of colloid and interface science, Vol. 465, pp. 47–53 (2016)
- K. Gugula**, L. Stegemann, P. Cywinski, C. Strassert, M. Bredol: *Facile surface engineering of $\text{CuInS}_2/\text{ZnS}$ quantum dots for LED down-converters*, RSC Advances, Vol. 6, No. 12, pp. 10086–10093 (2016)
- C. Herfurth**, A. Laschewsky, L. Noirez, B. v. Lospichl, M. Gradzielski: *Thermoresponsive (star) block copolymers from one-pot sequential RAFT polymerizations and their self-assembly in aqueous solution*, Polymer, Vol. 107, pp. 422–433 (2016)
- F. Hermerschmidt**, I. Burgués-Ceballos, A. Saava, E. De Sepos, A. Lange, C. Boeffel, S. Nau, E. List-Kratochvil, S. Choulis: *High performance indium tin oxide-free solution-processed organic light emitting diodes based on inkjet-printed fine silver grid lines*, Flexible and printed electronics, Vol. 1, No. 3, Art. 035004, p. 11 (2016)

- M. Heusinger**, T. Flügel-Paul, U.-D. Zeitner: *Large-scale segmentation errors in optical gratings and their unique effect onto optical scattering spectra*, Applied Physics B, Vol. 122, No. 8, Art. 222, p. 12 (2016)
- V. Hildebrand**, A. Laschewsky, E. Wischerhoff: *Modulating the solubility of zwitterionic poly((3-methacrylamidopropyl) ammonioalkane sulfonate)s in water and aqueous salt solutions via the spacer group separating the cationic and the anionic moieties*, Polymer chemistry, Vol. 7, No. 3, pp. 731–740 (2016)
- S. Hribernik**, K. Kleinschek, R. Rihm, J. Ganster, H.-P. Fink, M. Smole: *Tuning of cellulose fibres' structure and surface topography: Influence of swelling and various drying procedures*, Carbohydrate polymers, Vol. 148, pp. 227–235 (2016)
- 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*, Journal of Functional Biomaterials, Vol. 7, No. 2, Art. 11, p. 18 (2016)
- C. Kathrein**, W. Bai, A. Nunns, J. Gwyther, I. Manners, A. Böker, L. Tsarkova, C. Ross: *Electric field manipulated nanopatterns in thin films of metalorganic 3-miktoarm star terpolymers*, Soft matter, Vol. 12, No. 21, pp. 4866–4874 (2016)
- C. Kathrein**, C. Pester, M. Ruppel, M. Jung, M. Zimmermann, A. Böker: *Reorientation mechanisms of block copolymer/CdSe quantum dot composites under application of an electric field*, Soft matter, Vol. 12, No. 40, pp. 8417–8424 (2016)
- H. Kim**, Y. Park, J. Kim, C. Han, J. Lee, Y. Kim, T. Greco, C. Ippen, A. Wedel, B.-K. Ju, M. Oh: *Transparent InP Quantum Dot Light-Emitting Diodes with ZrO₂ Electron Transport Layer and Indium Zinc Oxide Top Electrode*, Advanced Functional Materials, Vol. 26, No. 20, pp. 3454–3461 (2016)
- M. Kopec**, A. Rozpędzik, L. Lapok, T. Geue, A. Laschewsky, S. Zapotoczny: *Stratified micellar multilayers – towards nanostructured photoreactors*, Chemistry of Materials, Vol. 28, No. 7, pp. 2219–2228 (2016)
- K. Kyriakos**, M. Philipp, C.-H. Lin, M. Dyakonova, N. Vishnevetskaya, I. Grillo, A. Zacccone, A. Miasnikova, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. Papadakis: *Quantifying the interactions in the aggregation of thermoresponsive polymers: The effect of cononsolvency*, Macromolecular rapid communications, Vol. 37, No. 5, pp. 420–425 (2016)
- J. Lazar**, R. Rosencrantz, L. Elling, U. Schnakenberg: *Simultaneous electrochemical impedance spectroscopy and localized surface plasmon resonance in a microfluidic chip: New insights into the spatial origin of the signal*, Analytical chemistry, Vol. 88, No. 19, pp. 9590–596 (2016)
- A. Lehmann**, E. Tarkhanov: *Biobasierte Synthesefasern für textile und technische Anwendungen*, Plastverarbeiter, Vol. 16, No. 9, pp. 110–112 (2016)
- A. Lehmann**, E. Tarkhanov, J. Ganster: *Bio-based man-made fibers – viscose fibers and more*, The Trendbook – Technical Textiles 2016/2017. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag, pp. 18–21 (2016)
- F. Limberg**, T. Schneider, S. Höfle, F. Reisbeck, S. Janietz, A. Colmann, H. Krüger: *1-Ethynyl ethers as efficient thermal cross-linking system for hole transport materials in OLEDs*, Advanced Functional Materials, Vol. 26, No. 46, pp. 8505–8513 (2016)
- B. Liu**, A. Böker: *Measuring rotational diffusion of colloidal spheres with confocal microscopy*, Soft matter, Vol. 12, No. 28, pp. 6033–6037 (2016)
- D. Löttsch**, V. Eberhardt, C. Rabe: *Chromogenic materials*, Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry., Online resource. Chichester: Wiley, p. 26 (2016)
- T. Meiling**, P. Cywinski, I. Bald: *White carbon: Fluorescent carbon nanoparticles with tunable quantum yield in a reproducible green synthesis*, Scientific Reports, Vol. 6, Art. 28557 (2016)
- L. Müller**, D. Nanova, T. Glaser, S. Beck, A. Pucci, A. Kast, R. Schröder, E. Mankel, P. Pingel, D. Neher, W. Kowalsky, R. Lovrincic: *Charge-Transfer-Solvent Interaction Predefines Doping Efficiency in p-Doped P3HT Films*, Chemistry of Materials, Vol. 28, No. 12, pp. 4432–439 (2016)
- B. Mutaliyeva**, D. Grigoriev, G. Madybekova, A. Sharipova, S. Aidarova, A. Saparbekova, R. Miller: *Microencapsulation of insulin and its release using w/o/w double emulsion method*, Colloids and surfaces. A, Online First, p. 6 (2016)
- L. Olejko**, P. Cywinski, I. Bald: *An ion-controlled four-color fluorescent telomeric switch on DNA origami structures*, Nanoscale, Vol. 8, No. 19, pp. 10339–10347 (2016)
- H. Park**, S. Walta, R. Rosencrantz, A. Körner, C. Schulte, L. Elling, W. Richtering, A. Böker: *Micelles from self-assembled double-hydrophilic PHEMA-glycopolymers-diblock copolymers as multivalent scaffolds for lectin binding*, Polymer chemistry, Vol. 7, No. 4, pp. 878–886 (2016)

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

- S. Park**, X. Cheng, A. Böker, L. Tsarkova: *Hierarchical Manipulation of Block Copolymer Patterns on 3D Topographic Substrates: Beyond Graphoepitaxy*, *Advanced Materials*, Vol. 28, No. 32, pp. 6900–6905 (2016)
- H. Petersen**, K. Roth: *To Tattoo or not to Tattoo: Vom Pigment zum Porträt*, *Chemie in unserer Zeit*, Vol. 50, No. 1, pp. 44–66 (2016)
- P. Pingel**, M. Arvind, L. Kölln, R. Steyrlleuthner, F. Kraffert, J. Behrends, S. Janietz, D. Neher: *p-Type doping of Poly(3-hexylthiophene) with the strong lewis acid Tris(pentafluorophenyl) borane*, *Advanced electronic materials*, Vol. 2, No. 10, Art. 1600204, p. 7 (2016)
- P. Pinyou**, A. Ruff, S. Pöller, S. Barwe, M. Nebel, N. Guerrero Albuquerque, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, S. Schmaderer, J. Szeponik, N. Plumere, W. Schuhmann: *Thermoresponsive amperometric glucose biosensor*, *Biointerphases*, Online journal, Vol. 11, Art. 011001, p. 7 (2016)
- S. Radosta**, B. Kiessler, W. Vorwerg, T. Brenner: *Molecular composition of surface sizing starch prepared using oxidation, enzymatic hydrolysis and ultrasonic treatment methods*, *Starch = Stärke*, Vol. 68, No. 5–6, pp. 541–548 (2016)
- M. Richter**, A. Schulz, T. Subkowski, A. Böker: *Adsorption and rheological behavior of an amphiphilic protein at oil/water interfaces*, *Journal of colloid and interface science*, Vol. 479, pp. 199–206 (2016)
- J. Rohowsky**, K. Heise, S. Fischer, K. Hettrich: *Synthesis and characterization of novel cellulose ether sulfates*, *Carbohydrate polymers*, Vol. 142, pp. 56–62 (2016)
- R. Rosencrantz**, V. Nguyen, H. Park, C. Schulte, A. Böker, U. Schnakenberg, L. Elling: *Lectin binding studies on a glycopolymer brush flow-through biosensor by localized surface plasmon resonance*, *Analytical and bioanalytical chemistry*, Vol. 408, No. 20, pp. 5633–5640 (2016)
- F. Rösicke**, G. Sun, T. Neubert, S. Janietz, K. Hinrichs, J. Rappich: *Electrochemical functionalization of Au by aminobenzene and 2-aminotoluene*, *Journal of Physics, Condensed Matter*, Vol. 28, No. 9, Art. 094004, p. 7 (2016)
- A. Ryabchun**, I. Raguzin, J. Stumpe, V. Shibaev, A. Bobrovsky: *Cholesteric Polymer Scaffolds Filled with Azobenzene-Containing Nematic Mixture with Phototunable Optical Properties*, *ACS applied materials & interfaces*, Vol. 8, No. 40, pp. 27227–27235 (2016)
- A. Ryabchun**, O. Sakhno, M. Wegener: *Conventional elastomers doped with benzophenone derivatives as effective media for all-optical fabrication of tunable diffraction elements*, *RSC Advances*, Vol. 6, No. 57, pp. 51791–51800 (2016)
- A. Ryabchun**, M. Wegener, Y. Gritsai, O. Sakhno: *Novel effective approach for the fabrication of PDMS-based elastic volume gratings*, *Advanced optical materials*, Vol. 4, pp. 169–176 (2016)
- A. Ryabchun**, M. Kollasche, M. Wegener, O. Sakhno: *Holographic structuring of elastomer actuator: First true monolithic tunable elastomer optics*, *Advanced Materials*, Vol. 28, No. 46, pp. 10217–10223 (2016)
- M. Sborikas**, J. Ealo, M. Wegener: *Effects of temperature on electromechanical properties and ultrasonic performance of piezoelectric cellular PP films*, *Sensors and Actuators A*, Vol. 245, pp. 1–9 (2016)
- M.-P. Schürings**, O. Nevskiy, K. Eliasch, A.-K. Michel, B. Liu, A. Pich, A. Böker, G. von Plessen, D. Wöll: *Diffusive motion of linear microgel assemblies in solution*, *Polymers*, Online resource, Vol. 8, No. 12, p. 14 (2016)
- C. Schmidt**, F. Yokaichiya, N. Doğangüzel, M. Dias Franco, L. Calvacanti, M. Brown, M. Alkschbirs, D. de Araujo, M. Kumpugdee-Vollrath, J. Storsberg: *An Abraded Surface of Doxorubicin-Loaded Surfactant-Containing Drug Delivery Systems Effectively Reduces the Survival of Carcinoma Cells*, *Biomedicines*, Vol. 4, No. 3, Art. 22, p. 13 (2016)
- C. Schmidt**, S. Fabinyi, S. Rehfeldt, S. Klöppzig, V. Jentzen, J. Bohrisch, A. Messner, J. Storsberg: *Nicht-antagonistische Wirkungsweise des intrastromalen Krumeich-Kornearings in einem experimentellen Gewebekultursystem*, *Der Ophthalmologe*, Vol. 113, No. 10, pp. 852–860 (2016)
- A. Sechi**, J. Freitas, P. Wünnemann, A. Töpel, R. Paschoalin, S. Ullmann, R. Schröder, G. Aydin, S. Rütten, A. Böker, M. Zenke, A. Pich: *Surface-Grafted Nanogel Arrays Direct Cell Adhesion and Motility*, *Advanced materials interfaces*, Vol. 3, No. 20, Art. 1600455 (2016)
- S. Sel**, M. Brown, J. Storsberg, C. Schmidt: *What you see is what you get*, *American Journal of Immunology*, Vol. 12, No. 3, pp. 52–55 (2016)
- T. Smirnova**, O. Sakhno, J. Stumpe, V. Fitio: *Polymer distributed feed-back dye laser with an external volume Bragg grating inscribed in a nanocomposite by holographic technique*, *Journal of the Optical Society of America B, Optical physics*, Vol. 33, No. 2, pp. 202–210 (2016)
- J. Storsberg**, M. Laughton, M. Geyer, M. Kumpugdee-Vollrath, C. Schmidt: *IL16 – Improving the bioavailability of pharmacologically active substances in pharmaceutical and cosmetic formulations*, *Asian journal of pharmaceutical sciences: AJPS*, Vol. 11, No. 1, pp. 33–34 (2016)

J. Storsberg, M. Brown, C. Schmidt: *Vaccination against heart attack?*, Editorial, American Journal of Immunology, Vol. 12, No. 3, pp. 49–51 (2016)

A. Strobel, D. Tröger, S. Proschwitz, D. Hildebrand, D. Schondelmaier, F. Limberg, H. Krüger: *High-periodicity nanostructures on a thermally cross-linkable copolymer*, Applied physics A, Vol. 122, p. 893 (2016)

E. Tarkhanov, A. Lehmann, J. Ganster: *Biobased polyester fibers – PLA for textile applications*, Bioplastics magazine, No. 5, pp. 12–13 (2016)

A. Treimanis, M. Laka, S. Chernyavskaya, J. Ganster, J. Erdmann, L. Ziegler, I. Birska: *Microcrystalline cellulose fillers for use in hybrid composites with polyethylene and lignin*, Cellulose chemistry and technology, Vol. 50, No. 1, pp. 117–125 (2016)

N. Vishnevetskaya, V. Hildebrand, B.-J. Niebuur, I. Grillo, S. Filippov, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. Papadakis: *Aggregation behavior of doubly thermoresponsive polysulfobetaine-b-poly(N-isopropylacrylamide) diblock copolymers*, Macromolecules, Vol. 49, No. 17, pp. 6655–6668 (2016)

T. Wagner, J. Lazar, U. Schnakenberg, A. Böker: *In situ Electrochemical Impedance Spectroscopy of Electrostatically Driven Selective Gold Nanoparticle Adsorption on Block Copolymer Lamellae*, ACS applied materials & interfaces, Vol. 8, No. 40, pp. 27282–27290 (2016)

T. Wagner, M. Oded, R. Shenhar, A. Böker: *Two-dimensionally ordered AuNP array formation via microcontact printing on lamellar diblock copolymer films*, Polymers for advanced technologies: PAT, Online First (2016)

M. Weist, S. Simon, T. Büsse, J. Balko, R. Jacob: Untersuchungen zur Fertigung strukturierter Kunststoffteile mittels 3D-Druck aus biobasierten Materialien, Tagungsband des 3. Ingenieurtag der Fakultät Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme – GUS und Osteuropatag – NESEFF-Netzwerktreffen (2016), Herausgeber: Sylvio Simon, ISBN 978–3–940471–25–3

L. Wu, U. Glebe, A. Böker: *Synthesis of hybrid silica nanoparticles densely grafted with thermo and pH dual-responsive brushes via surface-initiated ATRP*, Macromolecules, Vol. 49, No. 24, pp. 9586–9596 (2016)

P. Wünnemann, M. Noyong, K. Kreuels, R. Brück, P. Gordiichuk, P. van Rijn, F. Plamper, U. Simon, A. Böker: *Microstructured Hydrogel Templates for the Formation of Conductive Gold Nanowire Arrays*, Macromolecular rapid communications, Vol. 37, No. 17, pp. 1446–1452 (2016)

M. Zerball, A. Laschewsky, R. Köhler, R. v. Klitzing: *The effect of temperature treatment on the structure of polyelectrolyte multilayers*, Polymers, Online resource, Vol. 8, No. 4, Art. 120, p. 16 (2016)

Q. Zhong, E. Metwalli, M. Rawolle, G. Kaune, A. Bivigou-Koumba, A. Laschewsky, C. Papadakis, R. Cubitt, J. Wang, P. Müller-Buschbaum: *Influence of hydrophobic polystyrene blocks on the rehydration of polystyrene-block-poly(methoxy diethylene glycol acrylate)-block-polystyrene films investigated by in-situ neutron reflectivity*, Macromolecules, Vol. 49, No. 1, pp. 317–326 (2016)

Q. Zhou, P. Wünnemann, P. Kühn, J. de Vries, M. Helmin, A. Böker, T. v. Kooten, P. v. Rijn: *Mechanical Properties of Aligned Nanotopologies for Directing Cellular Behavior*, Advanced materials interfaces, Vol. 3, No. 18, Art. 1600275 (2016)

P. Zierdt, E. Mitzner, A. Gomoll, T. Theumer, A. Lieske: *Synthesis of polyamide 6/11 copolymers and their use as matrix polymer in wood-plastic composites*, Journal of applied polymer science, Vol. 133, No. 46, pp. 11087–11094 (2016)

ANFAHRT

HOW TO REACH US

Anreise mit Bus/Bahn/Flugzeug

ab Berlin Hauptbahnhof oder Berlin Zoologischer Garten

- Regionalbahnen RB 21 oder RB 22 direkt bis Potsdam, Bahnhof Golm
- Regionalexpress RE 1 bis Potsdam Hbf

ab Potsdam Hauptbahnhof

- Busse 605 oder 606 bis Wissenschaftspark Golm
- Regionalbahnen RB 20, RB 21, RB 22 bis Potsdam, Bahnhof Golm

vom Flughafen Berlin-Schönefeld

- Regionalbahn RB 22 direkt nach Potsdam, Bahnhof Golm

vom Flughafen Berlin-Tegel

- Busse X9 oder 109 bis Berlin Zoologischer Garten
- Regionalbahnen RB 21 oder RB 22 bis Potsdam, Bahnhof Golm

Vom Bahnhof Golm ca. 10 Minuten Fußweg. Der Straße »Am Mühlenberg« in Richtung Wissenschaftspark Potsdam-Golm folgen.

Arriving by bus/train/plane

from Berlin's main station or Berlin Zoologischer Garten

- take the regional trains RB 21 or RB 22 directly to Golm
- take the regional express RE 1 to Potsdam's main station

from Potsdam's main station

- take buses 605 or 606 to Wissenschaftspark Golm
- take the regional trains RB 20, RB 21 or RB 22 to Golm

from the Berlin-Schönefeld Airport

- take the regional train RB 22 directly to Golm

from the Berlin-Tegel Airport

- take buses X9 or 109 to Berlin Zoologischer Garten
- from here take the regional trains RB 21 or RB 22 to Golm

It is about a 10 minute walk from the Golm train station to the Fraunhofer IAP (heading in the direction of Wissenschaftspark Potsdam-Golm).

Anreise mit dem Auto

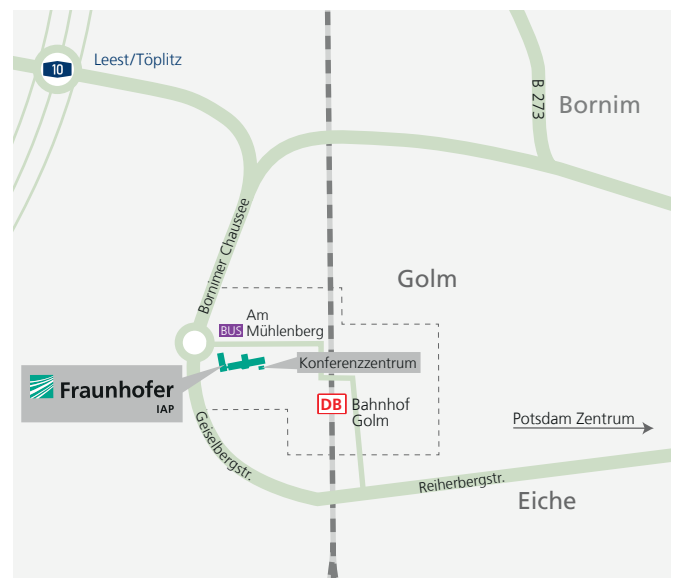
- Autobahn A10 (Berliner Ring), Ausfahrt Leest/Töplitz (nördlich des Autobahndreiecks Werder)
- weiter Richtung Potsdam, am Ende der Wublitzstraße rechts abbiegen in Richtung Golm, am Kreisverkehr geradeaus
- Parkplätze des Fraunhofer IAP an der ersten Einfahrt links

Arriving by car

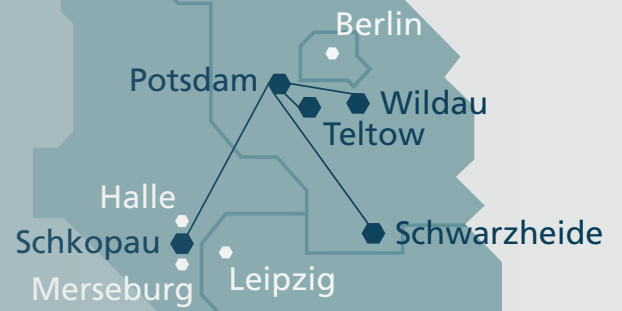
- on the A10 freeway (Berliner Ring) take the exit labeled Leest/Töplitz (north of the Werder junction)
- head towards Potsdam, at the end of Wublitzstraße turn right towards Golm, drive straight on at the roundabout
- the parking lots of the Fraunhofer IAP are the first driveway on the left

Übersichtskarte Potsdam-Golm

Outline map
Potsdam-Golm



STANDORTE LOCATIONS



Hauptsitz Potsdam-Golm
Headquarter Potsdam-Golm

Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam-Golm

Telefon +49 331 568-1000
Fax +49 331 568-3000



Pilotanlagenzentrum PAZ
Schkopau
Pilot Plant Center PAZ
Schkopau

Value Park A 74
06258 Schkopau

Telefon +49 3461 2598-120
Fax +49 3461 2598-105



Verarbeitungstechnikum
Biopolymere Schwarzheide
Processing Pilot Plant for
Biopolymers Schwarzheide

Schipkauerstraße 1 | Haus A754
01987 Schwarzheide

Telefon +49 331 568-3403
Fax +49 35752 6-3170



Polymermaterialien und
Composite PYCO Teltow
Polymeric Materials and
Composites PYCO Teltow

Kantstraße 55
14513 Teltow

Telefon +49 3328 330-280
Fax +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, Carolin Janoschek

Covergestaltung

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber

Druck

Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft
Potsdam mbh

Bildquellen

Andreas Bandow | Seiten 7, 10, 11, 105

Buddy Bartelsen | Seite 20 (oben rechts)

Till Budde | Seiten 5, 8 (links), 9 (unten rechts), 12 (Mitte),
13 (Mitte unten), 29, 31, 39 (oben), 40 (oben rechts), 43, 45, 52, 57,
59, 71, 73, 83, 91, 93, 95, 133 (oben links)

Michael Deutsch | Seiten 8 (rechts), 9 (oben, unten links und Mitte),
21 (oben rechts)

Fraunhofer IPA | Seite 41 (oben)

Alexander Krause | Seite 133 (oben Mitte)

Armin Okulla | Seite 85

Steffen Rasche | Seite 133 (oben rechts)

TU Dresden | Seite 102

Portraitfotos
Seiten 14, 99 (Dr. Dreyer) | Studioline Photography
Seite 15 (Dipl.-Ing. Büsse) | Ron Marzok
Seite 15 (Dr. Wendler) | Foto Reinhard
Seiten 15, 91, 101 (Dr. Wegener, Dr. Malke, J. Jagodzinska) | Till Budde
Seite 55 (Dr. Eberhardt) | Xavier Bonnin apropos_foto

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

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, Carolin Janoschek

Cover design

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber

Printing house

Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft
Potsdam mbh

Photo acknowledgements

Andreas Bandow | pages 7, 10, 11, 105

Buddy Bartelsen | page 20 (top right)

Till Budde | pages 5, 8 (left), 9 (bottom right), 12 (center),
13 (center bottom), 29, 31, 39 (top), 40 (top right), 43, 45, 52, 57, 59,
71, 73, 83, 91, 93, 95, 133 (top left)

Michael Deutsch | pages 8 (right), 9 (top, bottom left and center),
21 (top right)

Fraunhofer IPA | page 41 (top)

Alexander Krause | page 133 (top center)

Armin Okulla | page 85

Steffen Rasche | page 133 (top right)

TU Dresden | page 102

Portrait photos
pages 14, 99 (Dr. Dreyer) | Studioline Photography
page 15 (Dipl.-Ing. Büsse) | Ron Marzok
page 15 (Dr. Wendler) | Foto Reinhard
pages 15, 91, 101 (Dr. Wegener, Dr. Malke, J. Jagodzinska) | Till Budde
page 55 (Dr. Eberhardt) | Xavier Bonnin apropos_foto

Other portrait photos by Manuela Zydor

Cover photos by Till Budde

Photos by Fraunhofer IAP unless otherwise indicated.