



**2018**  
JAHRESBERICHT  
ANNUAL REPORT





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

**JAHRESBERICHT 2018**  
ANNUAL REPORT 2018

# INHALTSVERZEICHNIS

## CONTENTS

4 **Vorwort** | Preface

## 8 **DAS INSTITUT** THE INSTITUTE

- 10 **Phase II für das Leistungszentrum**  
11 Phase II for the High-Performance Center
- 12 **Grundsteinlegung in Wildau**  
13 Foundation stone laid in Wildau
- 14 **Neue Professur an der TH Wildau**  
15 New chair at TH Wildau
- 16 **Fraunhofer Cluster of Excellence**  
18 Fraunhofer Cluster of Excellence
- 20 **Fraunhofer IAP im Überblick**  
20 Fraunhofer IAP at a Glance
- 22 **Unsere Kompetenzen**  
22 Our Competences
- 24 **Organisation**  
24 Organization
- 26 **Das Institut in Zahlen**  
26 The Institute in figures
- 28 **Kuratorium**  
28 Advisory board
- 30 **Rückblick**  
30 Review
- 32 **Die Fraunhofer-Gesellschaft**  
33 The Fraunhofer-Gesellschaft
- 34 **Fraunhofer-Verbund MATERIALS**  
36 Fraunhofer group MATERIALS

## 38 **BIOPOLYMERE** BIOPOLYMERS

- 40 **Neue Produkte aus Nachwachsenden Rohstoffen**  
42 New products made from renewable raw materials
- 44 **Anwendungen und Dienstleistungen**  
46 Applications and services
- 48 **Neuartige Cellulose-Regeneratfasern aus dem Viskoseprozess**  
49 New opportunities for cellulose carbamate
- 50 **Holzklebstoffe aus Stärke**  
51 Wood adhesives from starch

## 52 **FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME** FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

- 54 **Funktionswerkstoffe und Technologien**  
56 Functional materials and technologies
- 58 **Anwendungen und Dienstleistungen**  
60 Applications and services
- 62 **Technische Beschichtungen für additiv gefertigte Kunststoffteile**  
63 Technical coatings for additive manufacturing
- 64 **Lithiumionen-Batterie-Elektroden werden 3-dimensional**  
65 Lithium ion battery electrodes become 3-dimensional

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

- 68 **Prozess- und Materialentwicklung**  
70 Process and material development
- 72 **Anwendungen und Dienstleistungen**  
74 Applications and services
- 76 **Formaldehydfreie Fließmittel für die Bauindustrie**  
77 Formaldehyde-free superplasticizers for the construction industry
- 78 **Facettenreiche Formgedächtnispolymere**  
79 Multifarious shape memory polymers

## 80 **LIFE SCIENCE UND BIOPROZESSE** LIFE SCIENCE AND BIOPROCESSES

- 82 **Life Science und Bioprozesse**  
84 Life Science and Bioprocesses
- 86 **Anwendungen und Dienstleistungen**  
88 Applications and services
- 90 **Seidenproteine – ein Hochleistungsmaterial biotechnologisch nutzbar machen**  
91 Silk proteins – making a high performance material biotechnologically usable
- 92 **Fälschungssichere Implantate**  
93 Anti-counterfeit implants

## 94 **PILOTANLAGENZENTRUM PAZ** PILOT PLANT CENTER PAZ

- 96 **Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum PAZ**  
98 Polymer technology at the Pilot Plant Center PAZ
- 100 **Anwendungen und Dienstleistungen**  
101 Applications and services
- 102 **Biomimetischer Synthesekautschuk (BISYKA) als echte Alternative zum Naturkautschuk**  
103 Biomimetic synthetic rubber a genuine alternative to natural rubber

## 104 **POLYMER MATERIALIEN UND COMPOSITE PYCO** POLYMER MATERIALS AND COMPOSITES PYCO

- 106 **Polymermaterialien und Composite PYCO**  
108 Polymeric Materials and Composites PYCO
- 110 **Anwendungen und Dienstleistungen**  
111 Applications and services
- 112 **Bestimmung der Dehnungsenergiefreisetzungsrates  $G_{IC}$  mit Optical Crack Tracing**  
113 Measuring the strain energy release rate  $G_{IC}$  with optical crack tracing
- 114 **Innovation Hub 13 – fast track to transfer**  
115 Innovation Hub 13 – fast track to transfer

## 116 **ZENTRUM FÜR ANGEWANDTE NANOTECHNOLOGIE CAN** CENTER FOR APPLIED NANOTECHNOLOGY CAN

- 118 **Entwicklung und Anwendung nanoskaliger Materialsysteme**  
120 Development and application of nanoscale material systems
- 122 **Anwendungen und Dienstleistungen**  
123 Applications and services
- 124 **Aufskalierbare Syntheserouten von Nanopartikeln für die Elektrokatalyse**  
125 Scalable nanoparticle synthesis and its use in electrocatalysis
- 126 **Quantenmaterialien für kundenspezifische Anwendungen**  
127 Quantum materials for customer-specific applications

## 128 **FAKTEN, PUBLIKATIONEN, STANDORTE** FACTS, PUBLICATIONS, LOCATIONS

- 130 **Ausstattung**  
134 Equipment
- 138 **Zusammenarbeit**  
138 Collaboration
- 152 **Patente**  
152 Patents
- 156 **Publikationen**  
156 Publications
- 164 **Anfahrt**  
164 How to reach us
- 165 **Standorte**  
165 Locations
- 166 **Impressum**  
166 Editorial notes

# VORWORT



## Liebe Leserinnen und Leser,

mit unserem Jahresbericht möchten wir Ihnen einen Einblick in die vielfältigen Tätigkeiten und die Entwicklung des Fraunhofer IAP geben. Im Jahr 2018 konnten wir den Wachstums- und Erfolgskurs der letzten Jahre fortsetzen – sowohl bei den Wirtschaftserträgen als auch beim Betriebshaushalt. Aufgrund des großen Potenzials in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung können wir auch zahlreiche wissenschaftliche Erfolge vorweisen. Das Fraunhofer IAP hat sich im Ranking des Wissenschaftsindex der Fraunhofer-Gesellschaft fest in den Top 10 der grundlagenstärksten Institute etabliert. Diese Stärke sowohl auf der Anwendungs- als auch der Grundlagenseite verhalf dem Fraunhofer IAP zur Teilnahme an den Fraunhofer-internen Exzellenzclustern. Das Cluster »Programmierbare Materialien« startete mit den weiteren Fraunhofer-Partnern IWM, IAP, ICT, IBP und ITWM zum 1. Januar 2018. Ziel des Clusters ist es, Materialien zu entwickeln, deren Eigenschaftsprofil sich während ihrer Verwendung an die jeweiligen Anforderungen flexibel und reversibel anpasst. Das Cluster »Circular Plastics Economy« mit den Fraunhofer-Partnern UMSICHT, IML, LBF, ICT und IAP betreibt eine ganzheitliche Betrachtung der Kunststoffwirtschaft und zielt auf die Schaffung einer realen Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe. Damit widmen wir uns zwei hochaktuellen Themen der Materialwissenschaft, in der Kunststoffe eine Schlüsselrolle einnehmen.

Am 1. Januar 2018 wurde das Hamburger Centrum für Angewandte Nanotechnologie (CAN) als Forschungsbereich in das Fraunhofer IAP integriert. Das Portfolio des CAN ergänzt unser Kompetenzspektrum hervorragend. Unter der Leitung des renommierten Chemikers Professor Horst Weller setzen die 27 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Standort Hamburg ihre Forschungsarbeiten fort und haben das erste Jahr in der Fraunhofer-Gesellschaft erfolgreich gemeistert. Die Expertise des neuen Forschungsbereichs CAN erfreut sich sowohl innerhalb als auch außerhalb des

Instituts und in der Fraunhofer-Gesellschaft großer Beliebtheit. Wie gefragt die Kompetenzen aus Hamburg sind, zeigt auch die Verleihung des renommierten ECIS Solvay-Preises 2018 an Professor Weller, der den Preis auf der Konferenz der »European Colloid and Interface Society« (ECIS) in Ljubljana, Slowenien in Empfang genommen hat. Der Preis zeichnet seit 2001 europäische Wissenschaftler aus, deren Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Kolloide und Grenzflächen wegweisend sind.

Auf der ILA Berlin, der führenden Messe für Luft- und Raumfahrt, stellten wir im April unsere ComCarbon®-Technologie vor. Sie soll es künftig ermöglichen, Carbonfasern für den Massenmarkt kostengünstig herzustellen. Etwa 60 Prozent der Precursor-Kosten können eingespart werden. Die im Rahmen eines Fraunhofer-Stiftungsprojekts entwickelte alternative PAN-basierte Precursor-Technologie basiert auf einem kostengünstigen Schmelzspinnverfahren mit speziellen, schmelzbaren PAN-Copolymeren, die wir für diesen Zweck entwickelt haben. Nach großem Interesse aus der Industrie konzipieren wir zurzeit verschiedene Folgeprojekte.

Im Rahmen der Bund-Länder-Initiative »Innovative Hochschule« ist das Fraunhofer IAP gleich an zwei Projekten beteiligt, die im Jahr 2018 starteten: Für GO:UP »Innovationscampus Golm« der Universität Potsdam – fiel der Startschuss am 7. Mai im Fraunhofer-Konferenzzentrum. Ehrengäste waren u. a. der Parlamentarische Staatssekretär im Bundesforschungsministerium, Dr. Michael Meister, die brandenburgische Wissenschaftsstaatssekretärin Dr. Ulrike Gutheil und Potsdams Oberbürgermeister Jann Jakobs. GO:UP wird mit über fünf Millionen Euro vom Bund und rund einer halben Million Euro vom Land Brandenburg gefördert und wird die Universität und ihre außeruniversitären Partner signifikant dabei unterstützen, den dynamisch wachsenden Standort Potsdam-Golm in den kommenden

fünf Jahren zu einem Technologie-, Bildungs- und Gesellschaftscampus auszubauen. Das Fraunhofer IAP ist als Partner in gemeinsamen Joint Labs zu den Themen »Entwicklung optischer Prozess-Analysetechnologien« sowie »Integration von Biofunktionalitäten in Materialien« beteiligt. Fast gleichzeitig nahm im Frühjahr 2018 das Projekt Innovative Hochschule »Innovation Hub 13 – fast track to transfer« mit der BTU und der TH Wildau seine Arbeit auf. Der Forschungsbereich PYCO ist hier mit einem Transfer-scout auf dem Gebiet Leichtbau eingebunden.

Wildau war 2018 für uns auch in einem anderen Zusammenhang von besonderer Bedeutung: Am 8. Juni 2018 wurde der Grundstein für ein neues Büro- und Laborgebäude des Forschungsbereichs PYCO in Wildau gelegt. Hier konzentriert PYCO bald seine gesamte Leichtbau-Kompetenz an einem Standort. An den Feierlichkeiten nahmen auch Dr. Martina Münch, Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Andreas Meuer, Vorstandsmitglied der Fraunhofer-Gesellschaft, Stephan Loge, Landrat des Landkreises Dahme-Spreewald sowie Prof. Dr. Ralf Raimund Vandenhouten(+), Vizepräsident für Forschung und Transfer der TH Wildau teil.

Im Zuge der Stärkung der Kooperation zwischen der Fraunhofer-Gesellschaft und Fachhochschulen wurde zudem Dr. Christian Dreyer, der zurzeit den Forschungsbereich PYCO kommissarisch leitet, zum 1. September 2018 auf die Professur für Faserverbund-Materialtechnologien am Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften der Technischen Hochschule Wildau berufen.

Weiter südlich in Brandenburg konnten wir ebenfalls die Kooperation mit lokalen Hochschulen ausbauen: Mit der BTU Cottbus - Senftenberg starteten wir im Juli 2018 die gemeinsame Projektgruppe »Biologisierung von Polymeren« (BioPol). Durch Kombination von Kunststoffen

mit Biobausteinen wie Peptiden, Enzymen oder Zuckermolekülen wollen die Forscherinnen und Forscher Polymermaterialien mit neuen Eigenschaften für verschiedenste Anwendungen entwickeln. Im Zentrum der Arbeiten stehen vor allem deren technisch-industrielle Produktion und Überführung in Produkte auf Basis von biofunktionalen Kunststoffen. Das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg unterstützt das Projekt innerhalb der Laufzeit von 5 Jahren mit 2,5 Millionen Euro.

Im weiteren Verlauf des Jahres hat sich das Fraunhofer IAP erfolgreich an BMBF-Anträgen zur Förderung des Strukturwandels in den östlichen Bundesländern beteiligt (WIR-Programm/Wandel durch Innovation in der Region). Vier Anträge mit Themen, die von der Gesundheitswirtschaft bis zur Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften in der Lausitz reichen, wurden in der ersten Runde ausgewählt und zur Vollartragstellung aufgefordert. Inzwischen sind zwei dieser Anträge bewilligt worden.

Damit möchte ich den kurzen Überblick über unsere Aktivitäten abschließen und Ihnen, den Kunden, Kooperationspartnern und Freunden des Fraunhofer IAP für die vertrauensvolle Zusammenarbeit im letzten Jahr danken. Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer IAP, die wieder einmal mit hohem persönlichen Einsatz und großem Ideenreichtum, Neues angegangen und Altes verbessert haben. Dies hat auch im Jahr 2018 zum Erfolg des Instituts beigetragen.

Ihr

**Prof. Dr. Alexander Böker**



## PREFACE

Dear Reader,

This annual report enables us to give you insights into the many activities and developments at the Fraunhofer IAP. In 2018 we were able to continue the trajectory of growth and success of recent years – both in terms of our business earnings and our operating budget. Our strong foundations in application-oriented basic research have enabled us to accomplish numerous scientific achievements. The Fraunhofer IAP has consistently ranked in the top 10 strongest institutes for basic research in the Fraunhofer-Gesellschaft's Science Index. This strength has allowed the Fraunhofer IAP to participate in internal Fraunhofer clusters of excellence for both application and basic research. The Fraunhofer Cluster of Excellence "Programmable Materials" cluster was launched on January 1, 2018 in partnership with Fraunhofer partners IWM, IAP, ICT, IBP and ITWM. The aim of the cluster is to develop materials whose property profiles adapt flexibly and reversibly during use to the requirements of the respective application. The "Circular Plastics Economy" cluster, consisting of the Fraunhofer partners UMSICHT, IML, LBF, ICT and IAP takes a holistic view of the plastics industry and aims to create a true recycling economy for plastics. In so doing, we have dedicated ourselves to two highly relevant topics in materials science in which plastics play a key role.

On January 1, 2018 the Center for Applied Nanotechnology (CAN) was integrated as a research division into Fraunhofer IAP. CAN's portfolio excellently supplements our range of expertise. Under the leadership of the renowned chemist Professor Horst Weller, the center's 27 employees are continuing their research work at its location in Hamburg and have successfully completed their first year as part of the Fraunhofer-Gesellschaft. The expertise of the new CAN research division has resonated both inside and outside the institute and in the Fraunhofer-Gesellschaft

at large. The high demand for Fraunhofer CAN's competencies are reflected in the awarding of the renowned ECIS Solvay Prize to Professor Weller, who received the award at the conference of the "European Colloid and Interface Society" (ECIS) in Ljubljana, Slovenia. Since 2001, the prize has been awarded to European scientists whose research in the field of colloids and interfaces is groundbreaking.

In April we presented our ComCarbon® technology at ILA Berlin 2018, a leading aerospace trade fair. The technology will soon enable carbon fibers to be produced for the mass market at low cost. A cost saving of around 60 percent can be achieved for the precursor. The alternative PAN-based precursor technology, developed as part of a project of the Fraunhofer-Stiftung, is based on a low-cost melt spinning process using special meltable PAN copolymers that we have developed for this purpose. Strong interest by industry has led us to begin designing various follow-up projects.

As part of the »Innovative University« initiative of the federal and state governments, the Fraunhofer IAP is participating in two projects that began in 2018: The University of Potsdam's GO:UP project "Golm Innovation Campus" kicked off on May 7 at the Fraunhofer Conference Center. Guests of honor included Dr. Michael Meister, Parliamentary State Secretary at the Federal Ministry of Research, Dr. Ulrike Gutheil, Brandenburg's State Secretary for Science, and Potsdam's Lord Mayor Jann Jakobs. GO:UP is receiving more than five million euros in funding from the federal government and about half a million euros from the state of Brandenburg. It will contribute significantly to helping the university and its non-university partners develop the dynamically growing Potsdam-Golm campus into a location for technology, education and social sciences over the next five years. The Fraunhofer IAP is involved in joint

labs focusing on the »Development of optical process analysis technologies« and »Integration of biofunctionalities in materials«. At almost the same time, the Innovative University Initiative project "Innovation Hub 13 – fast track to transfer" between the Brandenburg University of Technology (BTU) and the Technical University of Applied Sciences Wildau (TH Wildau) began in spring 2018. The PYCO research division of the Fraunhofer IAP is involved with a transfer scout in the field of lightweight construction.

Wildau was also important to us in another context in 2018: on June 8, the foundation stone was laid for an office and lab building for the PYCO research division. Here, PYCO will soon focus all of its expertise in lightweight construction at one location. Attending the ceremonies were Dr. Martina Münch, Minister for Science, Research and Culture of the State of Brandenburg, Andreas Meuer, member of the Executive Board of the Fraunhofer-Gesellschaft, Stephan Loge, District Administrator of the Dahme-Spreewald District and Professor Ralf Raimund Vandenhouten(t), Vice President for Research and Transfer at TH Wildau.

In the course of strengthening the cooperation between the Fraunhofer-Gesellschaft and universities of applied sciences, Dr. Christian Dreyer of the Fraunhofer IAP, who is currently acting head of the research division Polymer Materials and Composites PYCO, was appointed Professor for Composite Material Technologies in the Department of Engineering and Natural Sciences at the Technical University of Applied Sciences Wildau on September 1, 2018.

Further south in Brandenburg, we were also able to expand our cooperation with local universities: in July 2018 we kicked off the joint project group "Biologization of Polymers"

(BioPol) with BTU Cottbus-Senftenberg. By combining plastics with biological building blocks, such as peptides, enzymes or sugar molecules, researchers at the Fraunhofer IAP and BTU Cottbus-Senftenberg hope to develop polymer materials with new properties for a wide range of applications. The main focus of their work is on the technical and industrial production of these materials and transferring these to biofunctional plastic-based products. The project will receive 2.5 million euros in funding from the Ministry of Science, Research and Culture of the State of Brandenburg over a period of 5 years.

Later in the year, the Fraunhofer IAP successfully participated in BMBF calls for proposals to promote structural change in the eastern German states (WIR Program/Change Through Innovation in the Region). Four proposals with topics ranging from health management to the design of post-mining landscapes in Lusatia were selected in the first round and full proposals were then requested. Meanwhile two of these proposals have been finally accepted.

I would like to end this brief overview of our activities by thanking you, the customers, cooperation partners and friends of the Fraunhofer IAP for your trust and cooperation over the past year. My special thanks go to the employees of the Fraunhofer IAP, who have once again tackled the new and improved the old with great personal dedication and ingenuity. This has once again been instrumental in the success of the Institute in 2018.

Sincerely,



Professor Alexander Böker



# DAS INSTITUT

## THE INSTITUTE

pioneers in polymers

- 10 Phase II für das Leistungszentrum**  
Phase II for the High-Performance Center
- 12 Grundsteinlegung in Wildau**  
Foundation stone laid in Wildau
- 14 Neue Professur an der TH Wildau**  
New chair at TH Wildau
- 16 Fraunhofer Cluster of Excellence**  
Fraunhofer Cluster of Excellence
- 20 Fraunhofer IAP im Überblick**  
Fraunhofer IAP at a glance
- 22 Unsere Kompetenzen**  
Our Competences
- 24 Organisation**  
Organization
- 26 Das Institut in Zahlen**  
The Institute in figures
- 28 Kuratorium**  
Advisory board
- 30 Rückblick 2018**  
Review 2018
- 32 Die Fraunhofer-Gesellschaft**  
The Fraunhofer-Gesellschaft
- 34 Fraunhofer-Verbund MATERIALS**  
Fraunhofer group MATERIALS





# PHASE II FÜR DAS LEISTUNGSZENTRUM PHASE II FOR THE HIGH-PERFORMANCE CENTER

In dem im April 2017 gestarteten Leistungszentrum »Integration biologischer und physikalisch-chemischer Materialfunktionen« werden spezielle Funktionen oder Funktionsmaterialien in polymere Strukturmaterialien integriert, die einem Produkt Form und Stabilität verleihen. Gleichzeitig soll die Effizienz von Herstellungsprozessen komplexer Produkte erhöht werden. So werden etwa Sensoren in Leichtbaustrukturen integriert, um z. B. in Windkraft oder Raumfahrt Materialdefekte frühzeitig zu erkennen. Auch die Entwicklung einer Multiparameteranalytik für die simultane Bestimmung mehrerer Analyte in einem Messdurchgang für Medizin, Biotechnik und Landwirtschaft ist ein Projekt. Dies sind zwei aus einer Vielzahl von Projekten im Leistungszentrum, das von Prof. Dr. Alexander Böker, dem Leiter des Fraunhofer IAP und Prof. Dr. Hans-Ulrich Demuth, dem Leiter des Fraunhofer IZI-BB koordiniert wird.

»Funktionsintegration kann eine »Enabling Technology« für viele Branchen sein, insbesondere Automotive, Chemie, Elektronik, Energie, Medizintechnik, Pharma, Luft- und Raumfahrt.«

Prof. Alexander Böker, Leiter des Fraunhofer IAP

Im März 2019 endete Phase I des Leistungszentrums – mit über 40 regionalen und überregionalen Industrieunternehmen als Partner. In enger Kooperation zwischen Fraunhofer IAP und der Ankeruniversität Potsdam wurde zudem ein Joint Lab zur Nutzung optoelektronischer

Funktionsmaterialien für optische Prozess-Analysentechnologien aufgebaut. Das Pilotprojekt GO:UP entstand im Rahmen der Bund-Länder-Initiative »Innovative Hochschule« der Universität Potsdam. Ein weiteres Joint Lab zum Thema biofunktionelle Oberflächen wird 2019 folgen.

Mit der BTU Cottbus-Senftenberg und der TH Wildau besteht ebenfalls eine enge Partnerschaft im Rahmen der Initiative »Innovative Hochschule – Innovation Hub 13«. Im Juli 2018 nahm die Fraunhofer-Projektgruppe »Biofunktionalisierung/Biologisierung von Polymermaterialien BioPol« des Fraunhofer IAP in der BTU Senftenberg ihre Arbeit auf. Durch Kombination von Kunststoffen mit Biobausteinen wie Peptiden, Enzymen oder Zuckermolekülen werden hier Polymermaterialien mit neuen Eigenschaften für verschiedenste Anwendungen entwickelt.

Nach Abschluss von Phase I empfahl eine Gutachterkommission die Weiterförderung des Leistungszentrums. In Phase II bis 31. Dezember 2020 und darüber hinaus, soll sich das Leistungszentrum weiter zu einer nationalen Transferstruktur entwickeln. Dazu wird gemeinsam mit dem Fraunhofer IZI-BB ein professionelles Transfermanagement eingerichtet, das eine entsprechende Transfer-Roadmap entlang der sechs typischen Transferpfade umsetzen soll. In Phase II werden zudem die Partneruniversitäten stärker in die Leitungsstrukturen des Leistungszentrums integriert. Zudem bildet die stärkere Zusammenarbeit mit Partnern im Land Berlin einen wichtigen Schwerpunkt. |

The High-Performance Center "Integration of Biological and Physical-Chemical Material Functions" was launched in April 2017. Here special functions or functional materials are integrated into structural polymeric materials. For example, sensors are integrated into lightweight components so that material defects can be detected early on. This is one of many projects being conducted at the High-Performance Center, which is coordinated by Professor Alexander Böker, head of the Fraunhofer IAP, and Professor Hans-Ulrich Demuth, head of the Fraunhofer IZI-BB.

”Functional integration can be an enabling technology for many sectors, especially the automotive, chemical, electronics, energy, medical technology, pharmaceutical and aerospace industries.”

Prof. Alexander Böker, director of the Fraunhofer IAP

Phase I of the High-Performance Center ended in March 2019. In Phase I the Fraunhofer IAP and the University of Potsdam closely cooperated in setting up a joint lab for the use of optoelectronic functional materials for optical process analysis technologies. The pilot project was

developed as part of the GO:UP initiative of the University of Potsdam within the framework of the federal and state initiative "Innovative University". Another joint lab for biofunctional surfaces will follow in 2019.

The partnership with BTU Cottbus-Senftenberg and TH Wildau has also intensified. The Fraunhofer project group "Biofunctionalization/Biologization of Polymer Materials (BioPol)" was launched in July 2018 as part of the "Innovative University – Innovation Hub 13". Here materials with new properties are developed by combining plastics with biomolecules.

In March 2019, a commission of experts recommended that funding should continue for the High-Performance Center until December 31, 2020. In Phase II, the High-Performance Center will develop further into a national transfer organization with professional transfer management. The partner universities will also be more strongly integrated into the management structures of the High-Performance Center and cooperation with partners in the state of Berlin will intensify. |





# GRUNDSTEINLEGUNG IN WILDAU

## FOUNDATION STONE LAID IN WILDAU



Leichtbauanwendungen für Luft- und Raumfahrt, Automotive, Windkraftanlagen und Schienenfahrzeuge stehen im Fokus des Forschungsbereichs Polymermaterialien und Composite PYCO des Fraunhofer IAP. Bisher waren die Technologien zu Synthese, Harzformulierung und Bauteilherstellung auf drei verschiedene Standorte in Teltow und Wildau verteilt. Mit einem neuen Labor- und Bürogebäude wird die gesamte Leichtbau-Kompetenz des Forschungsbereichs PYCO am Standort Wildau zusammengeführt. Zwei Imprägnieranlagen und eine industrielle Mikrowelle für die energieeffiziente Herstellung faserverstärkter Leichtbauteile werden dann in einzigartiger Weise miteinander kombiniert.

Am 8. Juni 2018 wurde der Grundstein für das Gebäude in Wildau gelegt – im Beisein von Dr. Martina Münch, Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Andreas Meuer, Vorstandsmitglied der Fraunhofer-Gesellschaft, Stephan Loge, Landrat des Landkreises Dahme-Spreewald sowie Prof. Dr. Ralf Raimund Vandenhouten (†), Vizepräsident für Forschung und Transfer der TH Wildau.

### Das Labor- und Bürogebäude

Das Gebäude, das von den Architekten der B+P Reiner Becker GmbH unter Leitung von Gunnar Rekersdrees entworfen wurde, hat eine Nutzfläche von rund 2700 Quadratmetern und ist für rund 40 Mitarbeiter konzipiert. Anfang 2020 soll das Gebäude, das mit modernster Technik ausgestattet wird, fertiggestellt werden.

Herzstück des Wildauer Technikums wird eine Imprägnieranlage, die modular aufgebaut werden kann. Sie ist für

Beschichtungen, Imprägnierungen und die Prepreg-Herstellung universell einsetzbar. Die Anlage bietet zudem die Möglichkeit, Materialien mit alternativen Techniken wie per Mikrowelle, UV-LEDs oder Infrarotstrahlung zu härten.

Gefördert wird der Neubau mit einer Summe von 17,6 Millionen Euro zu 80 Prozent aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und zu jeweils 10 Prozent vom Bund und dem Land Brandenburg.

### Stärkere Kooperationen in der Region Wildau

Im Umfeld von Wildau kooperiert der Forschungsbereich PYCO bereits mit der TH Wildau und Firmen der Automobil- und Luft- und Raumfahrtindustrie. »Der Forschungsbereich PYCO hat durch das spezifische Leistungsspektrum und die steigenden Bedarfe im Sektor Thermosets und Leichtbaumaterialien ein enormes Wachstumspotenzial. Der Standort Wildau verfügt durch seine Verankerung in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg, unsere Partnerschaft mit der örtlichen Technischen Hochschule sowie die Nähe zum Zentrum für Luft- und Raumfahrt Schönefelder Kreuz über eine hohe Attraktivität«, erklärte Andreas Meuer, Fraunhofer-Vorstand für Controlling und Digitale Geschäftsprozesse.

Stephan Loge, Landrat des Landkreises Dahme-Spreewald sagte: »Der Standort Wildau wird mit dem Bau der neuen Büro- und Laborgebäude in seiner intellektuellen, wirtschaftlichen und strukturellen Bandbreite gestärkt. Für die Region unseres Landkreises bedeutet das neben der Schaffung von Arbeitsplätzen auch die Sichtbarkeit der regionalen Exzellenz. Zudem bin ich mir sicher, dass die Nähe zur Industrie sowie die gute regionale Anbindung ein deutlicher Gewinn für die Ansiedlung hier vor Ort sein werden.« |

The Fraunhofer IAP's research division Polymeric Materials and Composites PYCO focuses on lightweight applications used in aerospace, automobiles, wind turbines and rail vehicles. Until now, the technologies for synthesis, resin formulation and component manufacturing were spread out across three different buildings in Teltow and Wildau. Now all of PYCO's expertise in lightweight construction will be consolidated in a new laboratory and office building located at the Wildau site. This will uniquely combine two impregnation plants and an industrial microwave for the energy-efficient production of fiber-reinforced lightweight components.

On June 8, 2018, the foundation stone for a new office and lab building was laid in Wildau in the presence of Dr. Martina Münch, Minister for Science, Research and Culture of the State of Brandenburg, Andreas Meuer, an executive board member of the Fraunhofer-Gesellschaft, Stephan Loge, Chief Administrative Officer of the Dahme-Spreewald District and Professor Ralf Raimund Vandenhouten (†), Vice President of Research and Transfer at the Technical University of Applied Sciences Wildau.

### The lab and office building

Designed by the architects at B+P Reiner Becker GmbH under the direction of Gunnar Rekersdrees, the building has a floor space of approximately 2,700 square meters and room for around 40 employees. The building will be fitted with state-of-the-art equipment and is scheduled for completion in early 2020.

A modularly configurable impregnation plant will be at the heart of the technology center in Wildau. It can be

universally used for coatings, impregnation and prepreg production. The system also offers the possibility of curing materials using alternative methods such as microwaves, UV LEDs and infrared radiation.

The new building will receive subsidies totaling 17.6 million euros, 80 percent of which come from the European Fund for Regional Development and 10 percent from the federal government and the State of Brandenburg respectively.

### Building stronger partnerships in the Wildau region

The division PYCO already collaborates with the Technical University of Applied Sciences Wildau and automotive and aerospace companies in and around Wildau. »The division PYCO has enormous growth potential due to its specific range of expertise and increasing demands in the thermoset and lightweight materials sector. Wildau is a highly attractive location as it is anchored in the capital region of Berlin-Brandenburg and is partnered with the local University of Applied Sciences. It is also located close to the Aerospace Technology Center Schönefelder Kreuz,« explains Andreas Meuer, director for controlling and digital business processes at Fraunhofer-Gesellschaft.

According to Stephan Loge, who is the chief administrative officer of the District of Dahme-Spreewald, »The construction of the new office and lab building will strengthen Wildau's intellectual, economic and structural bandwidth. For our district, this will mean the creation of jobs as well as improved visibility of our regional excellence. I am also certain that the establishment will greatly benefit from its proximity to industry and good regional ties.« |



## NEUE PROFESSUR AN DER TH WILDAU NEW CHAIR AT TH WILDAU



Zum 1. September 2018 wurde Professor Dreyer in den Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften an die Technische Hochschule Wildau berufen. Zukünftig wird er Studierenden mit Expertenwissen aus dem Bereich der Faserverbund-Materialtechnologien zur Seite stehen. Im Fokus seiner Professur stehen effiziente Herstellungsverfahren von Leichtbaumaterialien, z. B. für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Automobilindustrie oder für Windkraftanlagen.

Für den kommissarischen Leiter des Forschungsbereichs Polymermaterialien und Composite PYCO am Fraunhofer IAP ist es besonders bedeutend Studierenden in Zukunft noch stärker näher zu bringen wie angewandte Forschung für und mit Industrieunternehmen in Deutschland und weltweit funktioniert.

Seit 2012 besteht die Möglichkeit im Technikum am Standort Wildau im Rahmen von Praktika und Abschlussarbeiten zu erfahren, wie Faserverbundwerkstoffe und Reaktivharze für den Leichtbau industriennah entwickelt

werden – von der Formulierung über die Verarbeitung bis hin zum fertigen Bauteil. Durch die Berufung von Professor Dreyer soll die Zusammenarbeit mit der TH Wildau weiter verfestigt werden. Die gemeinsame Forschungsgruppe »Thermosets im Leichtbau« wurde 2015 mit Hilfe einer Anschubfinanzierung im Rahmen des »Kooperationsprogramms Fachhochschule« der Fraunhofer-Gesellschaft initiiert. Seit Dezember 2018 wirkt Professor Dreyer außerdem als Beiratsmitglied im Projekt »Engineering Future Plan 2025« der TH Wildau mit.

Die Fraunhofer-Fachhochschul-Kooperation soll die nationale und internationale Sichtbarkeit des Fraunhofer IAP und der TH Wildau erhöhen, zudem kann die Forschungsinfrastruktur gegenseitig genutzt werden. Aktuell errichtet das Fraunhofer IAP am Standort Wildau ein neues Labor- und Bürogebäude mit modernster Technik. Hier wird der Forschungsbereich PYCO des Fraunhofer IAP bald seine gesamte Leichtbau-Kompetenz konzentrieren. Das Gebäude soll Anfang 2020 fertiggestellt werden und ist von der TH Wildau zu Fuß erreichbar. |

On September 1, 2018, Professor Christian Dreyer was appointed to the Faculty of Engineering and Natural Sciences at the Technical University of Applied Sciences Wildau. In the future, he will assist students with his expert knowledge in the field of fiber composite material technologies. His professorship focuses on efficient production processes for lightweight materials, e. g., for applications in the aerospace industry, the automotive industry and for wind turbines.

As the acting director of the Polymer Materials and Composites Research Division PYCO at the Fraunhofer IAP, Dreyer feels it is especially important to give students a better understanding of how applied research works for – and in conjunction with – German and international companies.

Since 2012, students at the PYCO Technology Center in Wildau have been learning how to develop fiber composite materials and reactive resins for lightweight construction applications - from formulating and processing components,

to the finished component. The appointment of Professor Dreyer will further solidify the cooperation with TH Wildau. With the help of start-up funding, the joint research group "Thermosets in Lightweight Construction" was initiated in 2015 as part of the Fraunhofer-Gesellschaft's Cooperation Program with Universities of Applied Sciences. Since December 2018, Professor Dreyer has also been a member of the Advisory Board for the project "Engineering Future Plan 2025" at TH Wildau.

The partnership between the Fraunhofer institute and the University of Applied Sciences aims to increase the national and international visibility of the Fraunhofer IAP and TH Wildau. It also provides an opportunity to make joint use of research infrastructure. The Fraunhofer IAP is currently constructing a new laboratory and office building at the Wildau site that has state-of-the-art technology. The Fraunhofer IAP's PYCO research division will soon be concentrating its entire lightweight construction expertise here. The building will be completed at the beginning of 2020 and is within walking distance of TH Wildau. |

»Ich möchte vor allem die Studierenden mit einer großen Nähe zum realen Forschungsumfeld dafür begeistern, neue Materialien zu erforschen und zu entwickeln. Sie können an Forschungsprojekten im Verbund mit Hochschulen und Forschungsinstituten aus aller Welt mitarbeiten. Wir ebnen zudem den Weg dafür, dass Studierende zu künftigen Mitarbeitern des Fraunhofer IAP werden können.«

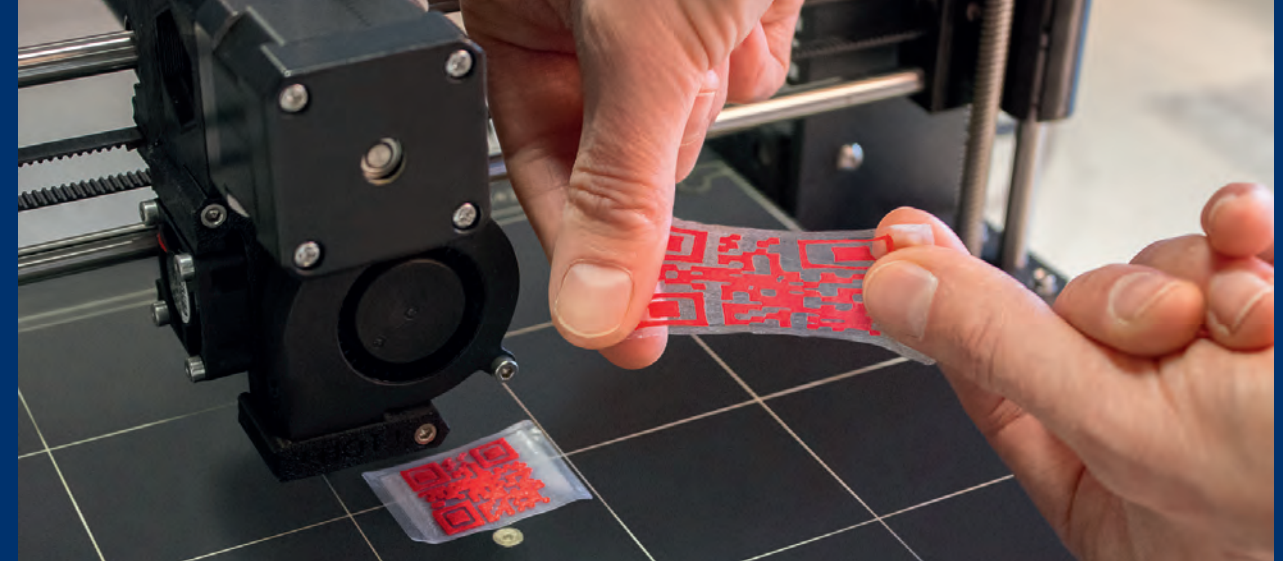
Professor Christian Dreyer, kommissarischer Forschungsbereichsleiter  
Polymermaterialien und Composite PYCO

"I hope to inspire students to study and develop new materials by providing them with exposure to a real research environment. They are able to participate in research projects in cooperation with universities and research institutes from around the world. We are also paving the way for students to join the Fraunhofer IAP in the future."

Professor Christian Dreyer, acting director of the Polymer Materials and Composites Research Division PYCO



# FRAUNHOFER CLUSTER OF EXCELLENCE



Das Fraunhofer Cluster of Excellence ist ein Förderprogramm der Fraunhofer-Gesellschaft für ihre Institute, um Themen mit disruptivem Potenzial zu erforschen. Ziel ist der Aufbau virtueller Institute mit verteilten Kompetenzen und internationaler Sichtbarkeit für die Industrie, Wissenschaft und Gesellschaft.

## Programmierbare Materialien für funktionsintegrierte Systeme der Zukunft

Im Forschungscluster »Programmierbare Materialien« werden die wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen dafür erarbeitet, dass Materialien durch ihre innere Strukturierung die Funktion ganzer Systeme erfüllen können. Dies ermöglicht kleinere Systemgrößen und reduziert die Abhängigkeit von großen Infrastrukturen. Das Ziel ist, dass die verschiedenen Elemente programmierbarer Materialien gezielt für kundenspezifische Systeme mit einer gewünschten Funktionalität kombinierbar werden.

Programmierbare Materialien sind Materialien, Materialverbände oder Oberflächen, deren Form oder Funktion durch äußere Einflüsse reversibel verändert, bzw. kontrolliert werden kann. Die Programmierung erfolgt über den gezielten Aufbau der inneren Struktur des Materials. Wirken äußere Reize wie Druck, Wärme oder elektrische Felder auf das Material ein, bewirkt dies eine Änderung der inneren Struktur und damit des Materialdesigns. Aus der Programmierung von komplexen und lokal unterschiedlichen Funktionen eröffnen sich einzigartige Potenziale für komplette Systeme. Denn die Funktionalität eines Systems

kann durch das Material selbst erbracht werden. Das System kann sich somit automatisch an sich ändernde Umgebungsbedingungen anpassen.

Verschiedene Programmierbarkeiten sollen im Cluster grundlegend entwickelt, charakterisiert und in modularer Weise implementiert werden. Zwei Kernthemen stehen vorerst im Fokus des Clusters: programmierbare Transporteigenschaften und programmierbare mechanische Materialeigenschaften sowie die zugehörigen Skalierungs- und Fertigungsthemen. Beide Eigenschaften sind in Vollmaterialien konventioneller Werkstoffe durch gezieltes Materialdesign meist nur begrenzt veränderbar und liegen nach der Herstellung der Materialien fest. Ein Fokus auf diese Eigenschaften stellt damit wissenschaftlich-technisch eine besondere Herausforderung dar und bietet andererseits Potenzial für ein neues, disruptives und anwendungsorientiertes Systemdesign.

Basierend auf dem erarbeiteten wissenschaftlichen und technologischen Verständnis zu den »Programmierbaren Materialien« wird eine gemeinsame Funktions- und Prozessbibliothek entwickelt. Diese bildet die nachhaltige technologische und wirtschaftliche Basis für das Forschungscluster. Sie verknüpft die Materialmechanismen und systemische Funktionen mit den notwendigen Prozessschritten für die Herstellung.

Beteiligte Fraunhofer-Institute:  
Fraunhofer IWM, Fraunhofer IAP, Fraunhofer IBP,  
Fraunhofer ICT, Fraunhofer IWU

## Circular Plastics Economy

Die Kunststoffproduktion wächst und ist in vielen Ländern ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Kunststoffe für Industrie- und Konsumgüter besitzen ein optimiertes und breites Spektrum unterschiedlichster Eigenschaften und sind in vielen Fällen kaum substituierbar. Sie sind wegen ihres geringen Gewichts unersetzlich für ressourceneffiziente Produkte. Am Ende ihres Lebenswegs landen jedoch viel zu viele Kunststoffabfälle in der Umwelt. Die Rohstoffbasis öffnet sich aber nur langsam für biogene Quellen.

Ziel des Forschungsclusters ist der Aufbau eines virtuellen Instituts mit neuen Kompetenzen, Methoden und Produkten für die zirkuläre Kunststoffwirtschaft. Die Grundidee ist einfach: die Entnahme fossiler Ressourcen minimieren, die End-of-Life-Verluste minimieren und gleichzeitig eine echte Kreislaufführung ermöglichen. Doch der Wandel vom heutigen, weltweit noch weitgehend linearen System hin zu einer effizienten Kreislaufwirtschaft erfordert systemische, technische und soziale Innovationen.

Die Vielfalt der Kunststoffe muss für ihre Recyclingfähigkeit optimiert werden, ohne Funktionalität einzubüßen. Das Design von Kunststoffprodukten muss Reparierbarkeit und lange Lebensdauern ermöglichen. Gleichzeitig sind die kulturelle Praxis und Wertzuschreibungen, die wir mit Kunststoffen verbinden, partizipativ zu erneuern.

Intelligente Sammelsysteme für Kunststoffabfälle müssen global verfügbar, deutlich effizienter und besser akzeptiert

werden. Die Erfassungs-, Trenn- und Recyclingtechniken müssen sich so weiterentwickeln, dass Downcycling vermieden wird. Dort, wo die Freisetzung von Mikroplastik beispielsweise durch Verwitterung und Abrieb nicht vermeidbar oder aus Gründen der Ressourceneffizienz nicht sinnvoll ist, muss eine ausreichend schnelle Abbaubarkeit in der Umwelt gewährleistet sein. Kreislaufverluste werden ausschließlich durch erneuerbare und nicht durch fossile Quellen ersetzt.

Diese Vision erfordert eine »Kunststoffwende entlang der Wertschöpfungskette«, die nur mit einem Multi-Stakeholder-Ansatz gelingt. Im Forschungscluster »Circular Plastics Economy« arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Anfang an mit Marketingexperten und Business Development Managern in einem virtuellen Institut zusammen, um industrierelevante Demonstratoren bereitzustellen. |

Beteiligte Fraunhofer-Institute:  
Fraunhofer UMSICHT, Fraunhofer IAP, Fraunhofer ICT,  
Fraunhofer IML, Fraunhofer LBF



# FRAUNHOFER CLUSTER OF EXCELLENCE

The Fraunhofer Cluster of Excellence is a funding program of the Fraunhofer-Gesellschaft that enables its institutes to conduct research on topics with disruptive potential. The aim is to establish virtual institutes with diversified competencies and global visibility for industry, science and society.

## Programmable materials for functionally integrated systems of the future

The research cluster "Programmable Materials" is laying the scientific and technological foundations for materials whose internal structure allows them to fulfil the function of entire systems. This reduces the size of the system and lowers dependence on large infrastructures. The aim is to specifically combine various elements of the programmable materials to create customer-specific systems with a desired functionality.

Programmable materials are materials, material composites or surfaces whose form or function can be reversibly changed or controlled by external influences. The programming is achieved by a targeted configuration of the inner structure of the material. External stimuli such as pressure, heat or electric fields act on the material causing changes in the internal structure and thus in the material design. The programming of complex and locally different functions unlocks unique potentials for entire systems since a system's functionality can be induced by the material itself.

The system can thus automatically adapt to changing conditions in the environment.

The cluster aims to fundamentally develop, characterize and implement different forms of programmability in a modular way. It will initially focus on two key aspects: programmable transport properties and programmable mechanical material properties, as well as the scaling and manufacturing associated with it. Both properties can usually only be changed to a limited degree in conventional solid materials through targeted material design and cannot be changed once the materials have been produced. Focusing on these properties therefore poses a particular scientific and technical challenge, but also offers potential for a new, disruptive and application-oriented system design.

A joint library for functions and processes will be established based on the acquired scientific and technological understanding of »Programmable Materials«. This forms the sustainable technological and economic basis for the research cluster. The material mechanisms and systemic functions are linked with the process steps needed for manufacturing.

Participating Fraunhofer Institutes:  
Fraunhofer IWM, Fraunhofer IAP, Fraunhofer IBP,  
Fraunhofer ICT, Fraunhofer IWU

## Circular Plastics Economy

Plastic production is growing and is an important economic factor in many countries. Plastics used in industrial and consumer goods have a broad spectrum of optimized properties and in many cases are difficult to replace. Their low weight means they are irreplaceable when it comes to resource-efficient products. However, too much plastic waste ends up in the environment at the end of its life cycle. However, the raw material base only slowly opens up for biogenic sources.

The aim of the research cluster is to establish a virtual institute with new competencies, methods and products for the circular plastics industry. The basic idea is simple: to minimize the extraction of fossil resources, minimize end-of-life losses, and at the same time enable real recycling. But the change from today's largely linear global system to an efficient recycling economy requires systemic, technical and social innovations.

The diverse range of plastics must be optimized in terms of recyclability without sacrificing functionality. Plastic products must be designed to enable repairability and long lifetimes. At the same time, the cultural practices and value that we place on plastics must be actively reinvented.

Smart collection systems for plastic waste must be in place on a global scale and they must become significantly more

efficient and better accepted. Collection, separation and recycling technologies need to be enhanced to avoid downcycling. Where the release of microplastics is unavoidable, for example due to weathering and abrasion, or not feasible for reasons of resource efficiency, it must be ensured that they can rapidly degrade in the environment. Recycling losses should be replaced exclusively by renewable – not fossil – sources.

This vision requires a »plastics revolution along the entire value chain«, which can only succeed with a multi-stakeholder approach. From the beginning scientists work together with marketing experts and business development managers in a virtual institute to provide industry-relevant demonstrators. |

Participating Fraunhofer Institutes:  
Fraunhofer UMSICHT, Fraunhofer IAP, Fraunhofer ICT, Fraunhofer IML,  
Fraunhofer LBF



# FRAUNHOFER IAP IM ÜBERBLICK

## 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 die wachsenden Anforderungen unserer Auftraggeber erfüllen. Die Endprodukte werden immer langlebiger, stabiler, säureresistenter, pflegeleichter, temperaturbeständiger, gesundheitsverträglicher, umweltfreundlicher, kostengünstiger, ... und immer energie-sparender und einfacher in der Herstellung.

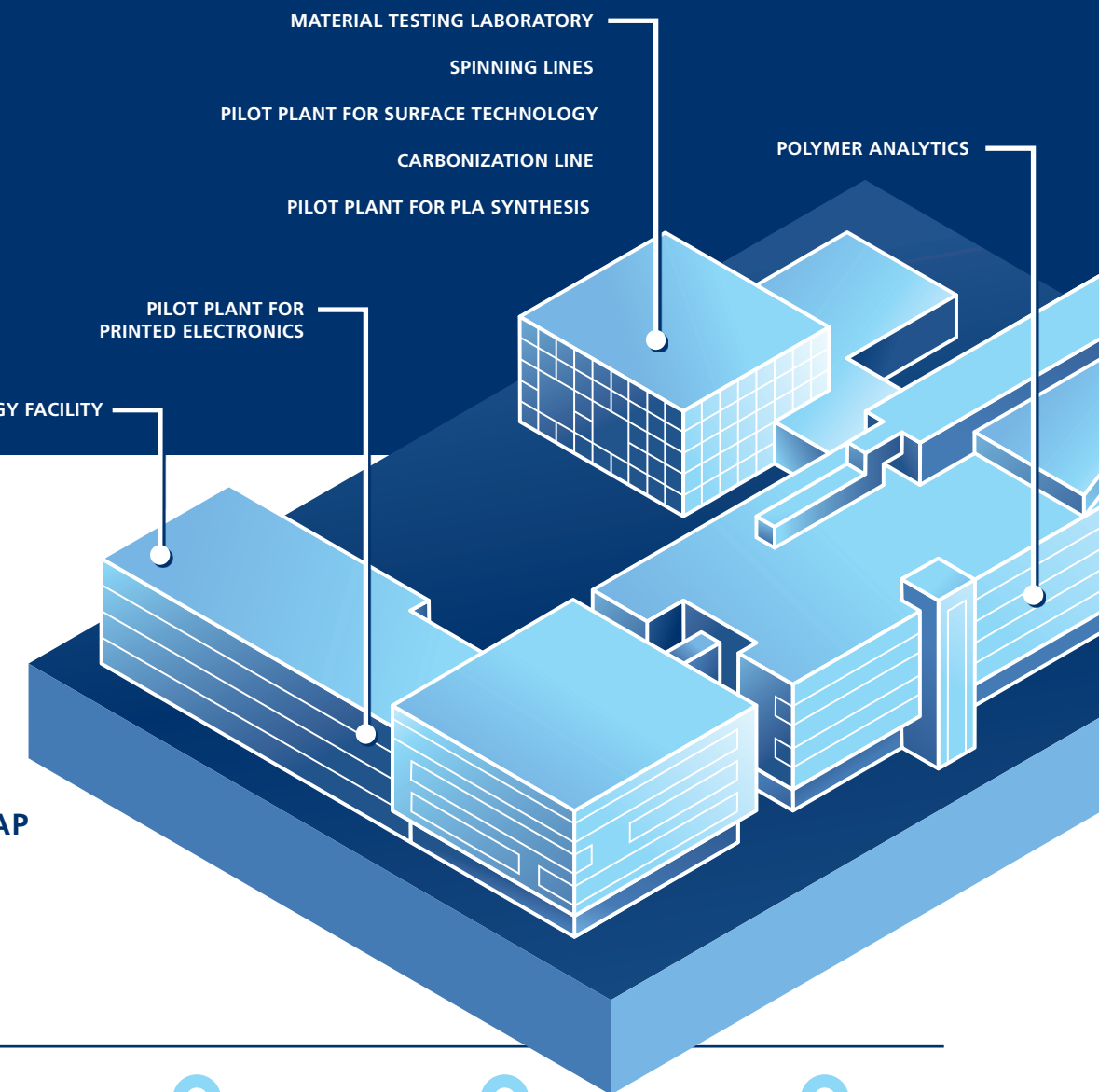
Wir entwickeln innovative und nachhaltige Materialien, Verfahren und Produkte, die speziell auf die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendung zugeschnitten sind und schaffen die Voraussetzungen dafür, dass die entwickelten Verfahren nicht nur im Labormaßstab, sondern auch unter Produktionsbedingungen funktionieren.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

The Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm 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. |



### FURTHER LOCATIONS



### Produkte

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

### Products

fibers, biobased carbon fibers, films, nonwovens, prepregs, printed electronics, flexible OLEDs, flexible organic solar cells, sensors, actuators, polymeric electronic components, thickener systems, (nanoscale) electrocatalysts, nanoparticle-based ink systems, microcapsules, membranes, artificial cornea, drug delivery, cosmetics, artificial blood vessels (3D printing), biosensors

### Materialien

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

### Materials

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

### Anwendungsfelder

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

### 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

### 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

### 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



# UNSERE KOMPETENZEN

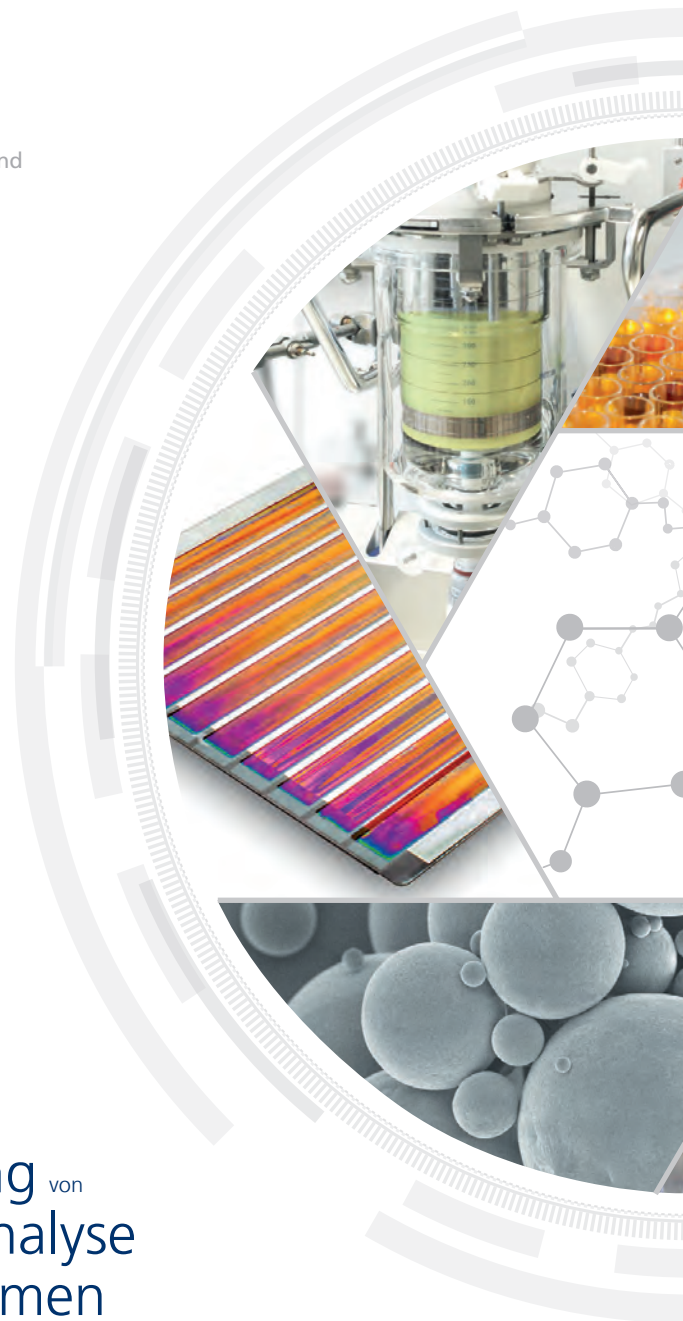
## OUR COMPETENCES

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

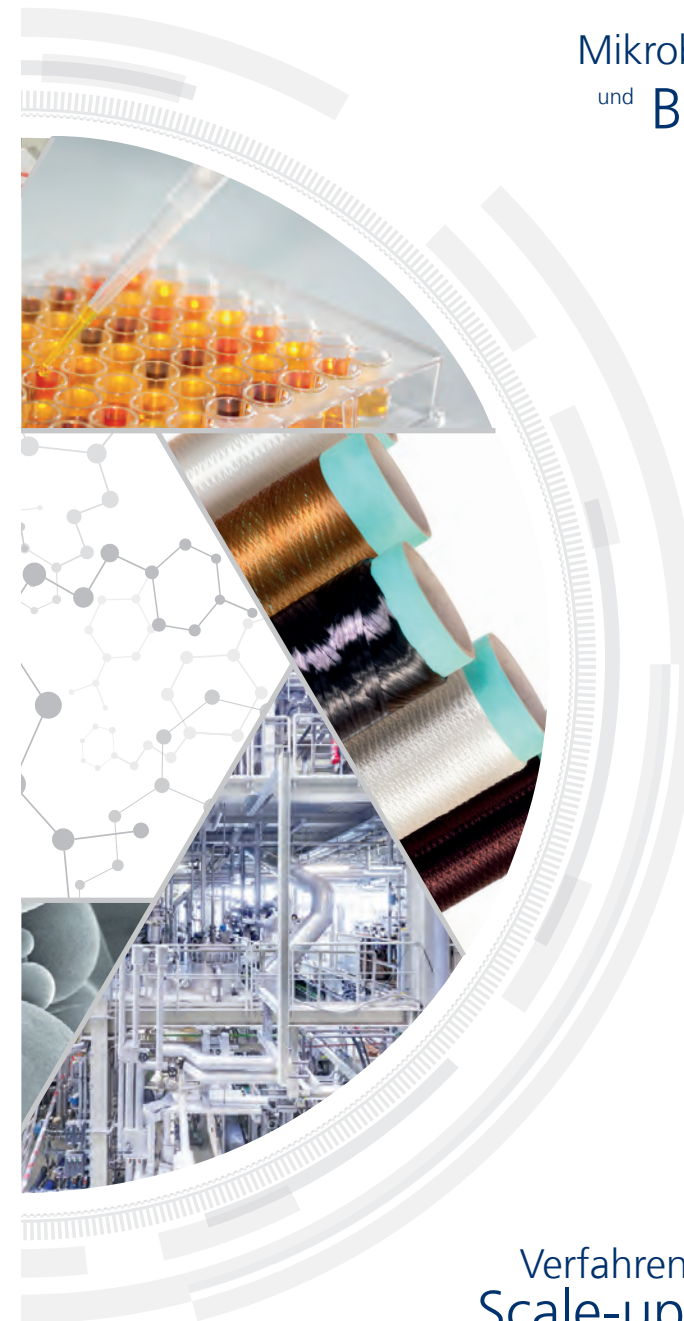


Mikrobiologie  
und Biotechnologie  
Microbiology and  
Biotechnology

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



**INSTITUTSLEITER**  
DIRECTOR

**Prof. Dr. Alexander Böker**  
phone +49 331 568-1112  
alexander.boeker@iap.fraunhofer.de



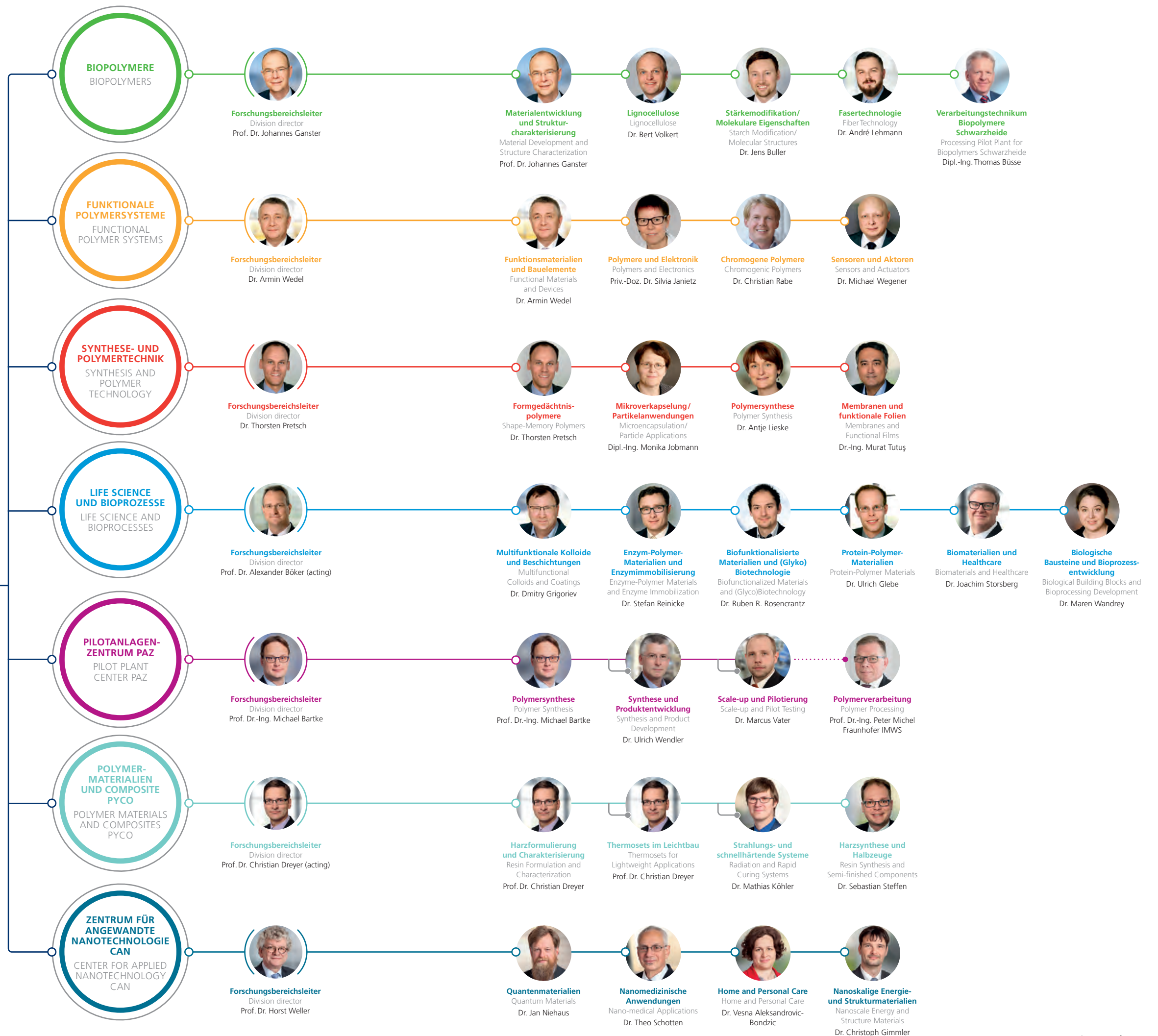
**VERWALTUNGSLEITERIN**  
HEAD OF ADMINISTRATION

**Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand**  
phone +49 331 568-1157  
marina.hildenbrand@iap.fraunhofer.de



**LEITER STRATEGIE UND MARKETING**  
HEAD OF STRATEGY AND MARKETING

**Prof. Dr. Dieter Hofmann**  
phone +49 331 568-1114  
dieter.hofmann@iap.fraunhofer.de





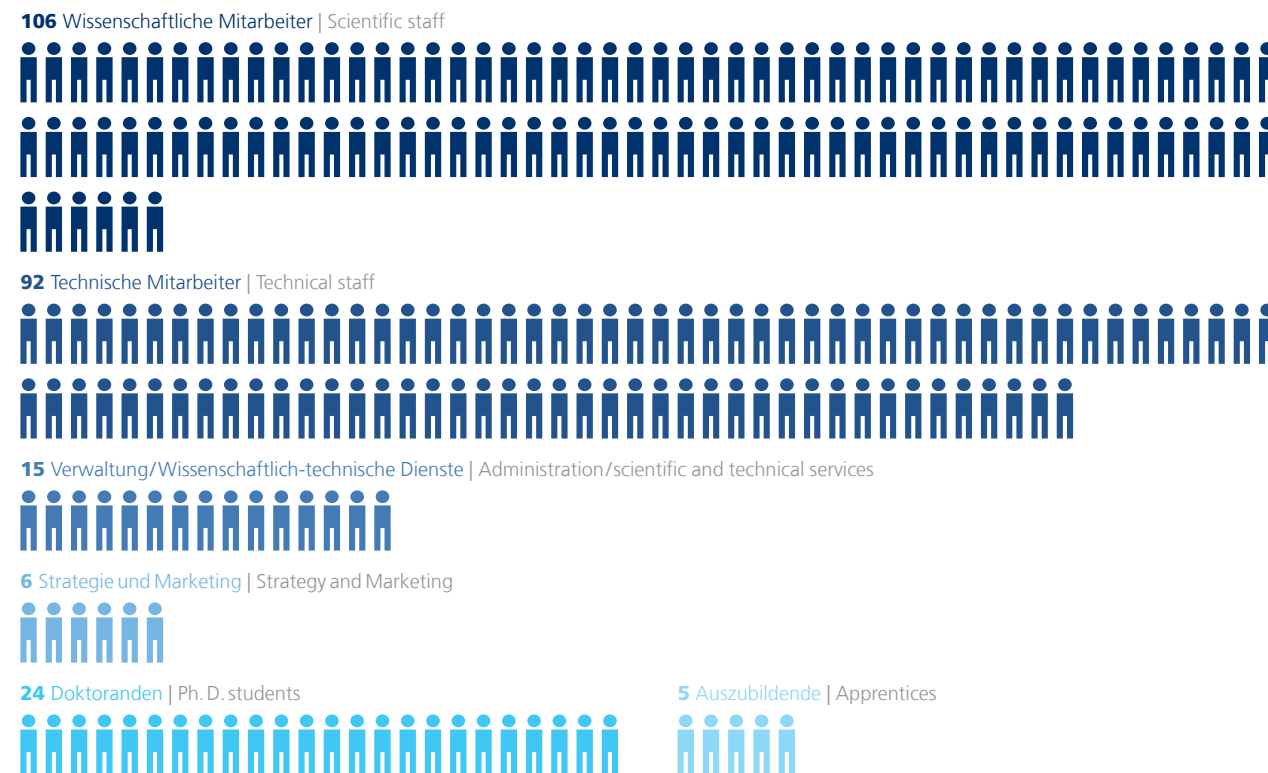
# DAS INSTITUT IN ZAHLEN THE INSTITUTE IN FIGURES



**VERWALTUNGSLEITERIN**  
HEAD OF ADMINISTRATION  
**Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand**  
Telefon +49 331 568-1157  
marina.hildenbrand@iap.fraunhofer.de

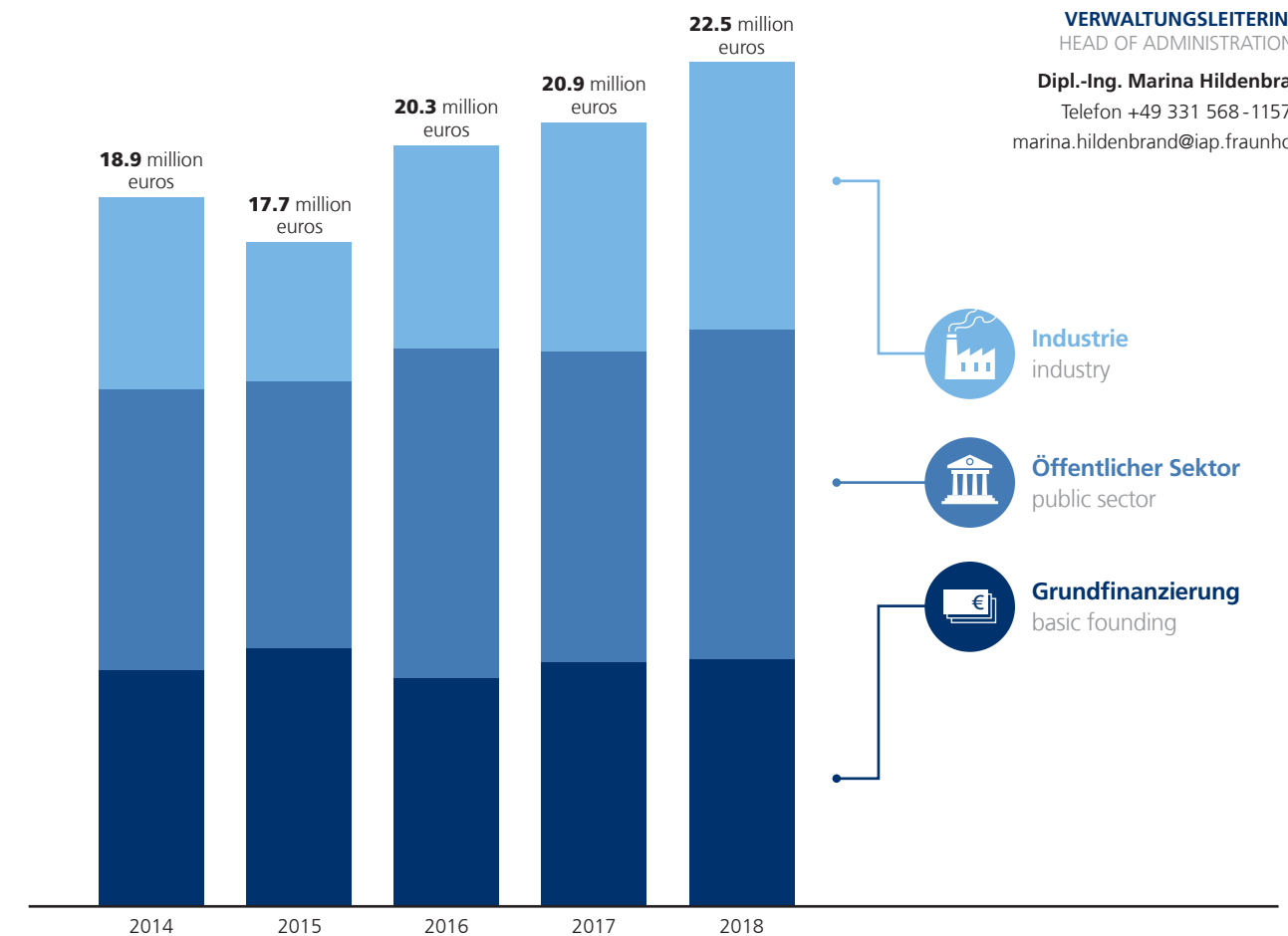
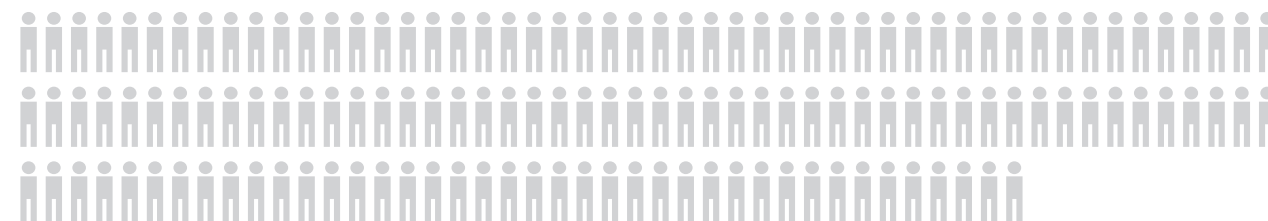
## 248 Mitarbeiter

waren Ende 2018 im Fraunhofer IAP insgesamt angestellt, davon 219 als Stammpersonal und 29 Nachwuchskräfte.  
At the end of 2018, the Fraunhofer IAP employed 248 people, of which 219 were permanent staff and 29 junior staff.



## 139

Bachelor- und Masterstudenten, studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte, Praktikanten, Gastwissenschaftler aus dem In- und Ausland waren ebenfalls am Fraunhofer IAP 2018 beschäftigt. | 139 Bachelor and master students, student and scientific assistants, trainees, guest scientists from Germany and abroad were also employed at Fraunhofer IAP in 2018.



### BETRIEBSHAUSHALT

Im Jahr 2018 betrug der Betriebshaushalt 22,5 Millionen Euro. Die externen Erträge beliefen sich auf 15,9 Millionen Euro, davon 44,8 Prozent Erträge aus der Wirtschaft.

### OPERATING BUDGET

The operating budget for 2018 was approximately 22.5 million euros. External income amounted to 15.9 million euros, 44.8 percent of this was income from industry.

### INVESTITIONSHAUSHALT

2018 wurden Investitionen in Höhe von 2,0 Millionen Euro getätigt. Angeschafft wurden u. a. ein RAMAN-Spektrometer (240 000 Euro), ein Lichtstreuendetektor (240 000 Euro) sowie Geräte für biobasierte Funktionspolymere (91 400 Euro | 80 Prozent EFRE-Mittel des Landes Brandenburg).

### INVESTMENT BUDGET

In 2018 investments amounted to 2.0 million euros. Among others, a RAMAN-spectrometer (240,000 euros), a light scattering detector (240,000 euros) and equipment for bio-based functional polymers (91,400 euros | 80 percent from ERDF/European Regional Development Fund of the State of Brandenburg) were purchased.



# KURATORIUM ADVISORY BOARD



**Das Kuratorium** berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Die nachfolgenden Personen waren 2018 Mitglieder des Kuratoriums des Fraunhofer IAP.

**Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum**

Vorsitzender des Kuratoriums  
Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf

**Prof. Dr. Herwig Buchholz**

Merck KGaA, Darmstadt

**Prof. Dr. Alex Dommann**

Empa, Materials Science and Technology,  
St. Gallen (Schweiz)

**Dr. Stefan Dreher**

BASF SE, Ludwigshafen am Rhein

**Ministerialdirigent Carsten Feller**

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

**Dekan Prof. Dr. Heinrich Graener**

Universität Hamburg, Hamburg

**Staatsrätin Dr. Eva Gümbel**

Behörde für Wissenschaft, Forschung  
und Gleichstellung, Hamburg

**Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim**

Universität Kassel, Kassel

**Dr. Claudia Herok**

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

**The advisory board** advises and supports the Fraunhofer-Gesellschaft as well as the institute's directory. The following persons were members of the advisory board of the Fraunhofer IAP in 2018.

**Dr. Steffen Kammradt**

Wirtschaftsförderung Land  
Brandenburg GmbH (WFBB), Potsdam

**Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst**

Präsidentin der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin

**Prof. Dr. Christine Lang**

Novozymes Berlin GmbH, Organobalance GmbH,  
Berlin

**Prof. i. R. Dr. Michael W. Linscheid**

Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin

**Prof. Dr. Reinhard Lorenz**

Fachhochschule Münster, Steinfurt

**Dr. Henning Mallwitz**

Bode Chemie GmbH, Hamburg

**Andreas Mansfeld**

Hamburger Sparkasse, Hamburg

**Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Pracht**

Alfred PRACHT Lichttechnik GmbH,  
Dautphetal-Buchenua

**Dr. Felix Reiche**

hesco Kunststoffverarbeitung GmbH,  
Luckenwalde

**Dr. Günther Schneider**

Beiersdorf AG, Hamburg

**Dr.-Ing. Andreas Schütte**

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

**Prof. Dr. Ulrich Schwaneberg**

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen,  
Aachen

**Prof. Dr. Robert Seckler**

Vizepräsident für Forschung und wissenschaftlichen  
Nachwuchs der Universität Potsdam, Potsdam

**Prof. Dr.-Ing. Manfred H. Wagner**

Technische Universität Berlin, Berlin

**Dr. Bernd Wohlmann**

Teijin Carbon Europe GmbH, Wuppertal

**GASTMITGLIEDER | GUEST MEMBERS**

**Dr. Stefan Hofschien**

Bundesdruckerei GmbH, Berlin

**Dr. Arik Willner**

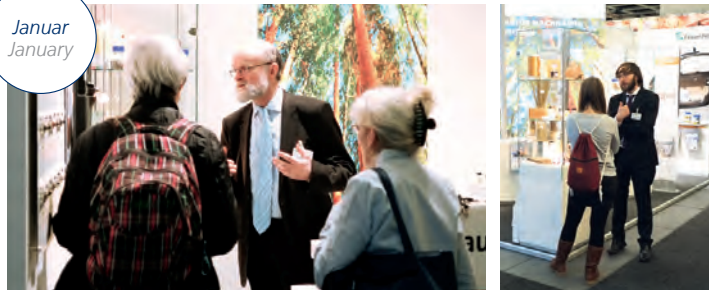
Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg



# RÜCKBLICK 2018

## REVIEW 2018

Januar  
January



19. – 28. 1. 2018 | Internationale Grüne Woche, Berlin

März  
March

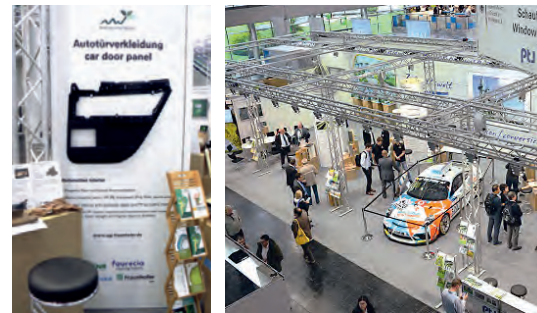


6. – 8. 3. 2018 | JEC World, Paris

April  
April



25. – 29. 4. 2018 | Internationale Luft- und Raumfahrt ausstellung ILA, Berlin



23. – 27. 4. 2018 | Hannover Messe, Hannover

Mai  
May



5. 5. 2018 | Potsdamer Tag der Wissenschaften, Potsdam

Juni  
June



8. 6. 2018 | Grundsteinlegung, Wildau

August  
August



28. 8. 2018 | Besuch von Anton Hofreiter MdB, Schwarzeide

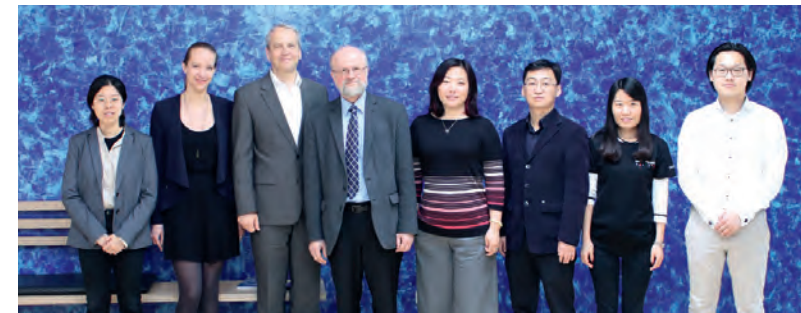
22. 6. 2018 | Kuratorium, Potsdam-Golm



14. 3. 2018 | Besuch einer hochrangigen chinesischen Delegation unter Leitung des Ministeriums für Industrie und Informationstechnologie, Potsdam-Golm



15. 3. 2018 | Besuch des irischen Ministers Richard Bruton, Potsdam-Golm



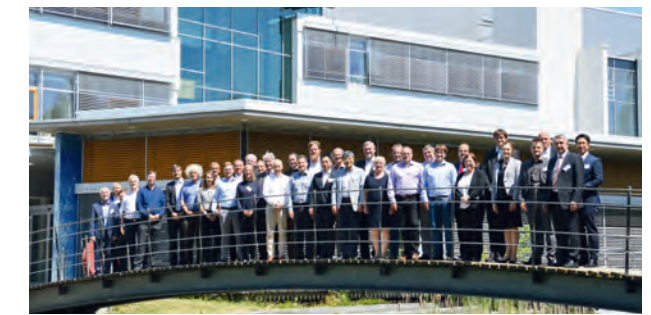
13. 4. 2018 | Besuch einer chinesischen Delegation des Unternehmens TechCode, Potsdam-Golm



25. 4. 2018 | erfolgreiche Teilnahme am TALENTA-Programm der Fraunhofer-Gesellschaft, Dr. Maren Wandrey, Potsdam-Golm



8. 6. 2018 | Dr. Martina Münch, Grundsteinlegung, Wildau



13. – 14. 6. 2018 | DFF-Workshop, Potsdam-Golm



10. 9. 2018 | Besuch kubanischer Professoren der Universität Havanna, Potsdam-Golm

November  
November



21. 11. 2018 | Workshop »Funktionsintegration in Kunststoffe« des VDI, Potsdam-Golm



# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

## THE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT



**F**orschen 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 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 26 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,6 Milliarden Euro. Davon fallen 2,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 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 Schlüssel-

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

**R**esearch 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 72 institutes and research units. The majority of the more than 26,600 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of 2.6 billion euros. Of this sum, 2.2 billion euros is generated through contract research. Around 70 percent of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Around 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.de/en.html](http://www.fraunhofer.de/en.html)



# FRAUNHOFER-VERBUND MATERIALS

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS bündelt seit über 20 Jahren die Kompetenzen von 17 materialwissenschaftlich orientierten Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft, ergänzt um die Kompetenzen von 4 Gastinstituten. Das Gesamtbudget des Fraunhofer-Verbunds MATERIALS betrug im Jahr 2018 über 473,5 Millionen Euro. Über 4400 Mitarbeitende sind im Verbund tätig, davon etwa 2255 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.

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 Laboren, 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-nicht-metallischen, 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 und Umwelt, Mobilität, Gesundheit, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen und 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<sup>®</sup> (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<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>)
- 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 und 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

- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI
- Angewandte Polymerforschung IAP
- Bauphysik IBP
- Chemische Technologie ICT
- Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE
- Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM
- Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS
- Silicatforschung ISC
- Solare Energiesysteme ISE
- Windenergiesysteme IWES
- Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
- Werkstoffmechanik IWM
- Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI

#### sowie als ständige Gäste die Fraunhofer-Institute für:

- Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
- Integrierte Schaltungen IIS
- System- und Innovationsforschung ISI
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

#### Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds

**Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn**  
vorsitz@materials.fraunhofer.de

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

#### Stellv. Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds

**Prof. Dr. Bernd Mayer**  
vorsitz@materials.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und Angewandte  
Materialforschung IFAM  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen

#### Geschäftsführung

**Dr. phil. nat. Ursula Eul**  
Telefon +49 6151 705-262  
info-verbund-materials@lbf.fraunhofer.de

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

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



# FRAUNHOFER GROUP MATERIALS

For over 20 years now the Fraunhofer Materials and Components Group – MATERIALS has been integrating the expertise of 17 Fraunhofer Institutes working in the field of materials science, supplemented by 4 associated institutes. The overall budget of Fraunhofer MATERIALS was over 473,5 million euros in 2018. The group currently has more than 4400 employees, about 2255 of which are scientists.

Fraunhofer materials research covers the entire value chain, from new material development and 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 and environment, mobility, healthcare, machine and plant construction, building

construction and 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

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

#### Associated Fraunhofer Institutes:

- Interfacial Engineering and Biotechnology IGB
- Integrated Circuits IIS
- Systems and Innovation Research ISI
- Industrial Mathematics ITWM

#### Chairman of the Fraunhofer Group

**Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn**  
vorsitz@materials.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Microstructure of Materials and Systems IMWS

Walter-Hülse-Straße 1  
06120 Halle (Saale)

#### Deputy Group Chairman

**Prof. Dr. Bernd Mayer**  
vorsitz@materials.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM

Wiener Straße 12  
28359 Bremen

#### Central office

**Dr. phil. nat. Ursula Eul**  
Phone +49 6151 705-262  
info-verbund-materials@lbf.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Structural Durability and System Reliability LBF

Bartningstraße 47  
64289 Darmstadt

[www.materials.fraunhofer.de/en.html](http://www.materials.fraunhofer.de/en.html)



# BIOPOLYMERE

## BIOPOLYMERS

- 40 Neue Produkte aus Nachwachsenden Rohstoffen**  
New products made from renewable raw materials
- 44 Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 48 Neuartige Cellulose-Regeneratfasern aus dem Viskoseprozess**  
New opportunities for cellulose carbamate
- 50 Holzklebstoffe aus Stärke**  
Wood adhesives from starch

*Melanie Bartel, M.Sc. am hochauflösenden FT-NMR Spektrometer.  
Melanie Bartel, M.Sc. at the high-resolution FT-NMR spectrometer.*





## NEUE PRODUKTE AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN

Nachwachsende Rohstoffe stellen eine nahezu unerschöpfliche Quelle für verschiedenste Produkte der Wirtschaft und des täglichen Lebens dar und leisten ihren Beitrag zur Schonung fossiler Ressourcen und der Reduktion von Treibhausgasemissionen. Das betrifft eine Fülle von Produkten in traditionellen Einsatzgebieten wie Papierzellstoff, Textilprodukte, Wursthüllen, Brillengestelle, Zigarettensfilter, Tablettengrundlagen, bis hin zu Klebstoffen. Sie bieten mannigfaltige Optimierungsmöglichkeiten, sowohl was die eigentlichen Produkte, als auch was deren Herstellungsverfahren betrifft. Hier ist der Forschungsbereich Biopolymere gemeinsam mit einer Reihe von Partnern aus der Industrie aktiv, um neue Möglichkeiten in die Praxis umzusetzen. Aber auch Unternehmen, die ihr Portfolio um neue, nachhaltige Produkte erweitern wollen, profitieren von der jahrzehntelangen Expertise der Mitarbeiter im Forschungsbereich. Seien es klassische Ausgangsstoffe wie Lignocellulose (z. B. Holz), Zellstoff, Stärke und Proteine, Reststoffe wie Lignin, Stroh, Rübenschnitzel, Haferspelzen oder (thermoplastische) Biokunststoffe, wie Polylactid (PLA) oder Polybutylensuccinat (PBS) sowie deren Blends und Composite: der Forschungsbereich ist der richtige Partner für die Entwicklung neuer Produkte aus diesen Materialien.

### Fasern und Vliesstoffe

Für die Herstellung von Fasern und Vliesstoffen sowie Folien, die aus der Lösung gewonnen werden, stehen zwei modular aufgebaute und sehr variabel anpassbare Nassspinnlinien mit einer Kapazität von bis zu 1,5 Kilogramm Filamentgarn pro Stunde zur Verfügung. Es werden neue Verfahren entwickelt, aber auch etablierte optimiert und an alternative Rohstoffe angepasst. Der Fokus liegt auf Celluloseregenerat-Technologien (Viskose, Lyocell, Carbat) von der Lösungsherstellung (auf einer Blaschke-Anlage) über das Ausspinnen des Garns oder Vlieses bis hin zur detaillierten mechanischen und strukturellen Charakterisierung durch Röntgenbeugung und Elektronenmikroskopie. 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 Jahr 2018 standen Arbeiten zur Entwicklung verschiedener Carbonfaser-Präkursoren (Nassspinnen) sowie technischer PLA-Filamente und diverser Bikomponentenfasern im Vordergrund.

### Stoffliche Nutzung von Lignin und Lignocellulosen

Lignin stellt einen massenweise verfügbaren Rohstoff aus der Zellstoffproduktion dar, der gegenwärtig in der Zellstoffindustrie vor allem energetisch verwertet wird. Die tatsächliche Verfügbarkeit als Lignin-Pulver erhöht sich derzeit enorm, so dass stoffliche Anwendungen in den Fokus des Interesses rücken. Solche Möglichkeiten werden im Forschungsbereich auf den Gebieten der Thermosets, der Klebstoffe und der Thermoplaste intensiv verfolgt. So wurde u. a. 2018 die Wechselwirkung klassischer Lignine mit polyolefinischer Matrix unter gleichzeitiger Verwendung lignocellulosischer Füllstoffe detailliert untersucht und für den Spritzguss optimiert.

Über chemische Derivatisierung von lignocellulosischen Komponenten aus Restströmen konnten thermoplastisch verarbeitbare Materialien hergestellt werden, deren Eigenschaften in weiten Bereichen einstellbar sind.

### Cellulose und Polysaccharidderivate

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 sphärischen Partikeln im Nanometerbereich bis hin zu perlförmigen Trenn- und Trägermaterialien im Mikrometerbereich, Folien mit Barriereigenschaften, Verdickungsmittel, Adsorber, Thermoplaste und Duromere sowie Derivate für den Einsatz in der Medizin wurden bis zur Überführungsreife entwickelt. Durch die Erzeugung von spezifischen Substitutionsmustern an den freien OH-Gruppen in den Zuckereinheiten der Polysaccharide bzw. an den aliphatischen oder aromati-

schen 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.

### Technische Stärkeprodukte

Der Rohstoff Stärke bietet ein sehr vielfältiges Entwicklungspotenzial. Neben der chemischen Derivatisierung können seine Eigenschaften auch mittels physikalischer, säurehydrolytischer und enzymatischer Behandlung zielgerichtet eingestellt werden. Außerdem gewinnt die biokatalytische Funktionalisierung zunehmend an Bedeutung. In Abhängigkeit von der molekularen Struktur ist Stärke für eine Vielzahl von Anwendungen einsetzbar: z. B. für biobasierte Verpackungsmittel, Papier, Wellpappe, Klebstoffe, Beschichtungen, Bindemittel und Flockungsmittel. Auch im klassischen Anwendungsfeld der Papierherstellung werden neue kostengünstige biobasierte Lösungen u. a. im Bereich des Barrierecoatings gesucht. Hier werden sowohl bilaterale Projekte mit Industriepartnern als auch von der öffentlichen Hand geförderte Projekte in Zusammenarbeit mit der Industrie bearbeitet. Weitere aktuelle Entwicklungen betreffen Stärke- und Proteinprodukte mit dem Vermögen zur Bildung transparenter, flexibler und reißfester Schichten für wasserlösliche und wasserstabile Filme und Beschichtungen für verschiedene Substrate.

### Carbonfasern und Composite

Konsequenter Leichtbau als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts ist ohne die Verwendung von Carbonfasern undenkbar. Für die Konvertierung der i. d. R. selbstgesponnenen Präkursoren stehen zwei Dreizonenöfen bis 900 °C, ein Carbonisierungs-ofen mit sechs Zonen bis 2000 °C und ein einzoniger Ofen bis 2700 °C zur Verfügung. Über die spannungsgeregelten Fadenführungen können Multifilamentgarne während dieser Prozesse gezielt deformiert und so optimierte Konvertierungsregimes realisiert werden. Im vergangenen Jahr erfolgten detaillierte

Prozessoptimierungen ausgehend von selbstgesponnenen alternativen Präkursormaterialien.

Faserverstärkte biobasierte oder partiell biobasierte Spritzguss-Compounds mit cellulosischer Verstärkung bilden seit langem ein Thema im Forschungsbereich Biopolymere. Insbesondere spielen Celluloseregeneratfasern als Verstärkungsmaterial eine wichtige Rolle. Eine Herausforderung für die Celluloseregeneratfaserverstärkung sind (teil-)biobasierte Thermoplaste wie Terephthalsäurepolyester, die im vergangenen Jahr erfolgreich gemeistert wurde.

### Engagement in der Lausitz

Im vergangenen Jahr wurde dank einer Anschubfinanzierung durch das Land Brandenburg die Projektgruppe »BioPol« an der BTU Cottbus - Senftenberg ins Leben gerufen, die sich mit der Einbringung biologischer Funktionalitäten in Polymerwerkstoffe befasst. Zusammen mit dem Forschungsbereich »Life Science und Bioprozesse« werden Kunststoffe mit biologischen Funktionen ausgestattet, die z. B. das Verhalten gegenüber Mikroorganismen steuern, die Gleiteigenschaften beeinflussen oder für die Biosensorik nutzbar sind. Das Verarbeitungstechnikum Biopolymere am Standort Schwarzeiche bringt dabei sein Know-how bezüglich der Kunststoff-Verarbeitungstechnik ein. Auch bildet das Verarbeitungstechnikum die wichtigsten, in der Kunststoffindustrie üblichen Verarbeitungsverfahren ab und erarbeitet in enger Kooperation mit den Unternehmen der Region und darüber hinaus Lösungen, um die anwendungsspezifischen Anforderungen auf der Basis biobasierter bzw. bioabbaubarer Materialsysteme zu erfüllen und Verarbeitungsverfahren zu validieren. Studierende der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus - Senftenberg nutzen die praktischen Möglichkeiten vor Ort, um verarbeitungstechnische Erfahrungen mit Biokunststoffen zu sammeln. Dies geschieht im Rahmen der von Professor Dr. Johannes Ganster gehaltenen Vorlesung »Biobasierte Polymerwerkstoffe«. Über »Nachhaltigkeit in der Kunststofftechnik« informiert der Leiter des Technikums die Studierenden im Rahmen einer weiteren Vorlesung. |





## NEW PRODUCTS MADE FROM RENEWABLE RAW MATERIALS

Renewable raw materials constitute a nearly inexhaustible resource for various economic products and products used in everyday life. They contribute to the conservation of fossil resources and the reduction of greenhouse gas emissions. This applies to a wide range of products in traditional areas of application such as paper pulp, textiles, sausage casings, frames for glasses, cigarette filters and adhesives. They provide a host of opportunities for optimization, both in terms of the actual product and its production process. The Biopolymer Research Division cooperates with a range of industry partners with the aim of putting new opportunities into practice. Companies that wish to expand their portfolio to include new, sustainable products benefit from the decades of expertise provided by the employees in the research division. This makes our research division the perfect partner for developing new products, e.g. from traditional raw materials, like lignocellulose (e.g. wood), pulp, starch and proteins, residuals such as lignin, straw, beet pulp or oat spelt, or (thermoplastic) bioplastics such as polylactide (PLA), polybutylene succinate (PBS) and their blends and composites.

### Fibers and nonwovens

We have two modular and flexibly adaptable wet spinning lines with capacities of up to 1.5 kilograms of filament yarn per hour which we use to produce fibers, nonwovens and films made from solution. New methods are being developed and already established ones are being optimized and adapted for alternative raw materials. Focus is on cellulose regenerate technologies (viscose, lyocell, carbamate) – from the production of the solution (in a Blaschke plant), to the spinning of the yarn or non-woven and detailed mechanical and structural characterization (x-ray diffraction, electron microscopy). Melt spinning is performed in a bicomponent plant with an haul-off speed of up to 1,800 m/min. This allows us to simulate industrial melt spinning processes. In 2018 our work focused on developing various carbonfiber precursors

(wet spinning), technical PLA filaments and a range of bicomponent fibers.

### Material use of lignin and lignocellulose

Lignin is an abundant raw material left over from pulp production. Currently it is being converted into energy by the pulp industry. There has been a vast increase in its availability as a lignin powder so that attention is now moving towards material applications. The research division is intensively pursuing such opportunities in the areas of thermosets, adhesives and thermoplastics (here using lignin as a component). In 2018, for example, the interaction between traditional lignins and a polyolefin matrix, while simultaneously using lignocellulosic fillers, was investigated in detail and optimized for injection molding.

The chemical derivatization of lignocellulosic components from residual flows enabled us to produce thermoplastically processable materials whose properties can be widely customizable.

### Cellulose and polysaccharide derivatives

Cellulose, starch, other polysaccharides and lignin are heterogeneously and homogeneously derivatized to produce the desired product properties. This is an area in which a range of specialty products is being developed for different fields of application. Processes for producing nanometer-sized spherical particles and micrometer-sized pearl-shaped separation and carrier materials, films with barrier properties, thickeners, adsorbents, thermoplastics, thermosets, and derivatives for medical applications are being 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 on new derivatives is usually coupled with the development of processes that extend up to the pilot scale (50 L reactor).

### Technical starch products

Starch is a raw material that has the potential to be used in very versatile ways. In addition to chemical derivatization, its properties can also be customized by means of physical, acid hydrolytic and enzymatic treatment. Biocatalytic functionalization also plays an increasingly important role. Depending on its molecular structure, starch can be used in a variety of applications: for example for biobased packaging, paper, corrugated cardboards, adhesives, coatings, binding agents and flocculants. New cost-effective biobased solutions are even being sought in the traditional application field of paper manufacturing, for instance, in the area of barrier coatings. Here we conduct bilateral projects with industrial partners and collaborate with industry on publicly funded projects. Other developments include starch and protein products that are able to form transparent, flexible and tear-resistant layers for water-soluble and water-stable films and coatings for various substrates.

### Carbon fibers and composites

Consistent light-weight construction is a key technology of the 21st century and would be unimaginable without carbon fibers. Two three-zone furnaces with a heating capacity of up to 900 °C, a six-zone carbonization furnace with a heating capacity of up to 2000 °C and a single-zone furnace that can heat up to 2700 °C are available for the conversion of the generally self-spun precursors. The tension-regulated thread guides enable multi-filament yarns to be deformed during the process, resulting in optimized conversion regimes. Detailed process optimization was carried out last year based on alternative self-spun precursor materials.

Fiber-reinforced biobased or partially biobased injection molding compounds with cellulose reinforcements have been a long-standing focus of the Biopolymer Research Division. Regenerated cellulose fibers play a particularly important role as a reinforcement material.

### Activities in the Lausitz region

Last year, start-up financing from the state of Brandenburg enabled the establishment of the “BioPol” project group at BTU Cottbus - Senftenberg. The group explores the introduction of biological functionalities into polymer materials. Together with the research division “Life Science and Bioprocesses”, plastics are being endowed with biological functions that, for example, control behavior towards microorganisms, influence sliding properties and allow them to be used in biosensors. The Processing Pilot Plant for Biopolymers is located at Schwarzheide site and contributes by providing expertise in plastic processing technology. In addition the Processing Pilot Plant depicts the most important processing methods used in the plastics industry. In close cooperation with companies in the region and beyond, it develops solutions to meet application-specific requirements related to bio-based or biodegradable material systems and validates processing methods. Students at the Brandenburg University of Technology Cottbus - Senftenberg take advantage of the practical opportunities on site in order to gain experience in the processing of bioplastics. This is done within the framework of the lecture “Biobased Polymer Materials” conducted by Professor Dr. Johannes Ganster. In another lecture, the head of the pilot plant instructs students on “Sustainability in plastics technology”. |

# ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

## Cellulose-/ Hemicelluloseprodukte

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

## Syntheseverfahren

- neue Synthesewege für Polysaccharidether und -ester

- Optimierung von Homogen- und Heterogensynthesen
- Synthese von Cellulosecarbamaten und Cellulosesulfaten
- Scale-up von Synthesen bis zum 50L-Maßstab für Heterophasen-Reaktionen
- Verfahren zur Herstellung von Cellulosemischderivaten

## Verformungsverfahren für Cellulose

### Viskoseverfahren

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

### Carbamatverfahren

- Filamentgarne und Stapelfasern
- Hochfestfasern und Nonwovens aus LC-System CC-NMMO-Wasser
- hochporöse Aerogel-Materialien (Dichte um 0,05 g/cm<sup>3</sup>)
- Hohlfasern, Schläuche, Folien
- Synthese von Cellulosecarbamaten

## Lyocell-Verfahren

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

## Stärkeprodukte

- amphiphile Stärkederivate
- Barrierecoatings
- Baustoffadditive
- Bindemittel für Gipskarton- und Mineralfaserplatten
- Bindemittel für Farben und Lacke
- Flockungsmittel zur Abwasserreinigung und Schlammwässerung
- funktionelle Lebensmittelzusatzstoffe: Dickungsmittel, Bindemittel und Gelbildner
- hydrophobe Stärken für Dispersionsklebstoffe
- Klebmittel für Holzfaserverplatten
- Klebstoffe und Coatings für verschiedene Materialien
- Papier- und Textilhilfsmittel (Schichten)
- Stärkederivate in Kosmetik, Wasch- und Reinigungsmitteln
- Stärkederivate zur Folienherstellung
- Stärkeether für Mikroverkapselung

- Stärkeester für Spritzgussanwendungen und Folienherstellung
- Tablettierhilfsmittel, Mikroverkapselung für die Pharmaindustrie
- vernetzte Stärken

## Verfahrensentwicklung

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

## Ligninmaterialien

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

## Biobasierte thermoplastische Blends und Composite

- biobasierte Folien mit verbesserten Barriereigenschaften
- biobasierte meltblown Vliesstoffe
- Cellulose-Rayon verstärkte Composite
- faserverstärkte Spritzgusscompounds
- Nano-Additivierung von Polylactid (PLA) und biobasierten Polyamiden
- naturfaserverstärkte Composite
- PLA, Stärke und Lignin als Blendkomponenten
- schmelzgesponnene Biopolymerfasern
- Spritzgusscompounds mit verbesserten Eigenschaften

## 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 inkl. Folienherstellung
- 3D-Druck/Fused Deposition Modeling (FDM) inkl. 3D-Druck-Filamentherstellung

## Rohstoffuntersuchung, Materialcharakterisierung und -prüfung

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

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

## Carbonfasern

- Präkursoren-Herstellung und Spinntechnologie
- Stabilisierung
- Carbonisierung (bis zu 2700 °C)



**FORSCHUNGSBEREICHSL EITER**  
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

bert.volkert@iap.fraunhofer.de

### Stärkemonifikation/ Molekulare Eigenschaften

Starch Modification/ Molecular Structures

**Dr. Jens Buller**

Telefon +49 331 568 - 1478

jens.buller@iap.fraunhofer.de

### Fasertechnologie

Fiber Technology

**Dr. André Lehmann**

Telefon +49 331 568 - 1510

andre.lehmann@iap.fraunhofer.de

### Verarbeitungstechnik

Biopolymere Schwarzheide

Processing Pilot Plant for Biopolymers Schwarzheide

**Dipl.-Ing. Thomas Büsse**

Telefon +49 331 568 - 3403

thomas.buesse@iap.fraunhofer.de



# APPLICATIONS AND SERVICES

## Cellulose/hemicellulose products

- anti-graffiti coatings
- bacterial cellulose
- bead cellulose as separating agent and carrier material for pharmacy and medicine
- biodegradable super-absorbers 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
- hydrogels and aerogels
- symplex membranes for distillation-free solvent separation in the chemical and food industries
- viscosity regulators and dispersion stabilizers for cosmetics, food, dye, construction material, and chemical industries

## Synthesis processes

- new synthesis routes for polysaccharide ethers and esters

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

## Cellulose forming processes

### Viscose technology

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

### Carbamate technology

- filament yarns and staple fibers
- high-tenacity fibers and nonwovens from LC system CC-NMMO-water
- highly porous aerogel-like materials (density about 0.05 g/cm<sup>3</sup>)
- hollow fibers, tubes, films
- synthesis of cellulose carbamate

## Lyocell technology

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

## Starch products

- additives for building materials
- adhesives and coatings for various materials
- adhesives for wood fiberboards
- amphiphilic starch derivatives
- barrier coatings
- binders for gypsum plaster boards and mineral fiber boards
- binders for paints and varnishes
- crosslinked starches
- flocculants for wastewater treatment and sludge dewatering
- functional food additives: thickening agents, binders and gelling agents
- hydrophobic starches for dispersion adhesives
- paper and textile additives (sizing)
- starch derivatives 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

## Process development

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

## Lignin materials

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

## Biobased thermoplastic blends and composites

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

## Polymer processing

### Processing methods

- blown film production
- blow molding: one and two layers
- characterization and optimization for processing properties and techniques
- compounding and additivation of polymers
- extrusion and granulation
- flat film production (3 layers)
- injection molding

- testing and optimization of plastic materials
- thermoforming and thermoform film production
- 3D printing/fused deposition modeling (FDM) and production of 3D printing filament

## Feedstock analysis, material characterization and testing

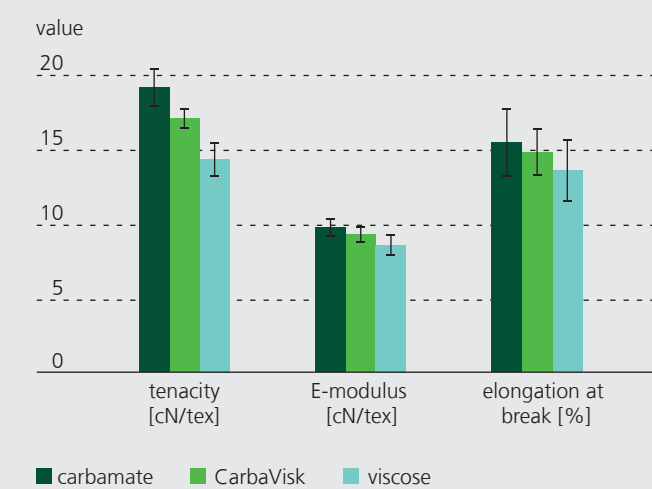
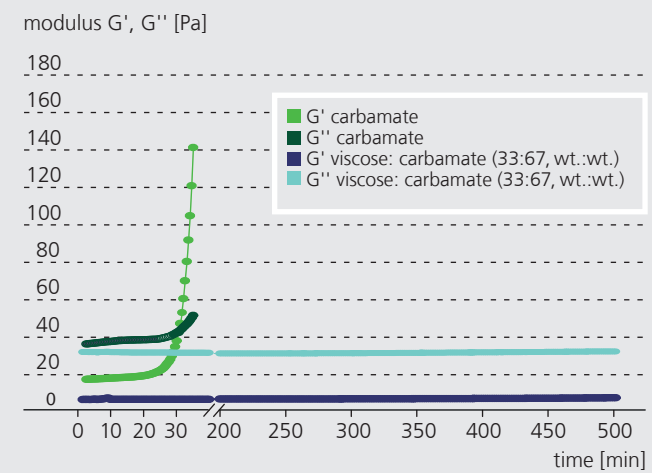
- application-oriented testing
- barrier properties (water vapor, oxygen)
- characterization of the morphology and the supramolecular structure of polymers
- characterization of native and modified biopolymers like cellulose, starch, heteropolysaccharides, chitosan, lignin
- characterization of polymer 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

- degree of substitution and substitution pattern of polysaccharides (e.g. NMR)
- determination of the emission of volatile organic compounds (VOC) according to VDA 277
- material testing of fibers, films and molded parts
- mass transport and separation properties of membranes and carrier materials
- relationships between production conditions, structures and properties

## Carbon fibers

- precursor spinning
- stabilization
- carbonization (up to 2700 °C)





- 1 View along the 3k filament wet-spinning line at the Fraunhofer IAP.
- 2 Oscillatory time sweeps at 25 °C for a carbamate solution and a viscose/carbamate – mixture (33/67, wt./wt.) with a strain amplitude of 0.01 and frequency of 1 Hz.
- 3 Comparison of textile-physical properties of filaments produced by the viscose and carbamate process as well as the combined process using the same spinning bath conditions.

## NEUARTIGE CELLULOSE-REGENERATFASERN AUS DEM VISKOSEPROZESS

### Literatur Literature

[1] M. Voges, M. Brück, H.-P. Fink, J. Gensrich: *The carbacell process – an environmentally friendly alternative for cellulose man-made fibre production*, Proc. of 5th Akzo-Nobel Cellulosic Man-made Fibre Seminar, Stenungsund (2000)

Der stetig wachsende Marktanteil von viskosebasierten Cellulose regeneratfasern liegt derzeit bei mehr als 5 Mio. Tonnen jährlich, wobei die Produktion für textile Anwendungen den Großteil ausmacht. Die Vielseitigkeit des Prozesses ermöglicht zudem die Herstellung cellulosischer Regeneratfasern für technische Anwendungen (z. B. Super 3 Reifencord). Diese Variationsbreite ist unter den Cellulose-Spinnprozessen einzigartig. An der Minimierung des hochtoxischen Schwefelkohlenstoffs CS<sub>2</sub>, unter Erhalt der Spinnlösungsqualität und der Fasereigenschaften, wird seit mehreren Jahrzehnten intensiv geforscht.

Die Ähnlichkeiten im Spinnprozess führten dazu, dass der Carbamat-Prozess als Alternative für den Viskose-Prozess sehr intensiv beforcht aber bis jetzt nicht etabliert wurde, obwohl kontinuierliche Carbamat-Spinnversuche im industriellen Maßstab realisiert wurden [1].

Da beide Cellulose-derivate löslich im alkalischen Medium sind, wurden die Möglichkeiten diese im gelösten Zustand zu vereinen und zu cellulosischen Endlosfilamenten umzuformen am Fraunhofer IAP untersucht. Im Anschluss fanden Untersuchungen der unterschiedlichen Spinnlösungsmischungen und der daraus hergestellten Fasern statt.

Um den Einfluss des Verhältnisses von Natrium-Cellulosexanthogenat und Cellulose-Carbamat in Lösung auf die Gelbildung zu untersuchen, wurden rheologische Messungen (Fig. 2) durchgeführt, bei denen Speicher- und Verlustmodul (G' bzw. G'') über die Zeit ermittelt wurden. Während die Carbamatlösung nach 30 Minuten bei Raumtemperatur einen Schnittpunkt von G' und G'' zeigt, sind keine signifikanten Änderungen von G' und G'' bei den Mischungen festzustellen. Es zeigt sich, dass die Stabilität einer Carbamatlösung zur Zumischung von Viskose deutlich erhöht werden kann, was die Lagerung und einen Spinnprozess bei Raumtemperatur ermöglicht.

Für den Nassspinnprozess wurden die Lösungen auf 20 °C temperiert und mit einer Spinnpumpe zur Düse gefördert. Das verwendete wässrige Spinnbad (40 °C) enthielt 80 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> und 120 g/L Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Das entstandene Faserbündel wurde über eine Abzugsgalette abgezogen, durch ein Zersetzungsbad geleitet und dann auf Nelson-Waschgaletten gewaschen. Die Trocknung des Fadens erfolgte isometrisch auf Trocknungsgaletten, gefolgt von der Wicklung.

Fig. 3 zeigt, dass anteiliges Beimischen von Natrium-Cellulosexanthogenat zu Cellulose-Carbamat in Lösung zusätzlich zu den mechanischen Kennwerten einer viskosebasierten Faser zu einem ausgeglichenen Eigenschaftsspektrum der Zugfestigkeit und Bruchdehnung führt.

Würde man 28 Gewichtsprozent CS<sub>2</sub> bezüglich der Cellulose einsetzen um eine Tonne viskosebasierte Cellulose regeneratfasern herzustellen, würde sich bei gleichzeitig hoher Variabilität der Fasereigenschaften, aufgrund der Polyelektrolytstruktur bei der oben beschriebenen Lösungszusammensetzung, die CS<sub>2</sub>-Einsatzmenge auf 9,3 Gewichtsprozent pro Tonne Spinnfasern reduzieren lassen. |

## NEW OPPORTUNITIES FOR CELLULOSE CARBAMATE

The market share of viscose fibers is on the rise at over 5 million tons per annum. The main application area for viscose fibers is the textile industry. Nevertheless, the broad variability of the viscose process even enables the production of technical man-made cellulose fibers (e. g. Super 3 tire cord yarn). No other cellulose shaping process is able to achieve this broad variability in fiber quality. However, for decades there has been a strong focus on decreasing the input of highly toxic CS<sub>2</sub> (more than 1 million tons p. a. for the viscose process) while maintaining stable fiber production and the quality of spinning solutions.

The cellulose carbamate process is by far the most intensely investigated substitute for viscose technology but it has not been established yet, though the cellulose carbamate spinning has already been demonstrated on an industrial scale [1].

As both derivatives are soluble in alkali, we investigated the possibility of combining both cellulose derivatives in solution, shaping them into man-made cellulosic fibers (Fig. 1), and characterizing the resulting filaments.

Time sweeps were conducted in order to investigate the effect of the sodium cellulose xanthate and cellulose carbamate ratio in solution on the gelification behavior from a rheological point of view (Fig. 2). The carbamate solution exhibits a cross over point for storage modulus G' and loss modulus G'' after 30 minutes, whereas the mixture does not show a significant change in G' and G''. Due to a partial substitution with viscose, a significant increase can be achieved with respect to the stability of the solution, which mainly contains cellulose carbamate. This enables the spinning dope to be stored and the spinning process to occur at room temperature.

For the wet-spinning process, the solutions were tempered at 20 °C and transported by a spinning pump to the spinning nozzle. The spinning bath consisted of 80 g/L of sulfuric acid and 120 g/L of sodium sulfate in water at 40 °C. The resulting bundle of fibers was drawn from the nozzle by a take-up roller, which delivered the yarn to the decomposition bath. Subsequently it was washed on Nelson gallets and dried under isometric conditions using drying gallets followed by the binding.

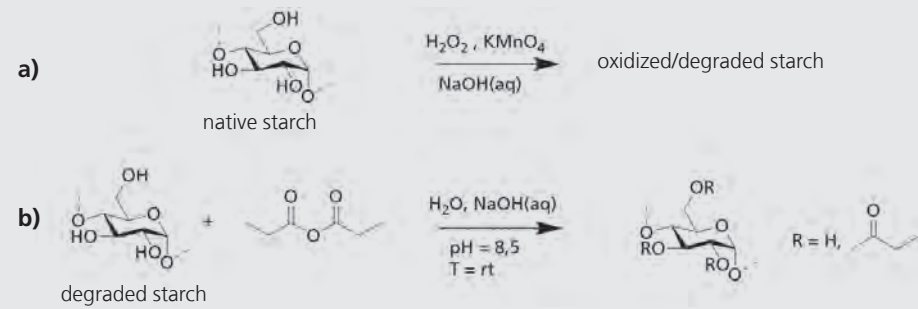
The mechanical properties in Fig. 3 clearly show that the partial use of sodium cellulose xanthate in a cellulose carbamate-based spinning solution enables a more balanced ratio between the tenacity and the elongation at break compared to pure cellulose carbamate. When 28 weight percent of CS<sub>2</sub> are used to produce one ton of viscose-based regenerated cellulose fibers, this reduces the amount of CS<sub>2</sub> used to 9.3 weight percent per ton of man-made cellulose fibers. At the same time the fiber properties are highly variable due to the polyelectrolyte structure of the solution composition described above. |



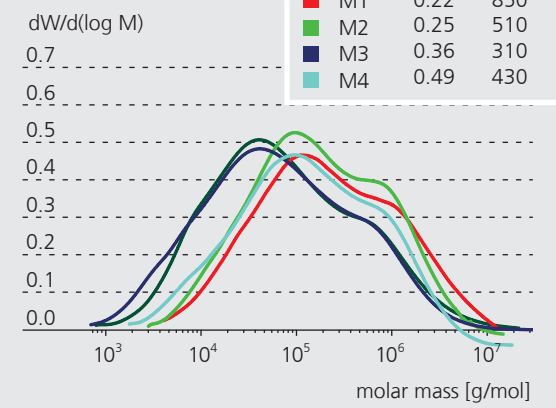
Dr. André Lehmann  
Telefon +49 331 568-1510  
andre.lehmann@iap.fraunhofer.de



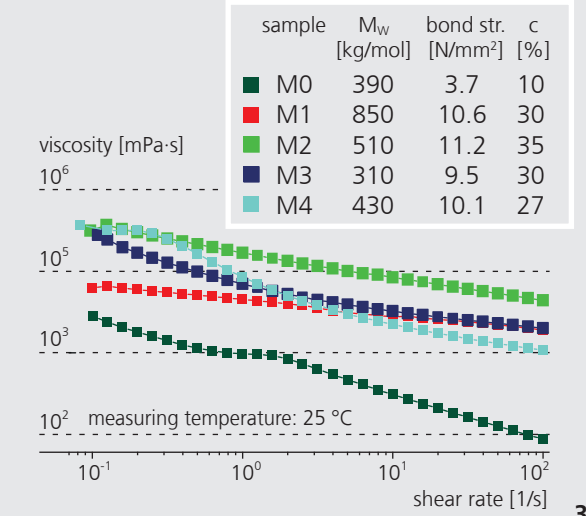
- 1 Synthesis pathway via a) manganese catalyzed oxidation and b) esterification reaction.
- 2 Molar mass distributions of different oxidatively degraded pea starch propionates with good processability (determination of the molar mass after total hydrolysis of the esters).
- 3 Shear viscosity of dispersions from the starch derivatives with bonding strength on birch wood at suitable concentrations.



1



2



3

## HOLZKLEBSTOFFE AUS STÄRKE

**Klebstoffe auf Stärkebasis** werden, z. B. bei der Herstellung von Wellpappe oder Papier-tüten, in der Verpackungsindustrie und für Zwecke wie Flaschenetikettierung, Tapetendeko-ration oder Klebestifte industriell eingesetzt. Viele optimierte Stärke- und Dextrinprodukte sind bereits auf dem Markt erhältlich.

Eine andere Situation ergibt sich im Bereich der Holzverklebungen. Vorwiegend syntheti-sche Klebstoffe werden in Holzwerkstoffen wie Möbeln, Böden oder in anderen Bauproduk-ten für den Innenbereich eingesetzt. Dabei hat die Verklebung von Holzteilen grundsätzlich ein großes Potenzial für wasserdispergierte biobasierte Klebstoffe, da die kapillare Wirkung des Holzuntergrunds dem Trocknungsprozess zugutekommt.

Die Fraunhofer-Institute IAP und IFAM untersuchten das Potenzial von Stärkederivaten als Holzklebstoff mit Industriepartnern in einem gemeinsamen Projekt. Die Abhängigkeiten der Klebkraft von der chemischen Struktur und den physikalischen Eigenschaften von Stärke-propionaten wurden im ersten Schritt unter Berücksichtigung der folgenden Anwendungs-kriterien untersucht:

- Anwendungskonzentration > 30 Prozent
- Wasserdispergierbarkeit
- ausreichende Haftung auf Buchenholz nach der genormten Prüfung DIN EN 204
- technische Verarbeitbarkeit hinsichtlich Viskosität und Kohäsion

Die Synthese von Kartoffel- und Erbsenstärkepropionatproben wurde mit verschiedenen Stärkeabbauverfahren kombiniert. Hochmolekulares Stärkepropionat wurde im ersten Weg durch  $\alpha$ -Amylase abgebaut. Im zweiten Weg wurde Stärke durch eine Mangan-katalysierte Oxidation abgebaut und anschließend verestert (Fig. 1). Aus den Proben wurden wässrige Dispersionen mit einer Konzentration im Bereich von 25 – 45 Prozent hergestellt. Die Proben beider Synthesewege bestanden die D1 Kriterien mit Werten der Zugscherfestigkeit von 10 MPa.

Im Folgenden werden einige Ergebnisse der Produkte aus Weg zwei vorgestellt. Als hin-sichtlich der Verarbeitung optimale Molmasse wurde dafür ein Bereich von  $10^5$  –  $10^6$  g·mol<sup>-1</sup> ermittelt (Fig. 2, 3). Die Viskosität betrug  $10^3$  –  $10^5$  mPa·s. Eine hohe Klebkraft zeigten Produk-te mit hoher Wasserlöslichkeit. Die D2-Norm unter Berücksichtigung der Wasserbeständigkeit wurde bei den stärkebasierten Proben ohne Additivierung allerdings nicht erfüllt.

Die Veresterung der Proben war nicht nur zur Verhinderung von Retrogradation und zur Einstellung der Viskosität nötig, sondern wirkte sich auch auf eine verbesserte Klebkraft aus (Fig. 3). Die besten Ergebnisse bei hochkonzentrierten wässrigen Dispersionen wurden durch Proben mit einem Substitutionsgrad von 0,2 – 0,5 erzielt.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Testprodukte identifiziert, die in einem indus-triellen Anwendungstest zum Furnierverleimen eingesetzt wurden. In Zugversuchen an den Furnieren nach DIN EN 311 wurde der Zielwert von > 0,6 MPa unter Holzbruch erreicht. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial von stärkebasierten Klebstoffen für die Holzverklebung. |

## WOOD ADHESIVES FROM STARCH

**Starch-based adhesives** are used industrially, e. g. to manufacture corrugated cardboard or paper bags, as well as in applications such as bottle labeling, wallpaper decoration and glue sticks. There are also many optimized starch and dextrin products available on the market for use as adhesives in the packaging industry.

Another situation arises in the field of wood bonding. Synthetic adhesives are primarily used in wood-based materials such as furniture, floors and other building products used in interior applications. The bonding of wooden parts provides good opportunities for water-dispersed biobased adhesives since the capillary effect of the wooden substrate is beneficial for the drying process.

The Fraunhofer Institutes IAP and IFAM investigated the potential of using starch deriva-tives in wood adhesives as part of a joint project with industrial partners. In an initial step, the impact of the chemical structure and physical properties of the starch propionates on the wood compound strength were investigated taking the following application criteria into consideration:

- application concentration > 30 percent
- water dispersibility
- good adhesion to beech wood based on the standardized test DIN EN 204
- technical processability with respect to viscosity and cohesion

The synthesis of potato and pea starch propionate samples was combined with vari-ous starch degradation methods. High-molecular starch propionate was first degraded by  $\alpha$ -amylase. In the second pathway, starch was degraded by manganese catalyzed oxidation and then esterified (Fig. 1). Aqueous dispersions with concentrations ranging from 25 – 45 percent were prepared from the samples. Samples of both synthesis routes passed the D1 criteria with tensile shear strength values of 10 MPa.

Some results of the products from pathway two are presented below. A range of  $10^5$  –  $10^6$  g·mol<sup>-1</sup> was determined to be the optimum molar mass for processing (Fig. 2, 3). The viscosity was  $10^3$  –  $10^5$  mPa·s. However, when water resistance was taken into account, the D2 standard was not met in the starch-based samples without additives.

The esterification of the samples was not only necessary to prevent retrogradation and to adjust the viscosity, it also improved the adhesive strength (Fig. 3). Samples with a degree of substitution of 0.2 – 0.5 achieved the best results for highly concentrated aqueous dispersions.

Test products were identified in the course of the investigations which were used in an industrial application test for veneer gluing. In tensile tests on the veneers, conducted according to DIN EN 311, the target value of > 0.6 MPa was achieved under wood break-age. The results show the potential of starch-based adhesives for wood bonding. |



**Dr. Jens Buller**  
Telefon +49 331 568-1478  
jens.buller@iap.fraunhofer.de

# FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME

## FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

- 54 Funktionswerkstoffe und Technologien**  
Functional materials and technologies
- 58 Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 62 Technische Beschichtungen für  
additiv gefertigte Kunststoffteile**  
Technical coatings for additive manufacturing
- 64 Lithiumionen-Batterie-Elektroden  
werden 3-dimensional**  
Lithium ion battery electrodes  
become 3-dimensional

*Dipl.-Ing. Stefan Kröpke an der ESJET-Druckmaschine.  
Dipl.-Ing. Stefan Kröpke at the ESJET printing press.*





# FUNKTIONSWERKSTOFFE UND TECHNOLOGIEN

Wir entwickeln Materialien mit speziellen optischen und elektrischen Eigenschaften sowie Prozesse, Technologien und Konzeptionen für kundenspezifische Anwendungen. Das Angebotsspektrum reicht von der Material- und Technologieentwicklung bis zu Prozesskontrolle und Analyseverfahren als Serviceleistung. Ziel unserer Forschung ist es, anwendungstaugliche Verfahren zu entwickeln, die den realen Produktionsbedingungen unserer Kunden nahe kommen.

## Realitätsnahe Entwicklung neuer Bauelemente und Anwendungen in der Pilotanlage

Im Anwendungszentrum für Innovative Polymertechnologien werden verschiedene Dünnschichttechnologien für Photovoltaik und für organische Leuchtdioden (OLED) evaluiert. Die Pilotanlage erlaubt es, wesentliche Schritte zur Entwicklung produktionsstauriger 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 Verkapselung der Bauelemente ausgerüstet. Diese Technologieentwicklung ist eng mit den verschiedenen Materialentwicklungen und der Entwicklung weiterer Technologien, bspw. zur Veränderung von Oberflächeneigenschaften und zur Herstellung von Sensoren und Aktoren verbunden.

## Neue Materialsysteme

Die organische Synthesechemie ist ein zentraler Bestandteil unserer Materialentwicklung. Wir entwickeln maßgeschneiderte Lösungen, um Technologien der Bauelementherstellung voran zu bringen und zu unterstützen. Im Fall von 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 eingesetzt werden können. In einem anderen Forschungsgebiet werden photoaushärtbare, polymere Materialien für die additive Fertigung für medizinische und textile Applikationen entwickelt. Die Materialentwicklung ist auf unterschiedliche Fertigungsverfahren gerichtet:

- Tinten für Inkjet- und Dispersionstechnologien,
- Harze für Stereolithographie (STL) und Multiphotonenpolymerisationen bis hin zu
- Pasten für Extrusionsverfahren.

## 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 gehören 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 hierbei sind 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 kontrolliert werden. Es können Partikel hergestellt werden, deren Emission praktisch den gesamten sichtbaren und nahen infraroten Spektralbereich abdecken. Diese einzigartigen Eigenschaften ermöglichen den Einsatz in verschiedensten Anwendungsbereichen, wie etwa als Leuchtstoffe, für die Herstellung von LEDs mit maßgeschneiderten spektralen Emissionscharakteristika, in der Displaytechnologie, für die Upconversion 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. Es werden neue Verfahren erprobt, um cadmiumfreie QDs mit umweltfreundlichem Indiumphosphid für die LED/OLED- und Displaytechnologie sowie mit infrarotaktivem Kupferindiumsulfid für die Effizienzsteigerung in Solarzellen bereitzustellen.

## Sensoren und Aktoren

Die Entwicklung organischer oder hybrider Wandler konzentriert sich auf die Themenfelder der elektromechanischen und kapazitiven Sensoren und Aktoren, sowie der Nanocompositsensoren, z. B. für das Detektieren von Magnetfeldern oder Feuchte. Als elektromechanische Wandler werden piezoelektrische Polymere und Composites, 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. Der Einsatz von Quantenpunkten in der medizinischen Diagnostik ermöglicht aufgrund der herausragenden photophysikalischen Eigenschaften dieser 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 (Verpackungen), 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 und mit Polymeren entwickelt. Insbesondere werden kombinierte Prozesse genutzt, bei denen die hervorragenden Eigenschaften elektrischer Entladungsplasmen für die Aktivierung inerte Oberflächen mit Gasphasen und Nasschemie verbunden wird, um mit hoher Produktivität Oberflächen mit wohl definierter chemischer Struktur herzustellen. Gegenwärtig zielen unsere Entwicklungen bspw. auf eine kostengünstige und breit einsetzbare antimikrobiell wirkende Verpackungsfolie für die Lebensmittelindustrie, neuartige Effekte bei der Beflammung von Polymeren, Oberflächentechniken für den Einsatz bei der additiven Fertigung und Inline-Prozesskontrolle für die Herstellung dünner Polymerschichten bei Lackier- und Extrusionsprozessen.

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

We develop materials with special optical and electrical properties as well as processes, technologies and concepts for customer-specific applications. Our range of services extends from the development of materials and technologies, to process control and analytical methods. The aim of our research is to develop application-suitable processes that approximate the real production conditions of our customers.

## Development of new components and applications under realistic conditions in the pilot plant

Various thin-film technologies for photovoltaics and organic light-emitting diodes (OLEDs) are evaluated in the Application Center for Innovative Polymer Technologies. The pilot plant enables us to carry out essential steps in the development of production-ready processes to manufacture such components. The largely automated processes have a higher productivity and better process consistency than manual manufacturing methods. In addition to modern printing techniques (ink jet, slot die) and evaporation units, the plant is equipped with a module for direct thin-film encapsulation using ALD (atomic layer deposition) and a unit for encapsulating the components. The development of this technology is closely linked to the development of various materials and other technologies, for example those used to alter surface properties and to manufacture sensors and actuators.

## New material systems

Organic synthesis is a key component in our development of materials. We develop tailor-made solutions to further advance and support component manufacturing technologies. In the case of OLEDs, new material systems are being developed that contain structurally optimized transport and emitter molecules in the main polymer chain. By incorporating appropriate functional units, these polymers can be thermally or photochemically crosslinked after layer formation to stabilize the layer for further processing. Tailor-made conjugated absorber polymers are developed for use

in organic photovoltaics and formulated for printing processes. In the field of energy storage we are developing new sulfonated block copolymers based on heteroaromatic monomers that can be used to produce cost-effective proton-conducting membranes. We are also developing solid polymer electrolytes for various battery systems. Elastomer materials are chemically modified to produce actuators that can be used at significantly lower voltages. In another area of research, photocurable polymeric materials are being developed for the production of additives for medical and textile applications. Materials are developed for use in various manufacturing processes:

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

## Thermochromic materials

Thermochromic materials exhibit constant or sudden color changes as a result of a change in temperature. The colors, their intensities and the transition temperature can be specifically adjusted for these thermochromic polymer materials. Our development work focuses on color-selective thermochromism in thermosets, thermoplastics, coatings (including casting resin systems) and highly transparent hydrogels. Technological research is being conducted on the extrusion of thermoplastic systems that can be rapidly transferred to industrial processes. In addition to being used as temperature sensors, thermochromic and thermotropic polymers are also used to improve the energy efficiency of solar technology and in security technology. The focus here is on active sun protection in buildings and preventing the overheating of solar collectors.

## Quantum dots (QDs)

Quantum dots are a class of nanomaterials whose absorption and emission properties are controlled by adjusting the particle size and passivating the particle surface. Particles can be produced whose emission extends across the entire visible

spectrum up to the near infrared range. These unique properties enable them to be used in a wide range of applications, for example, as phosphors for producing LEDs with tailored spectral emission characteristics, in display technology, for upconversion in photovoltaics, as security features on banknotes, and in sensors. The functionalization of the particle surface means QDs are well-suited for analytics and bioanalytics. Due to their better stability and superior photophysical properties, QDs can replace conventional fluorophores, improving the sensitivity and reliability of the analytical procedures. New methods are being tested to produce cadmium-free QDs using environmentally friendly indium phosphide for LEDs/OLEDs and display technology, and using infrared-active copper indium sulfide which increases efficiency in solar cells.

## Sensors and actuators

The development of organic or hybrid transducers focuses on electromechanical and capacitive sensors and actuators, as well as nanocomposite sensors that can detect magnetic fields or moisture. As electromechanical transducers, piezoelectric polymers and composites, such as traditional ferroelectrics or novel ferroelectrets, are investigated, processed and adapted for applications in tactile sensor arrays, impact detectors, ultrasonic transducers and sensors for energy generation. New dielectric elastomers are being developed as actuators (DEA), sensors and generators, which enables the operating voltage of the actuator to be reduced as a result of a significantly higher permittivity. Such elastomers are processed as thin films with stretchable electrodes and then used as flat or stack actuators.

Novel luminescent materials are used in optical sensors, enabling tailor-made solutions for different measuring applications. High-performance optical sensors are further enhanced through specially developed materials. The outstanding photophysical properties of quantum dots allow them to be used in medical testing to simultaneously determine the concentrations of several biomarkers in the picomolar range.

## Surface functionalization and analytical methods

Adapting surface properties opens up many new areas of application for polymer materials. Surface activation makes it possible to print onto polyethylene films (packaging), adhesively bond polypropylene (chip cards) and coat polymer surfaces. These properties are determined by the chemical composition of the nanometer-thin surface layer. To do this, nanotechnologies that specifically adjust the surface properties are being developed from and with polymers. Processes combine the outstanding properties of electric discharge plasmas for activating inert surfaces with gas phases and wet chemistry to efficiently produce surfaces with a well-defined chemical structure. At present, our developments focus on a cost-effective and widely applicable antimicrobial packaging film for the food industry, new kinds of effects in the flame treatment of polymers, surface technologies used in the production of additives, and inline process control for the production of thin polymer layers in coating and extrusion processes.

All technological developments in this field are backed by sophisticated analytical methods which we provide as a service to our customers. |



# 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
- ionenleitenden Polymeren
- lumineszierenden Quantum Dots
- organisch-anorganischen polymeren Nanocompositen
- photochromen Polymeren
- photolumineszierenden Polymeren
- photosensitiven- bzw. photostrukturierbaren Elastomeren
- photovernetzbaren 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
- elastisch abstimmbare Volumen- und Oberflächenreliefgitter
- elektrisch schaltbare Volumen-Bragg-Gitter
- Fluoreszenzkollektoren für die Photovoltaik
- holographisch erzeugte Oberflächenreliefgitter in Polymermaterialien
- holographische Volumengitter in Polymermaterialien
- Lichtsender und -empfänger
- optische Datenspeicher
- permanente Oberflächenreliefgitter in festen und weichen Polymermaterialien
- permanente Oberflächenreliefgitter mit Metallbeschichtung
- polarisationssensitive permanente Gitter
- polymere Elektrete als Ladungsspeicher
- polymere Elektrete für Sensoren und Aktoren

- protonenleitende Membranen
- schaltbare Polymere/Kolloide
- spektrale Lichtwandler zum Nachweis von UV-Licht
- strukturierte biofunktionale Oberflächen
- thermoschaltbare Oberflächen

## Bauelemente

- DEAs, dielektrische Elastomer-Aktoren
- DEAs in Kombination mit organischen Oberflächenreliefgittern
- EAP, elektro-aktive Polymere
- flexible Elektroden
- künstliche Blutgefäße
- OFET, Organische Feldeffekttransistoren, und Dioden
- OFET-Ansteuerung von OLED-Pixeln
- OLEDs, Organische Leuchtdioden
- OLED-Beleuchtung
- OLED-Passiv-Matrix-Displays
- OLED-Signage-Displays
- OPVs, Organische Photovoltaikzellen, und -module
- organische DFB-Laser auf Basis dünner Farbstoff-dotierter Oberflächenreliefgitter
- polymerbasierte holographische Oberflächenrelief- und Volumengitter, Polarisationsgitter, elastische Gitter
- piezoelektrische Sensoren und Aktoren
- piezochrome Sensoren
- pyroelektrische Sensoren

## Oberflächentechnik

- Anti-fogging-Schichten
- berührungslose Grenzflächenstrukturierung
- strukturierte Aktivierung von Oberflächen
- funktionale Beschichtungen
- hydrophile oder hydrophobe Oberflächen
- Immobilisierung von biologisch aktiven Substanzen auf polymeren Oberflächen
- biozide Oberflächen für Folien oder Textilien
- inline-Prozesskontrolle für Beschichtungsprozesse
- klebstofffreies Verbinden
- Metallisierung von Polymeren
- Oberflächen- und Dünnschichtanalytik
- Photo-Strukturierung
- Replikationstechnologie und Funktionalisierung
- Rolle-zu-Rolle-Verarbeitung von Polymerfolien
- Stimulus-responsive (schaltbare) Oberflächen
- wasserabweisende Textilien

## Weitere Beispiele

- Drucken funktionaler Materialien mittels Inkjet-Druck, Slot Die Coating, Tiefdruck für OLED, OPV, ...
- ESJET Druck
- Charakterisierung der chemischen Struktur, der Topographie und makroskopischer Eigenschaften
- Charakterisierung von Kolloiden und Nanopartikeln
- elektronisches Wasserzeichen
- fälschungssichere Markierung von Polymermaterialien
- Fluoreszenzschichten für die Sensortechnik
- Funktionalisierung von Pulvern
- holographische Verfahren für Polymerstrukturierung mit UV- und VIS-Licht
- Messung der Wasserdampftransmission durch Polymere und Barrierschichten
- Molmassencharakterisierung von Polymeren
- OLED-Lebensdauererprobung
- OLEDs als Sicherheitsmerkmal

- OPV-Lebensdauererprobung
- photobiozide Beschichtungen für den Pflanzenschutz
- Photolithographielinie zur Strukturierung
- Schäumen von Polymeren
- Test, Verarbeitung und Optimierung kommerzieller holographischer Materialien



**FORSCHUNGSBEREICHSLER**  
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. 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

**Sensoren und Aktoren**  
Sensors and Actuators

**Dr. Michael Wegener**

Telefon +49 331 568 - 1209  
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
- photoluminescent polymers
- photosstructurable elastomer materials
- photocrosslinkable polymers
- 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
- elastomer-based tunable stretchable volume and surface relief gratings
- electrically switchable tunable volume Bragg gratings
- holographically produced surface relief gratings in polymers
- holographically produced volume diffraction gratings and elements in polymer materials
- layers for optical data storage
- light sources and receivers
- luminescent solar concentrators
- organic surface relief gratings with metal coating
- permanent surface relief gratings in solid and elastic polymers
- polarization sensitive thin-film grating
- polymer electrets for charge storage
- polymer electrets for sensors and actuators

- proton conducting membranes
- switchable polymers and colloids
- spectral light converter for the detection of UV-light
- structured biofunctional surfaces
- thermoswitchable surfaces

## Components

- artificial blood vessels
- DEAs, dielectric elastomer actuators
- DEA in combination with thin-film surface relief gratings
- EAP, electro-active polymers
- 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
- OPV, organic photovoltaic cells and modules
- organic DFB laser with laser dye doped thin-film surface relief gratings
- piezoelectric sensors and actuators
- piezochromic sensors
- polymer surface relief and volume gratings, polarization gratings, elastic surface relief and volume gratings
- pyroelectric sensors

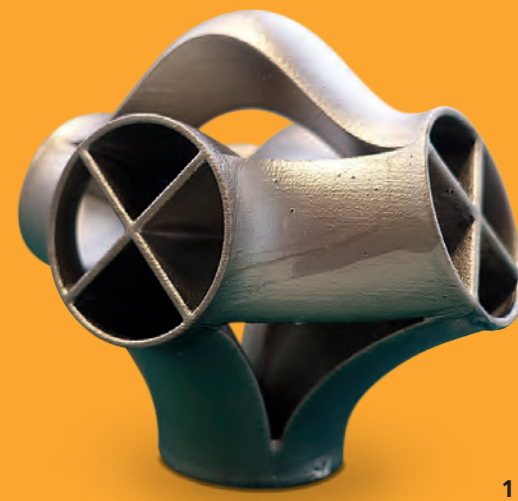
## Surface technology

- adhesive-free bonding
- anti-fogging coatings
- biocidal surfaces for films or textiles
- 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
- inline process control for organic coating processes
- metalization of polymers
- replication replication technology and functionalization
- roll-to-roll processing of polymer films
- stimulus-responsive (switchable) surfaces
- surface and thin-film analysis
- structured activation of surfaces
- water repellent textiles

## More examples

- 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 method for structuring of polymer materials with UV and VIS (532 nm) light
- 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
- printing of functional materials by means of inkjet printing, Slot Die Coating, gravure printing for OLED, OPV, ...
- testing, processing and optimization of commercial holographic materials





- 1 SLS part made from PA 12 coated with a smoothing lacquer coating and metalized with nickel.
- 2 Activation of sintered polymer with a flame pulse (reaction with poly(ethylene imine) and tropaeolin stain, black line = 1 mm).

## TECHNISCHE BESCHICHTUNGEN FÜR ADDITIV GEFERTIGTE KUNSTSTOFFTEILE

### Förderung Funding

CORNET, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, AIF, Berlin, IGF 166EBR

### Kooperationen Collaborations

Sirris, Belgium

**Additive Fertigung (AF)** erlaubt die Herstellung von Prototypen komplexer Kunststoff- und Metallprodukte in kurzer Zeit. Mehr und mehr werden diese Verfahren auch zur Herstellung von Kleinserien eingesetzt. Die industrielle, über Prototypen hinausgehende Anwendung stellt neue Anforderungen an die Qualität der so gefertigten Produkte. Die Oberflächenqualität ist ein Problemschwerpunkt, der bei einer ganzen Reihe von AF-Verfahren auftritt. Eine manuelle Nachbearbeitung ist in vielen Fällen gegenwärtig notwendig.

Die Oberflächentechnik kann dazu beitragen, Probleme bei der additiven Herstellung von Produkten zu beheben. Darüber hinaus kann eine Beschichtung, die die Rauigkeit vermindert, auch zusätzliche Funktionen wie verbesserte Kratzfestigkeit, antimikrobielle Eigenschaften oder Metallisierbarkeit mitbringen (Fig. 1). Für die Untersuchungen am Fraunhofer IAP wurden bei Sirris in Belgien hergestellte Beispielprodukte verwendet:

- lasergesintertes (SLS) Polyamid 12,
- mittels Stereolithographie (SLA) hergestellte Teile aus transparentem Epoxidharz und
- durch Material Jetting (MJ) hergestellte Teile aus Polyacrylatharz.

Die chemische Zusammensetzung der Oberfläche ist wichtig für die Haftung von Beschichtungen. Die Analyse der Oberflächen mit Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) ergab deutliche Hinweise auf die Degradation der Polymere und eine heterogene Verteilung der chemischen Zusammensetzung über die Oberfläche. Die Degradation durch die thermische (SLS) bzw. Strahlungsbelastung (SLA, MJ) während der Herstellung ist eine plausible Erklärung. Auch die Heterogenität liegt darin begründet. Jedoch sind weitere Parameter im Detail zu berücksichtigen.

Für eine gute Haftung von Beschichtungen auf Polymeren ist häufig eine Aktivierung z. B. durch Plasmen (elektrische Entladung) notwendig. Komplexe Formen additiv gefertigter Teile können hier eine Herausforderung darstellen. Es wurden Niederdruckplasmen, insbesondere auf ihre Spaltgängigkeit untersucht. Es zeigte sich, dass damit auch komplexe Geometrien und poröse Strukturen gut aktiviert werden können. Poren in Bauteilen aus gesintertem Polymerpulver können bis zu einigen Millimetern Tiefe behandelt werden.

Für eine lokal begrenzte Aktivierung der Oberflächen wurden Mikroflammen verwendet. Die in der Flamme erzeugten reaktiven Gase sind für die Aktivierung der Oberfläche, auch von porösen Teilen gut geeignet, wobei die Penetrationstiefe kleiner als bei Niederdruckplasma ist (Fig. 2).

Aufgrund der Größe der Rauigkeiten von bis deutlich über 100 µm bei SLS-Produkten sind dicke Schichten nötig, um diese auszugleichen. Das kann am besten mit einer Lackierung realisiert werden. Dabei fanden die Kollegen von Sirris, dass Lackieren allein nicht zu befriedigenden Ergebnissen führt. Am besten ist es, Lackierung und Polieren zu kombinieren, wobei optimierte Lacke das Polieren deutlich vereinfachen und verkürzen. |

## TECHNICAL COATINGS FOR ADDITIVE MANUFACTURING

**Additive manufacturing (AM)** allows prototypes of plastic and metal products to be produced rapidly with complex shapes. These processes are also increasingly being used to manufacture small series. Industrial applications, which go beyond prototypes, place new demands on the quality of the products manufactured in this way. Surface quality is currently a problem with a whole range of AF technologies. In many cases, manual post-processing is unavoidable.

State-of-the-art surface technology can contribute to tackling the challenges in industrial scale additive manufacturing. Not only that: A coating that reduces roughness can also provide additional functions such as improved scratch resistance, antimicrobial properties or metalizability (Fig. 1).

For our investigations we used sample products manufactured by our colleagues at Sirris in Belgium:

- laser-sintered (SLS) polyamide 12,
- transparent epoxy resin parts manufactured by stereolithography (SLA) and
- polyacrylate resin parts manufactured by material-jetting (MJ).

The chemical composition of the surface is important for the adhesion of the coatings. An analysis of the surfaces with X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) showed clear indications of the degradation of the polymers and a heterogeneous distribution of the chemical composition over the surface. Degradation resulting from thermal (SLS) or radiation exposure (SLA, MJ) during production is one plausible explanation. Heterogeneity also certainly is a result of this. However, further parameters have to be considered in detail.

Activation e. g. by plasma (electrical discharge) is often necessary to achieve a good coating adhesion onto polymers. The often complex shape of parts produced by AM can be a challenge. Low-pressure plasmas were investigated because they are known to permeate well into pores and trenches. It was shown that even complex geometries and porous structures can be readily activated. Pores in components made of sintered polymer powder can be treated up to a depth of a several millimeters.

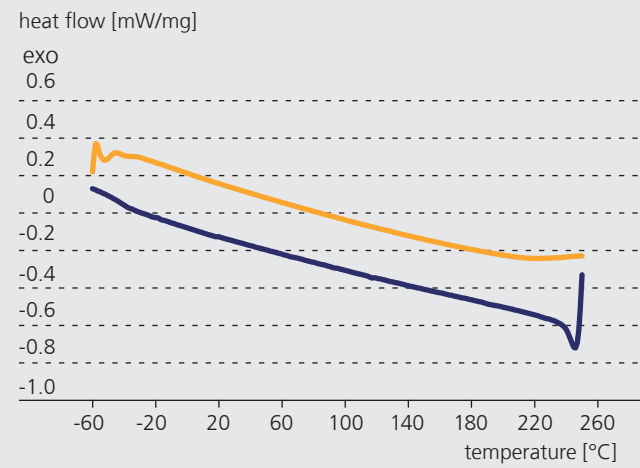
Micro-flames were used to locally activate the surfaces. The reactive gases produced in the oxygen-rich flame are well suited for activating the surface, even of porous parts. However, penetration is not as deep as with low-pressure plasma (Fig. 2).

Due to the considerable roughness of SLS products, which is often well over 100 µm, thick layers are necessary to obtain a smoother surface. This can best be achieved with lacquering. Our colleagues at Sirris found that lacquering alone does not achieve satisfactory results and that it is best to combine lacquering and polishing. Optimized lacquers significantly simplify and shorten the polishing process. |

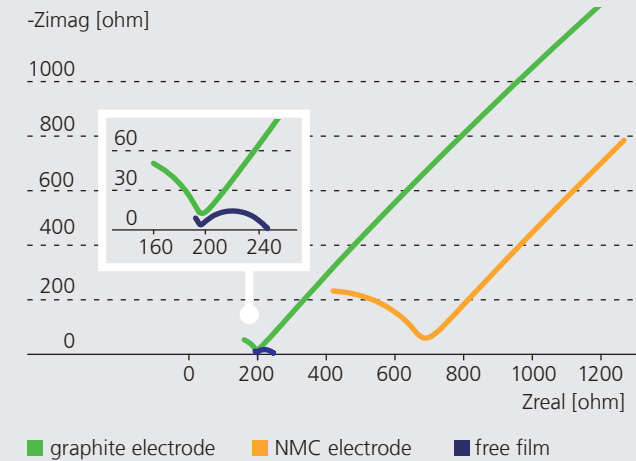


**Dr. Andreas Holländer**  
Telefon +49 331 568-1404  
andreas.hollaender@iap.fraunhofer.de

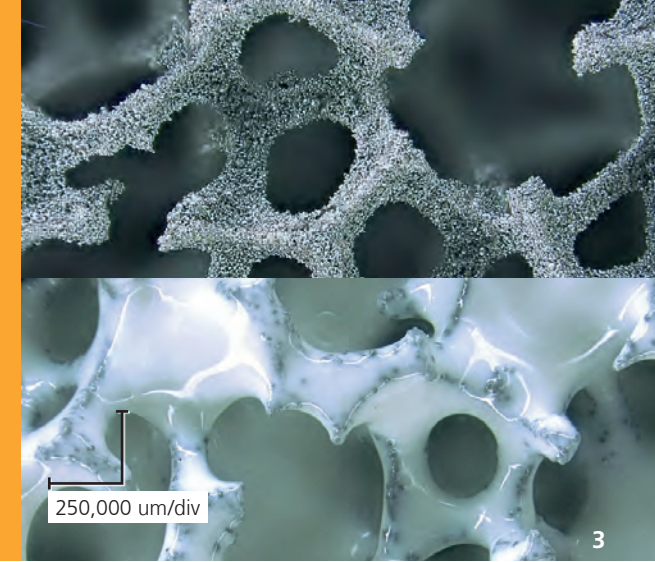
- 1 DSC spectrum of the solid polymer electrolyte material measured at 5 K/min. No melting or crystallization peaks observed.
- 2 Nyquist plot curves of electrodes coated on one side and free film with solid electrolyte in graphite/NMC lithium ion battery systems.
- 3 Open-pore nickel foam as a conductor uncoated (above) and coated with Fraunhofer IAP solid electrolyte substrate.



1



2



3

## LITHIUMIONEN-BATTERIE-ELEKTRODEN WERDEN 3-DIMENSIONAL

Im Verbundprojekt **Batt3D** erforscht das Fraunhofer IAP gemeinsam mit den Projektpartnern Alantum Europe GmbH, Smart Battery Solutions GmbH, der Hochschule Osnabrück, Sema Gesellschaft für Innovationen mbH, Jahnke GmbH, VARTA Microbattery GmbH und dem Fraunhofer IFAM an innovativen, dreidimensionalen, offenporigen Elektrodenstrukturen für Solid-State Lithiumionen-Batterien, um den Anforderungen an Lithiumionenbatterien der nächsten Generation gerecht zu werden. Die Anforderungen an diesen Batterietyp sind deutlich höhere Energie- und Leistungsdichten mit höchster Eigensicherheit, hoher Zuverlässigkeit über die gesamte Lebensdauer sowie Kostenrentabilität.

Polyethylenglycol PEG wird heute als Fest- bzw. in Kombination mit den leicht flüchtigen und explosiven Lösungsmitteln als Gel-Elektrolyt in polymeren Lithiumionen-Batterien auf Grund seiner relativ hohen Lithiumionenleitfähigkeit bei niedrigen Prozesskosten verwendet. PEG besitzt die Fähigkeit ein ideales Solid Electrolyte Interface (SEI) zwischen graphithaltiger Anode und dem Elektrolyten auszubilden, das den Ionentransfer zwischen den Grenzflächenbarrieren minimiert. Nachteilig wirkt sich die hohe Kristallinität aus, die die Ionenleitfähigkeit herabsetzt und bei Temperaturen > 60 °C eine Phasenumwandlung erfährt und so ihre schützende separierende Eigenschaft verliert [1, 2].

Das Fraunhofer IAP entwickelte ein PEG-haltiges hochamorphes vernetztes Polymer, das die Nachteile des kommerziellen Pendanten ohne Einbußen bei den Lithiumionenleitfähigkeiten beseitigt. Es wurde ein Festelektrolyt erhalten, welches sich im DSC bei Temperaturen bis über 250 °C stabil zeigt (Fig. 1). Impedanzmessungen bei Raumtemperatur an planen, kommerziell erhältlichen Elektrodenmaterialien zeigten bereits eine Ionenleitfähigkeit von über  $8 \cdot 10^{-5} \text{ S/cm}$  (Fig. 2) [3].

Auf einem offenporigen Nickelschaum der Stromableiter- und gleichzeitig Substratoberfläche für die kathodischen Aktivmaterialien darstellt, wurde dieser Festelektrolyt aufgebracht. Zunächst lag dieser in flüssiger Form vor und wurde mittels Vakuumlackierung auf die offenporige Schaumoberfläche appliziert (Fig. 3) und in einem UV-Aushärtungsschritt hermetisch versiegelt.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass es gelungen ist einen PEG basierenden Festelektrolyt zu entwickeln, der die Nachteile der Temperaturstabilität der auf dem Markt befindlichen polymeren Festelektrolyte beseitigt und in Zukunft den Bau von sicheren Lithiumionen-Feststoffbatterien ermöglicht. |

## LITHIUM ION BATTERY ELECTRODES BECOME 3-DIMENSIONAL

Fraunhofer IAP has teamed up with Alantum Europe GmbH, Smart Battery Solutions GmbH, Osnabrück University of Applied Sciences, Sema Gesellschaft für Innovationen mbH, Jahnke GmbH, VARTA Microbattery GmbH and Fraunhofer IFAM as part of the joint project Batt3D. The project partners are investigating innovative three-dimensional open-pore electrode structures for solid-state lithium-ion batteries that will meet the requirements of next-generation lithium-ion batteries. This type of battery requires significantly higher energy and power densities, a high level of intrinsic safety, reliability throughout its entire service life, and cost efficiency.

Due to its relatively high lithium ion conductivity and low processing costs, polyethylene glycol PEG is used today in polymer lithium ion batteries as a solid electrolyte or, in combination with volatile and explosive solvents, as a gel electrolyte. PEG has the ability to form an ideal solid electrolyte interface (SEI) between the anode containing the graphite and the electrolyte. This minimizes the ion transfer barriers that occur between interfaces. One drawback of the PEG material used today is its high crystallinity, which reduces the ionic conductivity and produces a phase transformation at temperatures > 60 °C, thereby losing its protective separating property [1, 2].

In this project, Fraunhofer IAP is developing a highly amorphous crosslinked polymer that contains PEG and which eliminates the disadvantages of its commercial counterpart without sacrificing lithium ion conductivity. A solid electrolyte is produced that is stable at temperatures over 250 °C (Fig. 1) and which already guarantees an ionic conductivity of over  $8 \cdot 10^{-5} \text{ S/cm}$  at room temperature (Fig. 2) [3].

This solid electrolyte is applied to an open-pore nickel foam (Fig. 3) which acts as a current conductor and substrate surface for the cathode active materials. Initially it is in liquid form and is applied to the open-pore foam surface by means of vacuum coating. Then it is hermetically sealed in a UV curing step (Fig. 3).

In summary, we have succeeded in developing a PEG-based solid electrolyte that eliminates the disadvantages of temperature stability of the solid polymer electrolytes available on the market and enables the construction of safe lithium ion solid batteries in the future. |



**Dr. Wolfdietrich Meyer**  
Telefon +49 331 568-1442  
wolfdietrich.meyer@iap.fraunhofer.de



# SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK

## SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

- 68 Prozess- und Materialentwicklung**  
Process and material development
- 72 Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 76 Formaldehydfreie Fließmittel für die Bauindustrie**  
Formaldehyde-free superplasticizers for the construction industry
- 78 Facettenreiche Formgedächtnispolymere**  
Multifarious shape memory polymers

*Dr. Mario Walter im Syntheselabor.  
Dr. Mario Walter in the synthesis laboratory.*



## PROZESS- UND MATERIALENTWICKLUNG

Der Forschungsbereich »Synthese- und Polymertechnik« hält umfangreiche Angebote zu den Themen Prozess- und Materialentwicklung vor. Dabei ist ein ausgewogener Mix an Kompetenzen in den Abteilungen »Mikroverkapselung/Partikelanwendungen«, »Polymersynthese«, »Membranen und funktionale Filme« und »Formgedächtnispolymere« vorhanden. Im Jahr 2018 konnte weiter Personal aufgebaut werden. Nun stehen in allen Abteilungen schlagkräftige Teams bereit, deren Aufgabe auch darin besteht, den Ausbau des Leistungsportfolios voranzutreiben. Neben zahlreichen Laboren steht dem Forschungsbereich ein Synthese- und Verarbeitungstechnikum zur Verfügung. Damit ist es möglich, die Kette von der Polymersynthese über eine eventuelle (reaktive) Extrusion oder Compoundierung bis hin zur Herstellung von Halbzeugen wie Folien, Filamenten oder Schläuchen abzubilden und so vielversprechende Laborergebnisse zeitnah auf ihre Praxistauglichkeit zu prüfen.

2018 engagierten sich alle vier Abteilungen in Exzellenzclustern, einer Förderinitiative der Fraunhofer-Gesellschaft. Diese zielen darauf ab, komplementär aufgestellte Institute zusammenzuführen und/oder spezifische Kompetenzen von im selben Themenfeld agierenden Instituten zu führender Stellung zu bündeln, um so die internationale Profilierung eines Themenfelds voranzutreiben. Der Forschungsbereich leistete sowohl fachliche Beiträge im Fraunhofer Cluster of Excellence »Programmable Materials« als auch im Fraunhofer Cluster of Excellence »Circular Plastics Economy«.

Mikroverkapselung, d. h. die Umhüllung von feinteiligen Feststoffen oder von kleinen Flüssigkeitstropfen mit einer polymeren Wand, ist eines der zentralen Arbeitsgebiete der Abteilung »Mikroverkapselung/Partikelanwendungen«. Durch die Vielfalt an verfügbaren Kapseltechnologien und einsetzbaren Kapselwandmaterialien können sehr unterschiedliche Märkte bedient werden. Das spiegelt sich auch in aktuellen F&E-Vorhaben wider, die sich thematisch über die biologische Schädlingsbekämpfung wie hochwirksame Barrieren in kapselbasierten Futterformulierungen, bis zur

dauerhaften Reibungsminimierung von Kunststoffbauteilen (mikroverkapselte Schmierstoffe) erstrecken. Im Rahmen des Fraunhofer Clusters of Excellence »Programmable Materials« werden auf Membranoberflächen fixierbare, mit Wirkstoffen gefüllte Kapseln in variabler Größe entwickelt, die z. B. Membran-Fouling im kontinuierlichen Betrieb der Membranen in der Kombination von physikalischen und chemischen Effekten verzögern sollen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt betrifft die Fortführung der systematischen Untersuchungen zur Eignung von biologisch/in der Umwelt abbaubaren Polymeren als Kapselwandmaterial.

Fortgeführt werden auch die Arbeiten zur Synthese und Anwendung formaldehydfreier Aminoharze (z. B. als Bindemittel in Holzwerkstoffen, Vernetzungskomponente in Einbrennlacken, Fließhilfsmittel für Bauprodukte). Bisherige Ergebnisse zeigen das Potenzial alternativer Aldehyde wie Glyoxylsäure, Glyoxal und insbesondere Glykolaldehyd, aber auch deren Grenzen. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die Marktfähigkeit dieser Harze nachzuweisen.

Innerhalb der sowohl auf material- als auch auf prozesseitige Aspekte ausgerichteten Abteilung »Polymersynthese« erweiterte sich der Fokus über biobasierte Kunststoffe hinaus auf nachhaltige Polymermaterialien allgemein. Eine in diesem Zusammenhang wesentliche Thematik ist die Vermeidung problematischer Substanzen, die idealerweise weder im Syntheseprozess eingesetzt noch während der Lebenszeit eines Produkts emittiert werden sollen. Hier werden Arbeiten zur Entwicklung isocyanatfreier Polyurethane sowohl im Hinblick auf die Diversifizierung der Materialeigenschaften als auch auf die Skalierbarkeit des zugrundeliegenden Polykondensationsprozesses vorangetrieben. Die Entwicklungen zielen dabei vorerst vor allem auf Medizinprodukte. Der neue Prozess führt nicht nur zu Verbesserungen aus toxikologischer Sicht, sondern ist aufgrund des veränderten Mechanismus auch besser kontrollierbar und damit reproduzierbarer. Auch die Entwicklung von wasser- und witterungsbeständigeren 1K-Polyvinylacetat-Holzleimen, die formaldehydfrei sind und

auf hochreaktive und damit toxische Komponenten und saure Härter Salze verzichten, reiht sich in dieses Themengebiet ein.

Die Kombination von nachhaltigen Ressourcen, Rezyklierbarkeit und bei Bedarf Umweltabbaubarkeit innerhalb eines Kunststoffs ist ein hochaktuelles Anliegen, das sich unter anderem in der EU-Kunststoffstrategie vom Januar 2018 wiederfindet. Im Rahmen des Forschungsclusters »Circular Plastics Economy« werden Polymere entwickelt, die diesen Ansprüchen gerecht werden, wobei neue biobasierte Monomere und Additive ebenso untersucht werden wie die Kombination bekannter Bausteine in neuen Polymerstrukturen. Daneben wird auch die Synthese anwendungsoptimierter Polylactid (PLA)-Typen in vereinfachten Syntheseprozessen, ein langjähriger Schwerpunkt der Abteilung, weiterbetrieben. Unter anderem werden im Labor und Technikum erarbeitete Erkenntnisse zur Synthese neuartiger PLA-Typen momentan gemeinsam mit einem Industriepartner auf einer produktionsnahen kontinuierlichen Syntheseanlage verifiziert und weiterentwickelt.

Die Gruppe »Membranen und funktionale Filme« beschäftigt sich mit der ressourceneffizienten Entwicklung und Herstellung von Membranen und Folien. Innerhalb der Membranaktivitäten werden Hohlfasern und Flachmembranen für Gas- und Flüssigkeitstrennung, sowie für die organophile Nanofiltration entwickelt. Zusätzlich wurden F&E-Aktivitäten zur Herstellung von Compositmembranen aus ionischen Flüssigkeiten gestartet, um Material- und Separationseigenschaften zu verstärken und speziell für Gase die Selektivität zu erhöhen. Bei den Folienarbeiten liegt das Augenmerk auf der Veredelung der Oberflächen bestehender Systeme und der Entwicklung unkonventioneller biobasierter Materialien auf Basis von Ölen und Proteinen für die Zielmärkte der Verpackungsindustrie und der Agrarfolien.

Im Fraunhofer Cluster of Excellence »Programmable Materials« erfolgt die Entwicklung von Materialien mit programmierbaren Eigenschaften. Die neuen Membranen agieren als

Sensor und Aktuator in einem und besitzen ein breites Spektrum an Triggern. Für Anwendungen wie das reduzierte Fouling und die Intensivierung des Stofftransports ohne erhöhten Energiebedarf der Filtration werden Membranen in Verbundprojekten entwickelt.

Die Gruppe »Formgedächtnispolymere« ist spezialisiert auf die Synthese, Verarbeitung und Charakterisierung von Formgedächtnispolymeren. Dabei handelt es sich um leistungsstarke Funktionswerkstoffe, die eine im Rahmen einer Programmierung aufgezwungene Form so lange beibehalten, bis sie über ihre Schalttemperatur erwärmt werden und dadurch entropiegetrieben wieder die Ursprungsform annehmen. Die jüngsten Entwicklungen der Abteilung sind von der Synthese neuartiger thermoplastischer Polyurethane gekennzeichnet. Parallel dazu werden Beiträge im Rahmen des Fraunhofer Clusters of Excellence »Programmable Materials« geleistet. Diese zielen darauf, das Grundlagenwissen zu stärken, neue Materialsysteme zu designen und ein Maßschneidern spezifischer Eigenschaften für zukünftige Anwendungen durchzuführen. Als weiteres, wichtiges Thema wird die Integration von Formgedächtnisfunktionalitäten in polymere 3D-Druckmaterialien im Rahmen des Leistungszentrums »Integration biologischer und physikalisch-chemischer Materialfunktionen« vorangetrieben. Dabei konnte die gesamte Wertschöpfungskette vom Monomer bis zum fertig gedruckten Bauteil geschlossen werden. Die mittels Schmelzsichtung hergestellten Druckobjekte können so gestaltet werden, dass sie über filigrane Strukturbestandteile wie maschinell lesbare QR-Codes verfügen. Einsatzchancen bietet der Produktschutz, wo durch eine thermisch induzierbare Formänderung eine Information über die Echtheit eines Produkts preisgegeben werden kann. |





## PROCESS AND MATERIAL DEVELOPMENT

The research division “Synthesis and Polymer Technology” provides a wide range of services in the area of process and material development. A balanced mix of competencies are offered by the divisions “Microencapsulation/Particle Applications”, “Polymer Synthesis”, “Membranes and Functional Films” and “Shape Memory Polymers”. In 2018, more staff could be set up. Now the departments have strong teams ready to expand the service portfolio by tackling process and material development in their respective fields. In addition to a number of laboratories, the research division also has a synthesis and processing pilot plant at its disposal. This makes it possible to simulate the entire value chain, from polymer synthesis via (reactive) extrusion or compounding, to the manufacture of semi-finished products such as films, filaments or tubes, thus enabling promising laboratory results to be tested in real time for their suitability for practical use.

In 2018 all four departments became involved in clusters of excellence, a funding initiative of the Fraunhofer Gesellschaft. These aim to bring together complementary institutes and/or to bundle specific competences of institutes active in the same area of research in order to promote the international profile of this subject area. The research division has contributed to the Fraunhofer Cluster of Excellence “Programmable Materials” and to the Fraunhofer Cluster of Excellence “Circular Plastics Economy”.

Microencapsulation, i. e. the encapsulation of solid fine-particle materials and small liquid droplets inside a polymer wall, is one of the key research areas of the “Microencapsulation/Particle Applications” department. The variety of encapsulation technologies and capsule wall materials enables us to serve a range of different markets. This is also reflected in current R&D projects, which range from organic pest control, such as highly effective barriers in capsule-based feed formulations, to permanently minimizing the friction of plastic components through the use of lubricant-filled microcapsules. Capsules of variable size that can be

attached to membrane surfaces and filled with active substances are being developed within the framework of the Fraunhofer Cluster of Excellence “Programmable Materials”. These capsules are intended, for example, to delay membrane fouling during continuous membrane operation through a combination of physical and chemical effects. A further research focus is the ongoing systematic investigation into the suitability of using biodegradable polymers as capsule wall materials.

Systematic investigations will also continue into the synthesis of formaldehyde-free amino resins (e. g. as binder in wood-based materials, crosslinking components in stove enamels and flow additives for mineral-bonded building products). The results gathered so far show the good potential of alternative aldehydes such as glyoxylic acid, glyoxal and above all glycol aldehyde, but also their limitations. Further extensive testing is needed in order to demonstrate the marketability of formaldehyde-free resins.

In the “Polymer Synthesis” department, which is traditionally oriented towards both materials and processes, focus is being expanded beyond special biobased plastics to include sustainable polymer materials. One important issue related to this topic is the avoidance of problematic substances, which ideally should neither be used in the synthesis process nor emitted during the lifetime of a product. Based on the results of a discover project, work is being carried out on developing isocyanate-free polyurethanes with respect to the diversification of the material properties and the scalability of the underlying polycondensation process. For the time being, developments are primarily focused on medical products. It should be emphasized that the new process not only leads to improvements from a toxicological point of view, the altered mechanism also makes the process easier to control and thus more reproducible. The development of water- and weather-resistant one-component polyvinyl acetate wood glues, which are both formaldehyde-free and contain no highly reactive – and thus

toxic – components or acidic hardener salts, is also being investigated by the division.

Combining sustainable resources, recyclability and, if required, environmental degradability within a plastic material is a highly topical issue that was touched on in the EU plastics strategy from January 2018. As part of the Fraunhofer Cluster of Excellence “Circular Plastics Economy”, polymers are being developed that meet these requirements. New bio-based monomer building blocks and additives are being investigated as well as the combination of known building blocks in new polymer chain structures. The synthesis of application-optimized polylactides (PLA) in simplified synthesis processes, a long-standing focus of the division, is also set to continue. Knowledge gained in the laboratory and pilot plant about the synthesis of novel PLA types is currently being verified and further developed together with an industrial partner in a continuous synthesis plant that simulates real production conditions.

The research conducted in the division “Membranes and Functional Films” focuses on the development of resource-efficient processes for producing membranes and films. The membranes range from hollow fibers to flat membranes used in gas separation, nanofiltration of organic solvents and fuel cells. Research on films focuses on refining the surfaces of existing systems. Additionally, R&D activities for the production of composite membranes from ionic liquids have been initiated in order to enhance material and disperse properties and to increase the selectivity especially for gases. The work on films focuses on the refinement of the surface of existing systems and the development of unconventional bio-based materials based on oils and proteins for the target markets packaging industry and agricultural films.

The Fraunhofer Cluster of Excellence “Programmable Materials” develops new materials with programmable properties. The new membranes act as sensor and actuator in one and have range of triggers. For applications such as

reduced fouling and intensified material transport without increasing energy requirements on the filtration, the membranes are being developed in joint projects.

The division “Shape Memory Polymers” specializes in the synthesis, processing and characterization of shape memory polymers. These are high-performance functional materials capable of maintaining a programmed shape until they are heated above their switching temperature at which shape recovery is triggered as driven by an increase in entropy. The division's latest developments include the synthesis of novel thermoplastic polyurethanes. It is also contributing to the Fraunhofer Cluster of Excellence “Programmable Materials”. Focus is on strengthening basic knowledge, designing new material systems and tailoring specific properties for future applications. Another important topic is the integration of shape memory functionalities in polymer-based 3D printed materials within the framework of the high-performance center “Integration of Biological and Physical-Chemical Material Functions”. In this context, we have succeeded in covering the entire value chain from the monomer to the finished printed component. The objects, which are printed using the fused filament fabrication (FFF) process, can be designed to have filigree structural components. Intensive research is being conducted on machine-readable QR codes. There are also application opportunities in the area of product protection, where information about a product's authenticity is revealed by a thermally induced change in shape. |

# ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

## Polymersynthese

### Produktentwicklung

- Aminoharze (auch formaldehydfrei)
- applikationsbezogene (wässrige) konzentrierte Polymerdispersionen (Hartkugeln, weichverfilmend, 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 Polymer-schmelzen, Dispersionen und Lösungen (Rotations- und Oszillationsrheometer)

## Mikroverkapselung und Partikelanwendungen

### Mikroverkapselung und Partikelsynthese

- Einschlusspolymerisation von Pigmenten, Fluoreszenzmarkern und Wirkstoffen
- morphologiekontrollierte Heterophasenpolymerisation
- Partikelcoating im Wirbelbett
- 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)

## Membranen und funktionale Folien

### Materialsynthese

- funktionale Beschichtung (z. B. antibiotisch)
- proteinogene Filme und Membranen
- REACH konforme Membran- und Foliensynthese
- Smart Packaging
- Synthese von MOFs
- Synthese von IL

### Membranentwicklung

- Herstellung und Charakterisierung von Dünnschicht-Compositmembranen
- Herstellung und Charakterisierung von Flachmembranen und Hohlfasern
- Herstellung und Charakterisierung von Mixed Matrix Membranen

- Herstellung und Charakterisierung von IL-Membran-Compositen
- Membranen für Batterien, Brennstoffzellen, Gas- und Flüssigkeitstrennung
- Messung der Gaspermeabilität von konventionellen und biologischen Polymeren

### Engineering

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

## Formgedächtnispolymere

### Material- und Prozessentwicklung

- Entwicklung programmierbarer, multifunktionaler Polymermaterialien
- Lasergravieren und -schneiden von Polymeren
- Polymerveredelung durch Additivierung
- Synthese von Formgedächtnispolymeren
- Verarbeitung von Formgedächtnispolymeren zu Granulaten, Filmen, Folien, Schaumstoffen, Schläuchen, Filamenten und 3D-Druckobjekten

- Verarbeitung von thermoplastischen Polyurethanen und Polymermischungen im Extrusionsverfahren

### Charakterisierung

- Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Formgedächtnispolymeren (Reißdehnung, Streckspannung und Zugfestigkeit) unter Einsatz eines Universalprüfsystems mit Temperierkammer
- Bestimmung der Shore Härte (A/D)
- Bestimmung des Druckverformungsrestes gem. DIN ISO 815
- Bestimmung der Kugelrückprall-Elastizität DIN ISO 8307
- Bestimmung der Oberflächentemperatur von Polymeren mit einem Thermografiesystem
- Bestimmung der thermischen Eigenschaften von Formgedächtnispolymeren (DSC, DMA, TGA)
- Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT) nach DIN ISO 75 (HDT/A, HDT/B und HDT/C)
- Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur

- Bestimmung der rheologischen Eigenschaften (Schmelzindexprüfung nach ISO 1133 und ASTM D 1238)
- Dichtebestimmung nach DIN EN ISO 1183
- Quantifizierung von Formgedächtniseigenschaften
- Untersuchungen zur Lebensdauer
- Verfahren zur Kontrolle der Formgedächtniseigenschaften, Programmierung von Einweg- und Zweiweg-Formgedächtniseffekten sowie von Temperaturgedächtniseffekten

### Beratungsdienstleistungen

- Beratung zur Polymerauswahl und zur Prozesstechnik
- Erstellung von Machbarkeitsstudien



**FORSCHUNGSBEREICHSLIETTER**  
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

monika.jobmann@iap.fraunhofer.de

**Polymersynthese**  
Polymer Synthesis

**Dr. Antje Lieske**

Telefon +49 331 568-1329

antje.lieske@iap.fraunhofer.de

**Membranen und  
funktionale Folien**

Membranes and Functional Films

**Dr.-Ing. Murat Tutuş**

Telefon +49 331 568-3211

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 melts
- polymer synthesis and polymer modification through reactive extrusion
- radical polymerization in solution, in bulk and in heterophase systems
- synthesis of polymers through polyaddition

### Characterization

- 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

### Microencapsulation and particle synthesis

- fluid bed coating
- 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 sealants and other components)

### Characterization

- degradation and release studies for carrier systems and microencapsulated active ingredients and additives

- determination of surface charge density of colloidal dispersions
- determination of particle size and particle size distribution
- electro-kinetic characterization of colloidal dispersions (streaming potential, electrophoretic mobility, zeta potential)

## Membranes and functional films

### Material synthesis

- functional coating (e. g. antibiotic)
- proteinogenic films and membranes
- REACH conformable membrane and film synthesis
- smart packaging
- synthesis of MOFs
- synthesis of IL

### Membrane development

- flat sheet membrane and hollow fiber preparation and characterization
- membranes for batteries, fuel cells, gas and liquid separation
- measurement of gas permeability of conventional and biological polymers

- preparation and characterization of thin film composite membranes
- production and characterization of mixed matrix membranes
- production and characterization of IL-membrane-composites

### Engineering

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

## Shape-memory polymers

### Material and process development

- development of programmable, multifunctional polymer materials
- extrusion processing of thermoplastic polyurethanes and polymer blends
- laser engraving and cutting of polymers
- processing of shape-memory polymers to granulates, films, foils, foams, tubes, filaments and 3D-printed objects
- refinement of polymers by additives
- shape-memory polymer synthesis

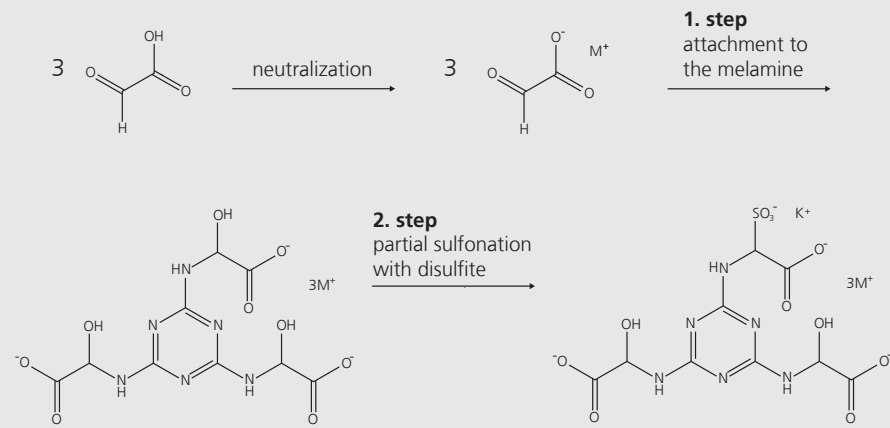
## Characterization

- characterization of heat distortion temperature (HDT) according DIN ISO 75 (HDT/A, HDT/B, HDT/C)
- determination of mechanical properties of shape-memory polymers (elongation at break, yield stress and tensile strength) with an universal testing system equipped with a thermo-chamber
- determination of shore hardness (A/D)
- determination of compression set according to DIN ISO 815
- determination of ball rebound elasticity according DIN ISO 8307
- density determination according DIN EN ISO 1183
- determination of the surface temperature of polymers with a thermography system
- determination of thermal properties of shape-memory polymers (DSC, DMA, TGA)
- determination of Vicat softening temperature
- determination of rheological properties (melt flow index test according to ISO 1133)
- durability analysis

- procedures to control shape-memory properties, programming of one-way and two-way shape-memory effects and of temperature-memory effects
- quantification of shape-memory properties

### Consulting services

- advice about polymer materials and process technologies
- preparation of feasibility studies

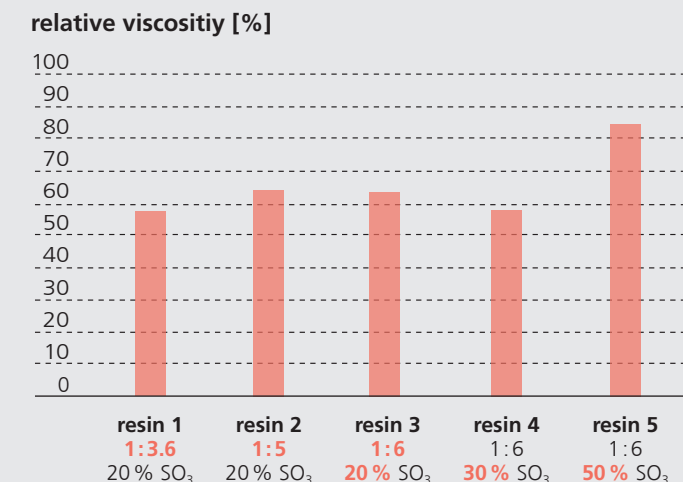


- 1 Synthesis of sulfonated melamine-glyoxylic acid resin.
- 2 Composition of Resins 1–5.
- 3 Relative viscosities of cement-resin mixes.

1

	melamine: glyoxylic acid	sulfonation [%]
resin 1	1:3.6	20
resin 2	1:5	20
resin 3	1:6	20
resin 4	1:6	30
resin 5	1:6	50

2



3

## FORMALDEHYDFREIE FLIESSMITTEL FÜR DIE BAUINDUSTRIE

### Förderung Funding

Fraunhofer-internes Programm, WISA, Fördernummer 831 425

### Kooperationen Collaborations

Fraunhofer WKI, Braunschweig

Die Bauwirtschaft ist eine Schlüsselbranche für Deutschland. Gips und Zement sind zwei der wichtigsten anorganischen Bindemittel für Baustoffe wie Beton, Mörtel oder Holzwerkstoffe. Bei der Herstellung von anorganisch gebundenen Bauprodukten werden oft Zusatzmittel zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit des Bindemittels und der Eigenschaften des Bauprodukts verwendet. Fließmittel wirken stark verflüssigend und bewirken eine Verminderung des Wasseranspruchs und/oder eine Verbesserung der Verarbeitbarkeit des anorganischen Bindemittels. Als Fließmittel werden vorwiegend sulfonierte Naphthalin- und Melamin-Formaldehyd-Harze eingesetzt. Durch die in Europa erfolgte Neueinstufung von Formaldehyd als Mutagen der Kategorie 2 nach CLP und Karzinogen der Klasse 1B muss Formaldehyd seit dem 1. April 2015 dementsprechend gekennzeichnet werden. Daraus ergeben sich Auswirkungen auf die Kennzeichnung der Fließmittel, sodass formaldehydfreie Zusatzmittel für die Industrie vorteilhaft sind.

Im Rahmen eines von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Projekts sollten daher formaldehydfreie Fließmittel entwickelt und charakterisiert werden. Eine im Projekt untersuchte Alternative waren sulfonierte Glyoxylsäure-Melamin-Harze. Da Melamin als Grundkomponente im Gegensatz zu Naphthalinsulfonsäure keine Sulfonsäuregruppen aufweist, muss das Harz nachträglich sulfoniert werden (Fig. 1). Dies geschieht bei analogen formaldehydbasierten Harzsystemen im Labormaßstab in der Regel mit Disulfit. Bei der Harzsynthese wurden sowohl das Melamin-Glyoxylsäure-Verhältnis sowie der Sulfonierungsgrad variiert. Es zeigte sich, dass mit steigendem Anteil Glyoxylsäure höhere Sulfonierungsgrade möglich sind. Eine Auswahl an möglichen Kombinationen von Glyoxylsäure-Anteil und Sulfonierungsgrad ist in Fig. 2 aufgeführt.

Die Fließmittelwirkung wurde mit Hilfe von Viskositätsmessungen an Zementmischungen mit und ohne Harzzusatz charakterisiert. Zur besseren Vergleichbarkeit wird für jedes Harz eine relative Viskosität im Vergleich zu einer reinen Zement-Wasser-Mischung angegeben. Die Ergebnisse sind in Fig. 3 veranschaulicht.

Eine Erhöhung des Glyoxylsäure-Anteils bei gleichbleibendem Sulfonierungsgrad (resin 1–3) führt zu einem leichten Anstieg der relativen Viskosität. Die Variation des Sulfonierungsgrads bei konstantem Glyoxylsäure-Anteil scheint bis zu einem gewissen Punkt keinen Einfluss auf die Fließhilfsmittelwirkung zu haben (resin 3 und 4). Wird der Sulfonierungsgrad zu stark erhöht (resin 5), wirkt sich dies allerdings negativ auf die Fließigenschaften der Zementmischung aus. Wechselwirkungen zwischen den Sulfonsäuregruppen des Harzes und Calciumionen aus dem Zement könnten die Ursache dafür sein.

Als vorteilhaft im Hinblick auf gute Fließmitteleigenschaften haben sich daher Harze mit einem Melamin-Glyoxylsäure-Verhältnis von 1:3,5 – 1:5 und einem moderaten Sulfonierungsgrad erwiesen. |

## FORMALDEHYDE-FREE SUPERPLASTICIZERS FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY

The construction industry is a key sector in Germany. Gypsum and cement are two of the most important inorganic binders for building materials like concrete, mortar and wood materials. Additives are often used during the production of inorganically bound building products to improve the processability of the binder and the properties of the building material. In addition to having a high plasticizing effect, superplasticizers reduce the need for water and improve the processability of the inorganic binder. Sulfonated naphthalene- and melamine-formaldehyde resins are primarily used as superplasticizers. Because formaldehyde has been reclassified as a category 2 mutagenic substance and a category 1B carcinogenic substance, it has required labelling since April 1st, 2015. It can be presumed that the reclassification of formaldehyde will have consequences for the labelling of superplasticizers. Hence formaldehyde-free additives are necessary and beneficial for the construction industry.

The aim of this project, funded by the Fraunhofer Gesellschaft, was to develop and characterize formaldehyde-free superplasticizers. Sulfonated melamine-glyoxylic acid resins were one of the resin systems tested during the project. The resin has to be sulfonated after synthesis because melamine contains no sulfonic acid groups (Fig. 1). For formaldehyde-based resins, this is usually done on a laboratory scale with disulfite. Resins with different melamine-glyoxylic acid ratios and degrees of sulfonation were synthesized. It was found that increase of the glyoxylic acid levels allowed for the higher levels of sulfonation. Some possible combinations of glyoxylic acid levels and degrees of sulfonation are shown in Fig. 2. The plasticizing effect of the resins was determined by measuring the viscosity of cement mixes with and without the added resin. The relative viscosity of each cement-resin mix was calculated in relation to the viscosity of a cement-water mix. The results are presented in Fig. 3.

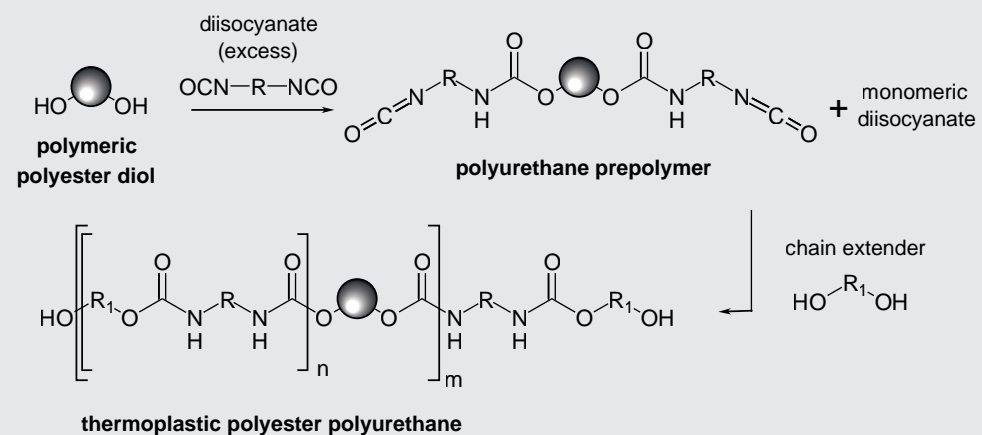
Increasing the amount of glyoxylic acid while keeping the degree of sulfonation constant (resins 1–3) leads to a slight increase in relative viscosity. Varying the degree of sulfonation seems to have no influence on the plasticizing effect up to a certain point (resins 3 and 4). Further increase in the degree of sulfonation (resin 5) leads to an increase in relative viscosity which means that the plasticizing effect worsened. Interaction between the sulfonic acid groups of the resin and calcium ions present in the cement may be responsible for this.

Finally, resins with a melamine-glyoxylic acid ratio between 1:3.5 and 1:5 with a moderate degree of sulfonation have the most promising plasticizing effects. |

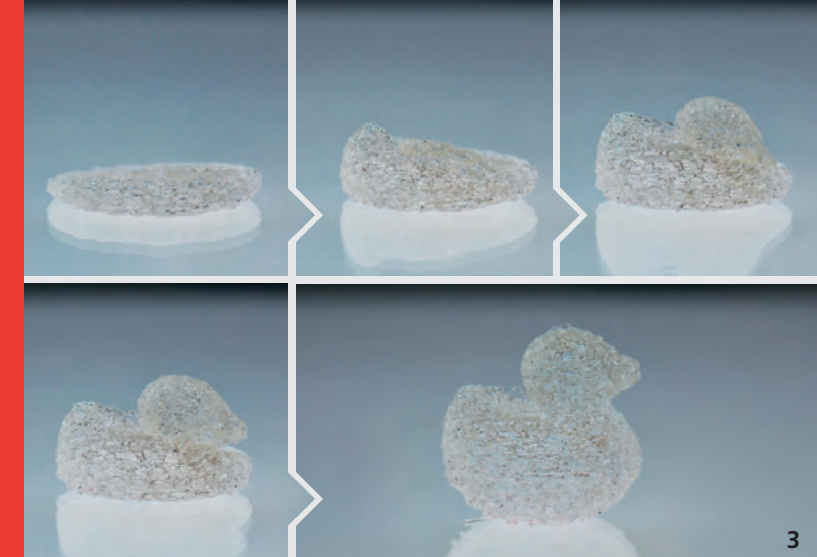
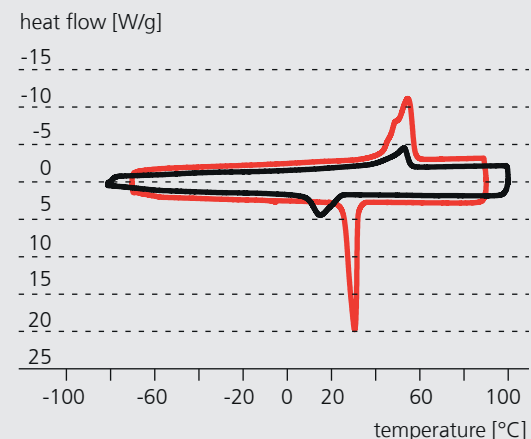


Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Geßner  
Telefon +49 331 568-1415  
kathrin.gessner@iap.fraunhofer.de





- 1 TPU synthesis: reaction scheme of the prepolymer method.
- 2 DSC curves of the 2nd heating and cooling for the initial building block poly(1,4-butylene adipate) (red) and the associated polyurethane (black).
- 3 Shape memory effect of a 3D-printed object.



## FACETTENREICHE FORMGEDÄCHTNISPOLYMERE

**Förderung Funding**  
 Fraunhofer-Leistungszentrum  
 »Integration biologischer  
 und physikalisch-chemischer  
 Materialfunktionen«

**Formgedächtnispolymere (FGPs)** können nach einer »Programmierung« thermisch induziert eine Formänderung vollziehen. Dieses Materialverhalten macht man sich bereits heute im Spielzeugbereich, in fälschungssicheren Etiketten und in der Dentaltechnik zunutze. Auch im Bereich des 3D-Drucks und hier insbesondere für das FFF-Verfahren (»fused filament fabrication«) sind FGPs ebenfalls interessant. Dieses auch als Schmelzschichtung bezeichnete Verfahren ist nicht nur bei Hobbybastlern sehr beliebt. Es stellt auch eine attraktive Möglichkeit für die Herstellung von Prototypen dar und wird daher im industriellen Bereich zusehends stärker eingesetzt. Ein Fokus unserer Arbeiten im Fraunhofer-Leistungszentrum »Integration biologischer und physikalisch-chemischer Materialfunktionen« ist die Entwicklung von Filamentmaterialien für den 3D-Druck. Hierzu werden FGPs in Form von thermoplastischen Polyurethanen (TPUs) synthetisiert, zu Filamenten verarbeitet und anschließend im FFF-Verfahren getestet.

Bestimmte TPUs verfügen aufgrund ihrer Netzwerkstruktur und ihrer Phasensegregation über Formgedächtniseigenschaften. Dank der Vielseitigkeit der Polyurethan-Chemie ist es möglich, ihre thermischen und mechanischen Eigenschaften gezielt zu variieren. Strukturell setzen sie sich aus den sog. Weichsegmenten, welche i. d. R. aus Polyether- oder Polyester-Polyolen gebildet werden, und den Hartsegmenten, die aus Polyurethaneinheiten bestehen, zusammen. Letztere werden nach dem Baukastenprinzip durch Reaktion der funktionalen Einheiten von Polyisocyanaten, Polyolen des Weichsegments und Kettenverlängerern aufgebaut.

In diesem zweistufigen Syntheseverfahren wird zunächst eine Polykondensation durchgeführt. Die so erhaltenen Polyesterdirole werden anschließend in einer Polyaddition zu thermoplastischen Polyester-Polyurethanen nach dem Prepolymer-Verfahren umgesetzt (Fig. 1). Über die zugrundeliegenden Reaktionsbedingungen lassen sich Polyesterdirole mit variablen thermischen Eigenschaften erhalten. Diese verändern sich bei der anschließenden Umsetzung zum TPU hinsichtlich der Lage ihrer Schmelz- und Kristallisationstemperaturen nur noch in geringfügigem Maß, wie in den DSC-Messungen in Fig. 2 gezeigt.

Im Nachgang der Synthese wird das resultierende FGP granuliert und zu einem Filament extrudiert, so dass es im 3D-Druck weiterverarbeitet werden kann. Aus dem Filament lassen sich dann Druckobjekte, die nach einer Programmierung über ausgeprägte Formgedächtniseigenschaften verfügen, herstellen (Fig. 3).

Neben den quasi einstellbaren thermischen Eigenschaften konnte auch gezeigt werden, dass ein hohes Maß an Kontrolle über die mechanischen Eigenschaften der hergestellten TPUs möglich ist. Dies ist vor dem Hintergrund der Prototypenentwicklung für verschiedenste technische Anwendungen interessant. |

## MULTIFARIOUS SHAPE MEMORY POLYMERS

**Shape memory polymers (SMPs)** can be "programmed" to undergo a thermally induced shape change. This material behavior is already being used today in toys, tamper-proof labels and dental technology. Another field that attracts increasing interest is 3D printing and in particular the "fused filament fabrication" (FFF) process. This process, also known as fused deposition modeling, is not only very popular among hobby craftsmen, but also represents an attractive option for the production of prototypes. It is therefore increasingly being used in the industrial sector. The development of filament materials for 3D printing is one of the objects of our work at the Fraunhofer High-Performance Center "Integration of Biological and Physical-Chemical Material Functions". Here, SMPs in the form of thermoplastic polyurethanes (TPUs) are synthesized, processed into filaments and then tested in the FFF process.

Certain TPUs exhibit shape memory properties due to their network structure and phase segregation. Thanks to the versatility of polyurethane chemistry, it is possible to create polymers with tailored thermal and mechanical properties. Structurally, they consist of so-called soft segments, which are usually formed from polyether or polyester polyols, and hard segments that consist of polyurethane units. The latter are constructed according to the modular principle through a reaction of the functional units of polyisocyanates, soft segment polyols and chain extenders.

Polycondensation is carried out in the first stage of a two-stage synthesis process. This produces polyester diols which are then converted in a polyaddition to thermoplastic polyester polyurethanes using a prepolymer process (Fig. 1). Changing reaction conditions creates polyester diols with different thermal properties. These change only slightly with regard to the melting and crystallization temperature after the subsequent conversion to TPU, as shown in the DSC measurements in Fig. 2.

After synthesis, the resulting SMP is granulated and extruded into a filament so that it can be further processed in 3D printing. The filament can then be used to produce print objects which, after programming, have distinctive shape memory properties (Fig. 3).

In addition to the quasi-adjustable thermal properties, it has also been shown that a high degree of control over the mechanical properties of the TPUs produced is achievable. This is interesting for various technical applications with a view to developing prototypes. |



**Dr. Mario Walter**  
 Telefon +49 331 568-1413  
 mario.walter@iap.fraunhofer.de

# LIFE SCIENCE UND BIOPROZESSE

## LIFE SCIENCE AND BIOPROCESSES

pioneers in polymers

### 82 Life Science und Bioprozesse

Life Science and Bioprocesses

### 86 Anwendungen und Dienstleistungen

Applications and services

### 90 Seidenproteine – ein Hochleistungsmaterial biotechnologisch nutzbar machen

Silk proteins – making a high performance material biotechnologically usable

### 92 Fälschungssichere Implantate

Anti-counterfeit implants

*Dr. Sophia Rosencrantz im biochemischen Labor.  
Dr. Sophia Rosencrantz in the biochemical laboratory.*





## LIFE SCIENCE UND BIOPROZESSE

Der Forschungsbereich Life Science und Bioprozesse hat auch im Jahr 2018 seine Arbeiten auf Integration von biologischen Funktionalitäten fokussiert und unter anderem mit dem Start der Projektgruppe BioPol an der BTU Cottbus-Senftenberg weiter ausgebaut.

So wurden auch die Arbeiten zur Entwicklung neuer Konzepte zur Enzymimmobilisierung und -modifizierung weiter vorangetrieben. Die Immobilisierung von Enzymen in oder auf polymeren Trägermaterialien ermöglicht die Stabilisierung des Enzyms außerhalb seiner natürlichen Umgebung, gestattet dessen Wiedergewinnung und vereinfacht in erheblichem Maße Produktaufreinigungsprozesse bei Verfahren, in denen Enzyme involviert sind. Neben der molekularbiologischen Modifizierung ist es damit vor allem die Immobilisierung, die Enzyme in vielen Fällen, vor allem im Bereich der Synthese, Nahrungsmittelaufbereitung sowie Sensorik, überhaupt erst nutzbar macht.

Der Einbau von Enzymen ist dabei nicht mehr nur auf dünne Schichten beschränkt, sondern wurde auch auf andere nanoskalige Polymerträger erweitert. In letzterem Fall liegt der Fokus vor allem auf einfachen, kostensparenden und breit anwendbaren Syntheseprotokollen, durch die eine Enzymimmobilisierung für neue Anwendungsfälle relevant wird. Zum Thema der Immobilisierung in dünnen Schichten

für die Biokatalyse ist 2018 ein neues, industrienahes Projekt gestartet in dem Grundlagen zur Übertragung der bisher etablierten Immobilisierungskonzepte auf einen großtechnischen Maßstab vorbereitet werden sollen.

Im Rahmen des 2018 bewilligten Verlängerungsantrags des BMBF-Projekts »Chirale Membranen« werden Proteinkanäle als Poren in synthetische Polymermembranen eingebaut. Hierbei werden das Aufbauen der Membran durch das Verlinken von Protein-Polymer-Konjugaten sowie das direkte Verlinken der Membranproteine verfolgt. Um diese neuartigen Membranen hinsichtlich einer industriellen Anwendung weiter zu entwickeln, erfolgte ein Scale-Up der Synthese der Protein-Polymer-Konjugat-Bausteine. In Zukunft soll das direkte Verlinken der Proteine an Grenzflächen in einem kontinuierlichen, produktionsnahen Prozess entwickelt werden, um die Membranen industrietauglich in großem Maßstab herstellen zu können. Diese Ansätze werden auch zur Synthese von Enzym-Polymer-Konjugaten für den Einsatz als Katalysatoren an Grenzflächen angewandt. Die Polymere stabilisieren die Enzyme und erlauben deren Assemblierung an Grenzflächen ohne deutlichen Aktivitätsverlust. Mit diesen Katalysatoren an Wasser-/Öl-Grenzflächen von Emulsionen konnte eine bis zu 270-fache Verbesserung der Effizienz im Vergleich zu industriell angewendeten Zwei-Phasen-Systemen gezeigt werden.

Die im Forschungsbereich vorhandene Expertise in Bezug auf das Geschäftsfeld Kosmetik wurde erheblich ausgebaut, indem die Palette der mikrobiologischen Untersuchungsverfahren mit besonderer Signifikanz für die Ermittlung der Produktsicherheit von kosmetischen Erzeugnissen erweitert wurde. Auch bei der Produktsicherheit von Medizinprodukten, insbesondere von Brustimplantaten, konnte ein substantieller Fortschritt erzielt werden. Hier wurde für die Markierung von polymerbasierten Komponenten, die für die Herstellung von Medizinprodukten eingesetzt werden, genomische DNA verwendet. Durch die Nutzung genomischer DNA ergibt sich eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten und somit ein hohes Maß an Sicherheit für den Hersteller sowie eine sichere Verwendung durch Gerichte und andere Prüfstellen dank der einfachen Einbindung in bereits bestehende Nachweisverfahren. Hinsichtlich der Verwendung beliebiger Matrizen besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Die 2018 neu gegründete Arbeitsgruppe »Biologische Bausteine und Bioprozessentwicklung« beschäftigt sich mit der Entwicklung und Herstellung biobasierter Bausteine aus verschiedenen Stoffklassen und deren Implementierung in neue Materialien. Das Proteinengineering sowie das Metabolic Pathway Engineering gehören ebenso zur Expertise der Arbeitsgruppe, wie die Entwicklung und das Upscaling

biotechnologischer Produktionsprozesse auch auf Basis nachwachsender Rohstoffe. So wurde beispielsweise die Fermentation von *Ustilago maydis*, einem Biotensid produzierenden Pilz, etabliert und gentechnische Tools für dessen Modifizierung weiterentwickelt. Fokus des Forschungsvorhabens war es auch, Weizenstroh als Fermentationssubstrat zu verwerten. Mittels *Escherichia coli* ist es gelungen, ein Seidenprotein aus der Florfliege herzustellen und für Materialentwicklungen zur Verfügung zu stellen. Mit Hilfe von *Pichia pastoris* wurden Esterasen und Hydrolasen produziert, die für den Abbau lignocelluloseischer Substrate eingesetzt werden können. Auch die Plattformchemikalie Isopren, der monomere Bestandteil des Kautschuks, konnte mittels *E. coli* im Biotechnikum des Fraunhofer IAP produziert werden. |



## LIFE SCIENCE AND BIOPROCESSES

---

In 2018 the Life Science and Bioprocesses research division continued to focus its work on the integration of biological functionalities and further expanded its research by creating the BioPol project group at BTU Cottbus-Senftenberg.

Work on developing new concepts for enzyme immobilization and modification also continued. The immobilization of enzymes in or on polymeric substrates stabilizes the enzyme outside its natural environment, allows it to be recovered, and considerably simplifies the product purification processes that involve enzymes. In addition to molecular biological modification, immobilization makes enzymes utilizable in many cases, especially in the fields of synthesis, food processing and sensor technology.

Enzymes are no longer only incorporated into thin layers and are now also being used in other nanoscale polymer substrates. Here the focus is primarily on simple, cost-effective and widely applicable synthesis protocols so that enzyme immobilization can be used in new applications. 2018 the topic of immobilization in thin layers in biocatalytic processes was addressed by a new, industry-

oriented project which is preparing the foundations for the transfer of the established immobilization concepts to an industrial scale.

Within the framework of the extension of the BMBF project "Chiral Membranes", which was approved in 2018, protein channels that act as pores are integrated into synthetic polymer membranes. The project focuses on linking protein-polymer conjugates to form membranes as well as directly linking membrane proteins. The synthesis of protein-polymer conjugate building blocks was scaled-up in order to further develop these novel membranes for industrial applications. In the future, proteins will be directly cross-linked at interfaces in a continuous process in order to produce membranes on a large scale for industrial use. In a similar approach enzyme-polymer conjugates were also synthesized for use as catalysts at interfaces. The polymers stabilize the enzymes and allow them to be assembled at interfaces without any significant loss in activity. These catalysts demonstrated at the water/oil interfaces of emulsions a 270-fold improvement in efficiency over the two-phase systems used by industry.

The research division's expertise in the field of cosmetics was considerably enhanced by extending its range of microbiological testing methods used to determine the safety of cosmetic products. Substantial progress was also made in the product safety of medical devices, in particular breast implants. Genomic DNA was used to label polymer-based components used in the manufacturing of medical devices. Using genomic DNA offers a multitude of possible combinations and thus a high degree of reliability for the manufacturer. It can also be used safely by courts and other testing laboratories as it can be easily integrated into existing detection methods. There is a need for further research and development when it comes to using different matrices.

The working group "Biological Building Blocks and Bioprocess Development", founded in 2018, focuses on the development and production of biobased building blocks from different material classes and their use in new materials. Protein engineering and metabolic pathway engineering are as much a part of the group's expertise as are the development and upscaling of biotechnological production

processes based on renewable raw materials. For example, *Ustilago maydis*, a fungus that produces a biosurfactant, was fermented and genetic engineering tools were developed further in order to modify it. The research project also focused on using wheat straw as a fermentation substrate. *Escherichia coli* was used to produce a silk protein from the lacewing fly that could be utilized in material development. Using *Pichia pastoris*, esterases and hydrolases were produced that can be used to degrade lignocellulosic substrates. With the aid of *E. coli*, the platform chemical isoprene, the monomer component of rubber, was also produced in the Fraunhofer IAP biotechnology center. |



# ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

## Synthesen und Verfahren für ausgewählte Anwendungen

- Beschichtungen und Oberflächenmodifizierung
- chemische Modifizierung von Polymeren
- chemische Modifizierung von Proteinen
- Dispersions- und Emulsionspolymerisation in wässrigen, inversen und nichtwässrigen Systemen
- Hydrogele
- Langmuir-Blodgett- und Langmuir-Schaefer-Übertragungsmethoden
- Langmuir-Monolagen
- Mikrokontaktdruck auf Flächen und Partikeln
- Nanopartikel, Mikropartikel
- neue Funktionsmonomere, Initiatoren und Kettenüberträger
- Peptidsynthese
- Protein-Polymer Konjugate
- Protein-Hybridmaterialien
- Wellensubstrate

## Definierte Molekülarchitekturen

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

## Entwicklung von Medizinprodukten, Healthcare und Kosmetik

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

## Oberflächenanalysen

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

## Biologische in-vitro Untersuchungen

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

## Analytik von Biomaterialien für die Medizintechnik

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

## Biotechnologie

- biotechnologische Produktion monomerer Buildingblocks für die Herstellung biobasierter Polymere
- Charakterisierung von Enzymen und Entwicklung biokatalytischer Verfahren
- Engineering und Produktion von Enzymen, Strukturproteinen u. a.
- Entwicklung/Optimierung von Fermentations- und Downstreamprozessen (Multibioreaktoranlage mit Online-Analytik: pH, pO<sub>2</sub>, Biomasse, Zuluft, Abluft)
- Fraktionierung von Cellulose, Hemicellulose und Lignin
- Scale-up biotechnologischer Prozesse (2–100 L)
- Stammentwicklung (S1, S2) und Metabolic Engineering
- Verwertung pflanzlicher Reststoffe als Fermentationssubstrat



## FORSCHUNGSBEREICHSLEITER DIVISION DIRECTOR

**Prof. Dr. Alexander Böker** (acting)  
Telefon +49 331 568-1112  
alexander.boeker@iap.fraunhofer.de

### Multifunktionale Kolloide und Beschichtungen

Multifunctional Colloids and Coatings

#### Dr. Dmitry Grigoriev

Telefon +49 331 568-3219  
dmitry.grigoriev@iap.fraunhofer.de

### Enzym-Polymer-Materialien und Enzymimmobilisierung

Enzyme-Polymer Materials and Enzyme Immobilization

#### Dr. Stefan Reinicke

Telefon +49 331 568-3202  
stefan.reinicke@iap.fraunhofer.de

### Biofunktionalisierte Materialien und (Glyko)Biotechnologie

Biofunctionalized Materials and (Glyco)Biotechnology

#### Dr. Ruben R. Rosencrantz

Telefon +49 331 568-3203  
ruben.rosencrantz@iap.fraunhofer.de

### Protein-Polymer-Materialien

Protein-Polymer Materials

#### Dr. Ulrich Glebe

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

### Biomaterialien und Healthcare

Biomaterials and Healthcare

#### Dr. Joachim Storsberg

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

### Biologische Bausteine und Bioprozessentwicklung

Biological Building Blocks and Bioprocessing Development

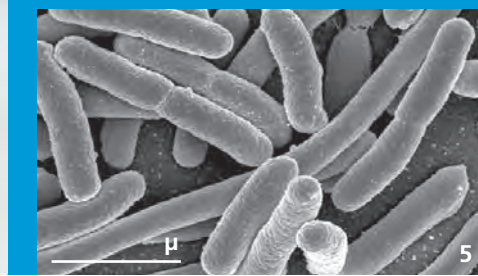
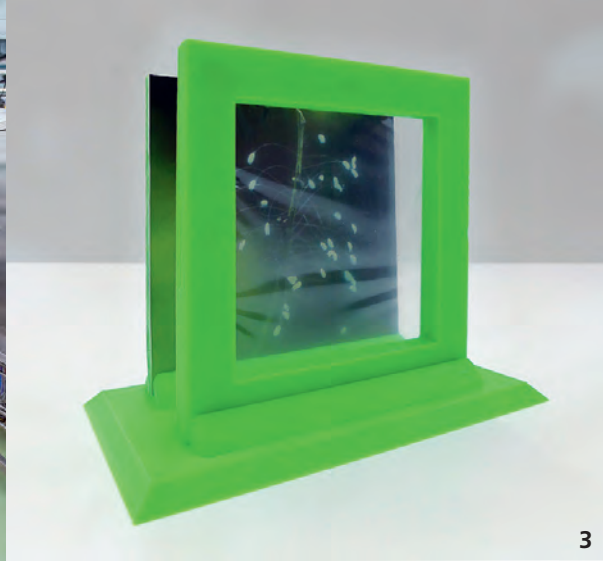
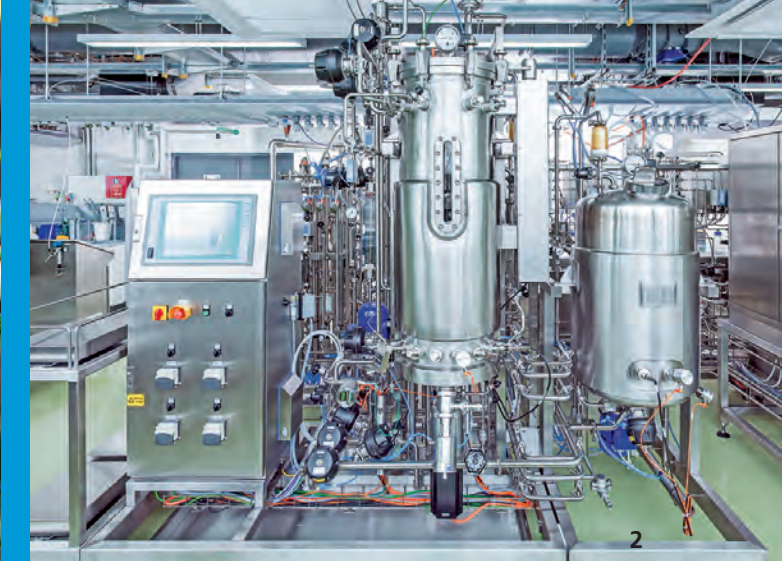
#### Dr. Maren Wandrey

Telefon +49 331 568-1330  
maren.wandrey@iap.fraunhofer.de

# APPLICATIONS AND SERVICES

Syntheses and processes for selected applications	Defined molecular architectures	Development of medical devices, health-care and cosmetics	Surface analysis	Biological in-vitro investigations	Analysis of biomaterials for medical engineering	Biotechnology
<ul style="list-style-type: none"> <li>– coatings and surface modification</li> <li>– chemical modification of polymers</li> <li>– chemical modification of proteins</li> <li>– dispersion and emulsion polymerization in aqueous, inverse and non-aqueous systems</li> <li>– hydrogels</li> <li>– Langmuir monolayer</li> <li>– Langmuir-Blodgett and Langmuir-Schaefer transfer methods</li> <li>– microcontact printing on surfaces and particles</li> <li>– nanoparticle, microparticle</li> <li>– new functional monomers, initiators and chain transfer agents</li> <li>– peptide synthesis</li> <li>– protein-polymer conjugates</li> <li>– proteine hybrid materials</li> <li>– wrinkled substrates</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– biofunctional polymers, glycopolymers</li> <li>– block and graft copolymers</li> <li>– tailored particle sizes and size distributions in nano and micron range</li> <li>– synthesis of patchy particles</li> <li>– polyelectrolytes with tailored charge density, ionic strength, variable hydrophobic-hydrophilic balance</li> <li>– polyzwitterions</li> <li>– “smart” polymers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– development and synthesis of biomaterials</li> <li>– development of bioactive surfaces</li> <li>– development of implants</li> <li>– development of cosmetic formulations</li> <li>– color and fluorescence labeling for diagnostics, sensors and medical therapies</li> <li>– controlled “smart” drug release</li> <li>– additives for cosmetic and pharmaceutical formulations</li> <li>– surface modifications</li> <li>– preparation of surfaces as biomolecule carriers for medical diagnostics</li> <li>– synthesis of active pharmaceutical compounds</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– (confocal) fluorescence microscopy, digital 2D and 3D microscopy</li> <li>– measurement of contact angle, surface and interfacial tension and free surface energy</li> <li>– surface analysis by UV/VIS/NIR absorbance and reflectance measurements</li> <li>– scanning force microscopy, mechanical analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– assay development</li> <li>– characterization of receptor-ligand interactions</li> <li>– biocompatibility testings</li> <li>– cell biology of surfaces and interfaces</li> <li>– cytotoxicity assays</li> <li>– development of in-vitro diagnostic system</li> <li>– kinetics of biomolecular interactions</li> <li>– microbiological examinations using human pathogens according to §44 IfSG</li> <li>– tests using primary human cells</li> <li>– tissue culture (primary cells and cell lines)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– examination of breast implants</li> <li>– examination of ophthalmologic implants and explants</li> <li>– identification and quantification of solvents and monomer residuals</li> <li>– measurement of refraction indices of liquids and polymer films</li> <li>– microscopic analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– biotechnological production of building blocks for the synthesis of biobased polymers</li> <li>– characterization of enzymes and biocatalytic processes</li> <li>– development and optimization of fermentation and downstream processes (multi-bioreactor plant with online analytics: pH, pO<sub>2</sub>, viable biomass, gas inlet and outlet)</li> <li>– engineering and production of enzymes, structural proteins, etc.</li> <li>– fractionation of cellulose, hemicellulose and lignin</li> <li>– scale-up of upstream and downstream processes (2–100 L)</li> <li>– strain development (S1, S2) and metabolic engineering</li> <li>– utilization of plant biomass as substrate for fermentations</li> </ul>





- 1 Lacewing egg stalks.
- 2 Bioreactor at the Fraunhofer IAP.
- 3 Transparent artificial lacewing silk film.
- 4 Green lacewing.
- 5 Escherichia coli bacteria.

## SEIDENPROTEINE – EIN HOCHLEISTUNGSMATERIAL BIOTECHNOLOGISCH NUTZBAR MACHEN

**Seide ist seit 5000 Jahren** ein Sinnbild für Schönheit und Eleganz. Abgesehen von den ästhetischen Aspekten stellen Seidenproteine aufgrund ihrer beeindruckenden mechanischen Eigenschaften sowie ihrer Biokompatibilität eine interessante Materialklasse für unterschiedlichste Anwendungsbereiche dar. Im Tierreich besitzen unter anderen die Klassen Insecta (Insekten), Arachnida (Spinnentiere) und Myriapoda (Tausendfüßler) die Fähigkeit, Seiden anzufertigen, welche auf den jeweiligen Anwendungsbereich evolutionär optimiert wurden z. B. als Kokon zum Schutz des Nachwuchses, als Netz zum Beutefang oder als Sicherungsfaden. Diese enorme Vielfalt unterliegt einer sehr diversen Seidenfadenzusammensetzung, welche auf strukturelle und physikalische Eigenschaften zurückzuführen ist. Mit Ausnahme der etablierten Seidenraupenzucht (*Bombyx mori*) ist eine natürliche und wirtschaftlich relevante Gewinnung von Seidenproteinen im industriellen Maßstab selten möglich, um die speziellen Eigenschaftsprofile der verschiedenen Seiden für innovative, proteinbasierte Materialien zu nutzen. Hierfür bieten alternative »biotechnologische« Herstellungsmethoden einen Ausweg, um industrierelevante Mengen an Seidenproteinen für eine neue Generation von ökologischen Materialien bereitzustellen.

Exemplarisch für die faszinierenden mechanischen Eigenschaften kann der Eierstiel der Florfliege herangezogen werden. Der strukturell auf einer Cross-beta-Orientierung basierte Seidenfaden vermittelt eine außergewöhnliche Biegesteifigkeit, um das auf ihm abgelegte Ei zu tragen. Diese quer zur Faserachse ausgerichteten anti-parallelen beta-Faltblattstrukturen ermöglichen der nur 10–15 µm starken Faser eine enorme Stabilität. Um diese proteinbasierte Besonderheit für neue hoch-performante Seidenmaterialien zu nutzen, müssen biotechnologische Herstellungsprozesse etabliert werden, welche den Protein-Rohstoff in ausreichender Menge zur Verfügung stellen.

Am Fraunhofer IAP werden, zusammen mit Partnern, Prozesse etabliert, welche einerseits die mikrobielle Proteinproduktion optimieren und weitergehend die synthetisierten Seidenproteine in hinreichender Reinheit für eine Materialentwicklung bereitstellen. Unter Berücksichtigung eines ökonomisch sinnvollen sowie robusten Prozesses, konnte ausgehend von der Florfliegen-seidenprotein-codierenden Gensequenz mittels *Escherichia coli* eine Hochzelldichtekultivierung, sowie eine zwei Prozessschritte beinhaltende Aufarbeitung etabliert werden, um das Seidenprotein in zufriedenstellender Qualität für eine Materialentwicklung zur Verfügung zu stellen.

Am Fraunhofer IAP sind diverse Abteilungen mit Fokus Materialentwicklung etabliert, welche die Wertschöpfungskette vom Gen bis zum Produkt entwickeln und untersuchen.

Auch zukünftig werden wir zusammen mit unseren Partnern biotechnologische Prozesse entwickeln, um Wege, Strategien und Produkte für eine »biologische Transformation« unserer industriellen Landschaft aufzuzeigen und zu realisieren. |

## SILK PROTEINS – MAKING A HIGH PERFORMANCE MATERIAL BIOTECHNOLOGICALLY USABLE

**For 5000 years silk** has been a symbol of beauty and elegance. In addition to having aesthetic aspects, the impressive mechanical properties and biocompatibility of silk proteins make them an interesting class of materials for a wide variety of applications. In the animal kingdom, the Insecta (insects), Arachnida (arachnids) and Myriapoda (centipedes) classes are all able to produce silks that have been evolutionarily optimized for the respective applications – i. e. as a cocoon to protect offspring, as a net to capture prey or as a security thread. This enormous diversity of structural and physical properties creates very diverse silk thread compositions. With the exception of established silkworm breeding (*Bombyx mori*), the natural and cost-efficient production of silk proteins on an industrial scale is rarely possible. This makes it difficult to exploit the specific property profiles of the various silks for innovative, protein-based materials. Alternative "biotechnological" manufacturing methods offer a way to supply silk proteins on an industrial scale for a new generation of ecological materials.

One example are the fascinating mechanical properties of the egg stalk of the green lacewing. The cross-beta-structure of the silk fiber possesses a remarkable bending stiffness which enables the egg to be carried attached to the end of the fiber. These anti-parallel beta-sheet structures, oriented transversely to the fiber axis, allow tremendous stability despite the mere 10–15 µm thickness of the fiber. In order to use this protein-based feature for new high-performance silk materials, biotech production processes must be established so that the protein raw material can be produced in sufficient quantities.

The Fraunhofer IAP is working with its partners to establish processes that optimize microbial protein production and provide synthesized silk proteins with sufficient purity for material development. Considering the need for a cost-effective and robust process, a high cell density cultivation and two-step purification process has been established based on a lacewing silk protein encoding gene sequence using *Escherichia coli*. The process produces the recombinant silk protein at a quality sufficient for material development.

Various divisions at Fraunhofer IAP investigate and develop the value chain from "gene to product" with a focus on material development.

Also in future, we will continue to develop biotech processes with our partners in order to identify and implement ways, strategies and products that will "biologically transform" of our industrial landscape. |



**Dr. Martin Schmidt**  
Telefon +49 331 568-1611  
martin.schmidt@iap.fraunhofer.de

### Förderung Funding

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

### Kooperationen Collaborations

AMSilk GmbH, Planegg





- 1 Poly-siloxane material in a breast implant.
- 2 Separation of DNA fragments by electrophoresis.
- 3 Visualized DNA fragments after PCR.



## FÄLSCHUNGSSICHERE IMPLANTATE

### Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser

Fälschungssicherheit spielt gerade mit Blick auf den Schutz eines Herstellers vor ungerechtfertigten Regressforderungen und die Sicherheit von Produkten für klinische Anwendungen eine wichtige Rolle. In Erinnerung ist die Verwendung minderwertiger Rohstoffe für die Fertigstellung von Implantaten auf Silikonbasis, verbunden mit dem gesunkenen Vertrauen der Patienten in die Ärzteschaft.

Die daher notwendige Verifizierung der Echtheit von Materialien ist durch die Verwendung von Komponenten aus dritter Hand zusätzlich erschwert. Die Rückverfolgbarkeit der verwendeten Komponenten muss daher über den gesamten Prozess der Entstehung, Lebensdauer und Entsorgung von Produkten gewährleistet sein.

### Vom Zahlenschloss inspiriert: Vielfalt der Kombinationen

Eine große Anzahl von möglichen Kombinationen bei einem einfachen Zahlenschloss bietet eine hervorragende Grundlage für die Auswahl des persönlichen Sicherheitsmerkmals. Die Übertragung dieses Prinzips eines universell einsetzbaren und schwer zu entschlüsselnden Sicherheitsmerkmals auf die Vielzahl der genutzten Materialien und Verfahren ist mit Schwierigkeiten verbunden, denn das Sicherheitsmerkmal muss den zahlreichen Verfahrensschritten nicht nur standhalten, es darf auch keines der Merkmale für eine Verwendung als Zertifikat verlieren. Hinzu kommen eine einfache Einbindung in bereits in der Industrie verfügbare Methodenspektren und ein möglichst geringer Kostenaufwand für die Verwendung in der Authentifizierung von Vor-, Halb- und Endprodukten.

Bisherige Erfahrungen zu Produktmarkierungen mittels DNA zeigten, dass zu deren Schutz vor externer Belastung (UV, Hitze, Feuchtigkeit) eine Verkapselung zweckmäßig ist. Basierend auf den Ergebnissen der mehrjährigen Kooperation mit dem Forschungsinstitut Leder- und Kunststoffbahnen, FILK, in Freiberg [1, 2] wurde daher Silikat-verkapselte DNA in flüssiges Silikon überführt und dieses dann ausgehärtet. Es zeigte sich in einer Reihe von Versuchen, dass die DNA mittels Polymerasekettenreaktion (PCR) nicht nachgewiesen werden konnte. Daher wurde in weiteren Versuchen die DNA aus Tomatenblättern in für Medizinprodukte zugelassene Präpolymere eingearbeitet. In diesen Siloxan-Komponenten konnten mittels PCR und nachfolgender Auftrennung nachgewiesen werden. Diese Methode ist unter Berücksichtigung der Beeinflussung weiterer Faktoren auch für andere Medizinanwendungen geeignet. Diese Siloxan-Materialien wurden anschließend bei verschiedenen Temperaturen polymerisiert (Fig. 1). Nach einer Inkubation von fünf Stunden bei 150 °C konnte hinreichend intakte genomische Tomaten-DNA aus der Matrix isoliert werden. Mittels PCR und anschließender Auftrennung der entstandenen DNA-Fragmente im Vergleich zu einem Standard konnte diese erfolgreich nachgewiesen werden (Fig. 2, 3) [3]. |

## ANTI-COUNTERFEIT IMPLANTS

### Trust is good, verification is better

Counterfeit protection plays an important role in protecting manufacturers against unjustified recourse claims and ensuring product safety in clinical applications. Further complexity is added by the use of third-party components. Thus, material traceability is crucial throughout the entire process of product creation, service, lifetime and disposal.

As a case in point, patient confidence recently plummeted in the medical industry when one manufacturer used inferior raw materials to produce silicone implants.

### Inspired by the combination lock: a variety of combinations

The widely used and reasonably secure combination lock provides an excellent inspiration for security solutions. The transfer of this principle to a universally applicable and easily discernable security feature, suitable for a multitude of materials and process technologies, is difficult because it must withstand the numerous process steps while retaining all of the essential features of a true security certificate. In addition, there is an obvious need for seamless integration into readily available industrial methods, as well as the need for low costs, scalability, and uncompromised accuracy and precision.

The literature on product safety indicates that encapsulating the certificate may offer protection from stress, such as UV radiation, heat and moisture. We used this as the foundation for our work.

Based on the results of several years of cooperation with the FILK in Freiberg [1, 2], silicate-encapsulated DNA was converted into liquid silicone and then cured. However, a series of experiments showed that the DNA could not be detected by polymerase chain reaction (PCR).

In further experiments, DNA from tomato leaves was incorporated into pre-polymers which are approved in medical devices. In these siloxane components DNA could be detected by PCR with subsequent gel separation. Considering the influence of other factors this method is also suitable for other medical applications [3]. |



**Dr. Joachim Storsberg**

Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-331321

joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

### Literatur Literature

[1] S. Stenzel, M. Meyer, J. Bohrisch: *Enhancing ssDNA stability at acidic pH by encapsulation for the usage as DNA marking system*, J. Appl. Polym. Sci. 132, pp. 41754–41760 (2015)

[2] S. Stenzel, J. Bohrisch, M. Päch, M. Meyer: *A new marking system for leather based on encapsulated DNA*, J. Am. Leather Chem. Assoc. 110 (9), pp. 277–287 (2015)

[3] J. Storsberg, M.K. Volkert, O. Mauger, M. A. Brown, C. Schmidt: *Fälschungssichere Markierung von Brustimplantaten mittels verkapselter DNA*, Plast. Chir. 18 (2), pp. 84–86 (2018)

### Förderung Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMW: 228 ZBR, 16443 BR, Berlin

### Kooperationen Collaborations

Dr. Michael Meyer, Forschungsinstitut Leder und Kunststoffbahnen, FILK, Freiberg

B. Sc. Marina Volkert, Beuth – Hochschule für Technik, Berlin



# PILOTANLAGENZENTRUM PAZ

## PILOT PLANT CENTER PAZ

pioneers in polymers

### 96 **Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum PAZ**

Polymer technology at the Pilot Plant Center PAZ

### 100 **Anwendungen und Dienstleistungen**

Applications and services

### 102 **Biomimetischer Synthesekautschuk (BISYKA) als echte Alternative zum Naturkautschuk**

Biomimetic synthetic rubber a genuine alternative to natural rubber



*Sara Toscher, M. Eng. an der kontinuierlichen Lösungspolymerisationslinie am Standort Schkopau.  
Sara Toscher, M. Eng. next to the continuous solution polymerization line at Schkopau site.*



## 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.

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 ist durch einen hohen Industrieanteil gekennzeichnet.

Im Rahmen der »Regionalen Innovationsstrategie« der Landesregierung Sachsen-Anhalts wird das Fraunhofer PAZ weiter ausgebaut. Die bauliche und apparative Erweiterung in Höhe von 15 Millionen Euro aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE befindet sich gegenwärtig in Planung und teils bereits in der Umsetzung.

### Polymersynthese

Der Bereich Polymersynthese unter der Leitung von Professor Michael Bartke ist in zwei Abteilungen strukturiert. In der Abteilung Synthese- und Produktentwicklung, geleitet von Dr. Ulrich Wendler, werden die Aktivitäten auf den Gebieten der Synthese- und Materialentwicklung betrieben. In der Abteilung Scale-up und Pilotierung werden unter der

Leitung von Dipl.-Ing. Marcus Vater der Betrieb der Pilotanlage sowie 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.

Das Jahr 2018 war für das Fraunhofer PAZ ein außerordentlich erfolgreiches Jahr, in dem wieder eine Reihe von großvolumigen Industrieprojekten im Technikum bearbeitet wurden.

So wurde ein Projekt aus den Vorjahren zur Pilotierung eines neuen, kundenspezifischen Verfahrens für die Synthese von Polyamiden sehr erfolgreich fortgesetzt. Der Kunde hat mittlerweile die kommerzielle Umsetzung des am Fraunhofer PAZ erprobten Verfahrens beschlossen. Das Projekt wird mit der Pilotierung von neuen Produkten weiterhin unterstützt.

Nachdem im Jahr 2017 für ein weiteres Hochleistungspolymer das Engineering einer Pilotanlage ausgearbeitet wurde, hat das Pilotanlagenzentrum im Jahr 2018 den Auftrag zum Aufbau einer entsprechenden kundenspezifischen Pilotlinie bekommen. Der experimentelle Aufbau befindet sich gegenwärtig in der Umsetzung und ist hinsichtlich Komplexität, Werkstoffen und Auftragsvolumen ein herausragendes Projekt am Fraunhofer PAZ.

Auf dem für das Fraunhofer PAZ traditionell wichtigem Arbeitsgebiet Synthesekautschuk konnten 2018 für einen wichtigen Schlüsselkunden mehrere großvolumige Projekte zur anionischen Polymerisation in unserer kontinuierlichen Rührkaskade akquiriert und erfolgreich durchgeführt werden.

Ein Fraunhofer-internes Verbundprojekt zur Entwicklung von biomimetischem Synthesekautschuk wurde erfolgreich

abgeschlossen. Der entwickelte Synthesekautschuk zeigt bei sonst vergleichbaren Eigenschaften ein besseres Abriebverhalten als Naturkautschuk.

Das Fraunhofer PAZ beteiligt sich an zwei EU-Projekten im Rahmen des Horizon 2020. Im Projekt SUN-PILOT entwickelt ein multidisziplinäres, internationales Konsortium unter Leitung des Trinity Colleges, Dublin, eine neuartige Technologie für die Herstellung von nanostrukturierten Oberflächen, die auf der Selbstorganisation von Blockcopolymeren basiert. Das Fraunhofer PAZ übernimmt in dem Projekt die Verfahrensentwicklung und Maßstabsübertragung einer Synthese von amphiphilen Blockcopolymeren. Das Projekt »Neuartige Produkte für die Bau- und Automobilindustrie auf Basis von Bio-Materialien und Naturstoffen« REINVENT beschäftigt sich mit der effizienteren Nutzung von Biomasse zur Substitution von erdölbasierten Polyurethan-Produkten. Um die Nachhaltigkeit dieser Produkte und Materialien weiter zu verbessern, skaliert das Fraunhofer PAZ in enger Kooperation mit dem Forschungsbereich PYCO Recyclingtechnologien für biobasierte Polyurethane in den halbtechnischen Maßstab.

### Polymerverarbeitung

Der Bereich Polymerverarbeitung unter der Leitung von Professor Peter Michel setzt sich aus den beiden Gruppen »Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge« und »Thermoplastbasierte Faserverbund-Bauteile« zusammen. Unter der Leitung von Dipl.-Ing. Ivonne Jahn entwickelt die Gruppe »Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge« anwendungsspezifische kurz-, lang- und endlosfaserverstärkte Thermoplastverbunde sowie prototypische Halbzeuge. Das Team erweiterte im vergangenen Jahr sein Forschungsspektrum um die Polymeroberflächen- und Grenzflächenthematik. Die Gruppe »Thermoplastbasierte 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.

Das Jahr 2018 stand ganz im Zeichen der Digitalisierung. So beschäftigten sich die Forscherinnen und Forscher mit Fragestellungen zur Digitalisierung von Materialkennndaten und Materialzuständen sowie der Digitalisierung von Verarbeitungs- und Produktionsprozessen. Durch Simulation und Virtualisierung können wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden, die es dem Anwender ermöglichen, Entwicklungszyklen zu verkürzen, Materialeigenschaften zu optimieren sowie Entwicklungskosten zu reduzieren. Im Rahmen des EFRE-geförderten Projekts »DigiLab« wurde beispielsweise eine virtuelle Entwicklungsplattform zur Rezeptierung und Verarbeitung von Kunststoffen entwickelt, die den Nutzern auch als App angeboten wird.

Im Mai 2018 wurde im Beisein eines hochkarätigen Publikums aus Wissenschaft, Industrie und Politik eine Anlage zur Herstellung von unidirektionalen Tapes (UD-Tapes) in Betrieb genommen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Gruppe »Thermoplastbasierte Faserverbund-Halbzeuge« entwickelten gemeinsam mit KraussMaffei diese Anlage, die neue Maßstäbe bei der Herstellung von thermoplastischen Prepregs setzt und damit enormes Potenzial für Anwendungen im Faserverbund-Leichtbau bietet. Mit Fertigungsgeschwindigkeiten von bis zu 20 Metern pro Minute und einer Tape-Breite von bis zu 500 Millimetern ist die Herstellung von UD-Tapes im industriellen Maßstab möglich.

Mit dem offiziellen Spatenstich zum Erweiterungsbau des Bereichs Polymerverarbeitung am Fraunhofer PAZ wurde im November 2018 die Bauphase eingeläutet. Mit dem Erweiterungsbau, der mit einem Investment in Höhe von insgesamt 10 Millionen Euro verbunden ist, wird die Fläche der Polymerverarbeitung um rund 1000 m<sup>2</sup> vergrößert und die technische Ausstattung um hochmoderne Maschinen für den thermoplastbasierten Leichtbau und die Aufbereitung von Elastomercompositen erweitert. |





## 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. It 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, polymer processing and made-to-measure component testing. Here polymer synthesis and polymer processing are closely interlinked.

Priorities in the field of synthesis are in addition to the transfer of new polymer systems to pilot scale and sample synthesis, the synthesis division is increasingly focusing on the development of polyreaction processes. In the area of polymer processing, material development and optimization of processing conditions play an important role in our projects. The funding of research at the Pilot Plant Center is characterized by a high proportion of work commissioned by industry.

The Fraunhofer PAZ is set to expand as part of Saxony-Anhalt's "Regional Innovation Strategy". A total of 15 million euros in funding was applied for from the European Regional Development Fund to expand the building and equipment. The expansion of the Fraunhofer PAZ is currently in the planning and implementation phase.

### Polymer synthesis

Professor Michael Bartke heads up the Polymer Synthesis division, which is subdivided into two departments. In the division Synthesis and Product Development led by Dr. Ulrich Wendler activities in the area of synthesis and material development, are carried out. The Scale-up and Pilot Testing division, led by graduate engineer Marcus Vater, handles the operation of the pilot plant and project management.

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. In addition, new polymer syntheses are transferred from the lab to the pilot scale. This is accompanied by the development and optimization of individual process steps on up to the development of new processes.

2018 was an exceptionally successful year for the Fraunhofer PAZ. During the year a series of large-volume industrial projects were conducted in its pilot plant.

A project from the previous year, which involves the testing of a new, customer-specific process for synthesizing polyamides, is set to continue. The customer has now decided to commercially implement the process piloted at the Fraunhofer PAZ and an industrial production plant is currently being planned. The Fraunhofer PAZ continues to support the project by testing new products.

After a pilot plant for a high-performance polymer was engineered in 2017, the Pilot Plant Center was commissioned in 2018 with establishing a corresponding pilot line tailored to the customer's needs. The experimental design is currently being configured and is an exceptional project at the Fraunhofer PAZ in terms of its complexity, materials and order volume.

Synthetic rubber has traditionally been an important area of research at the Fraunhofer PAZ. In this area, several large-volume projects were acquired and successfully completed in 2018 for a key customer which involved anionic polymerization in our continuous stirred tank cascade.

A joint internal Fraunhofer project to develop biomimetic synthetic rubber was successfully completed. The newly developed synthetic rubber exhibits better abrasion behavior than natural rubber but otherwise has comparable properties.

The Fraunhofer PAZ is participating in two EU projects as part of Horizon 2020. In the SUN-PILOT project, a multidisciplinary, international consortium led by Trinity College, Dublin, is developing a novel technology for the mass production of nanostructured surfaces based on the self-organization of block copolymers. In this project, Fraunhofer PAZ is responsible for developing the process and transferring the synthesis of amphiphilic block copolymers to the kilogram scale. The REINVENT project »Innovative products for the construction and automotive industries based on bio-materials and natural substances« deals with the more efficient use of biomass as a substitute for petroleum-based polyurethane products. In order to further improve the sustainability of these products and materials, the Fraunhofer PAZ, in close cooperation with the PYCO research division of the Fraunhofer IAP, is transferring recycling technologies for biobased polyurethanes to a semi-industrial scale.

### Polymer processing

The Polymer Processing division is led by Professor Peter Michel and is made up of two groups: "Thermoplastic Semi-Finished Fiber Composites" and "Thermoplastic Composite Parts". The Thermoplastic Semi-Finished Fiber Composites group, headed by the graduated engineer Ivonne Jahn, develops application-specific short, long and endless fiber-reinforced thermoplastic composites and prototypes of semi-finished products. The team expanded its range of research last year to include polymer surfaces and boundary surfaces. Dr. Matthias Zscheyge heads the group "Thermoplastic-based Fiber-Composite Components" which develops components and technologies for thermoplastic, lightweight 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.

The year 2018 focused heavily on digitalization. Researchers tackled issues relating to the digitalization of material

characteristics and states as well as the digitalization of processing and production processes. Simulation and virtualization reveal important insights that enable users to shorten development cycles, optimize material properties and reduce development costs. For example, as part of the ERDF-funded project "DigiLab", a virtual platform was developed to formulate and process plastics, which is also available to users as an app.

In May 2018, a facility for the production of unidirectional tapes (UD tapes) was inaugurated in the presence of a distinguished audience from science, industry and politics. In collaboration with KraussMaffei Berstorff, the scientists in the "Thermoplastic Semi-Finished Fiber Composites" group developed a plant that sets new standards in the production of thermoplastic prepegs, thereby providing enormous potential for applications in the area of fiber composites for lightweight applications. Production speeds of up to 20 meters per minute and a tape width of up to 500 millimeters enables UD tapes to be produced on an industrial scale.

The official ground-breaking ceremony for the extension of the Polymer Processing division at Fraunhofer PAZ in November 2018 heralded the start of the construction phase at the Fraunhofer PAZ. The extension, which involves a total investment of 10 million euros, enlarges the polymer processing area by around 1000 m<sup>2</sup> and adds state-of-the-art machines for thermoplastic-based lightweight construction and for the processing of elastomer composites. |

# ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

## Leistungen

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

## Polymercharakterisierung

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

## Pilotanlage – Synthese

### Ausrüstung

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

### Designparameter der Synthesereaktoren

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

## Pilotanlage Verarbeitung

### Ausrüstung

- diverse Versuchswerkzeuge, z. B. Platten- und Hohlkammerplattenextrusion
- Durchsatz: 5 kg/h bis zu 400 kg/h
- gleich- und gegenläufig drehende Doppelschneckenextruder
- gravimetrische Dosieranlagen für unterschiedlichste Materialien
- Hochtemperaturausrüstung bis 430 °C
- modularer Aufbau der Verfahrenseinheiten je nach Anwendung
- Option: Schmelzpumpe
- Profilextrusion mit verschiedenen Geometrien mit Coextrusion
- UD500: Anlage zur Herstellung von unidirektionalen Tapes (UD-Tapes) mittels Schmelzedirektimpregnierung
- verschiedene Granuliersysteme

### Spritzguss

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

# APPLICATIONS AND SERVICES

## Services

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

## Characterization of polymers

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

## Pilot plant – synthesis

### Equipment

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

### Design parameters of synthesis reactors

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

## Pilot plant – processing

### Equipment

- co- and counter-rotating twin-screw extruders
- extrusion profile with different geometries with coextrusion
- gravimetric dosing systems for a variety of materials
- high temperature equipment to 430 °C
- modular design of process units depending on the application
- optional: melt pump
- throughput: 5 kg/h to 400 kg/h
- UD500: System for the production of unidirectional tapes (UD tapes) by melt impregnation
- various experimental tools, e.g. panels and hollow sheet extrusion
- various granulating systems

### Injection molding

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



**FORSCHUNGSBEREICHSL EITER**  
DIVISION DIRECTOR

**Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke**

### 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  
ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de

### Scale-Up und Pilotierung

Scale-up and Pilot Testing

**Dr. Marcus Vater**

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

### Polymerverarbeitung

Polymer Processing  
Fraunhofer IMWS

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

Telefon +49 345 5589-203  
Fax +49 345 5589-101  
peter.michel@imws.fraunhofer.de



properties	unit	standard	NR	BISYKA
strength	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53504	25.8	26.3
strain	%	DIN 53504	570	620
tension 100 %	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53504	2.3	2
tension 200 %	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53504	5.5	4.4
tension 300 %	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53504	10.4	8.3
tear growth resistance	N/mm <sup>2</sup>	DIN ISO 34-1	55	52
shore hardness	ShA	DIN ISO 7619-1	68	65
rebound resilience	%	DIN 53512	46	44
abrasion loss	mm <sup>3</sup>	DIN ISO 4649 A	77	76
density	g/cm <sup>3</sup>	DIN EN ISO 1183-1	1.12	1.12

NR 2 mm: 6 min/160 °C 6 mm: 10 min/160 °C  
 BISYKA 2 mm: 8 min/160 °C 6 mm: 12 min/160 °C



roll resistance - CR	18001	8.4 label class C	
	18002	7.6 label class B	
dry grip - DG	18001	504 kg label class C	
	18002	252 kg label class C	
wet grip - WG	18001	412 kg label class C	
	18002	426 kg label class C	
circular tests - AB	18001	before the test: tread depth 7.30 mm tire weight 9750 g	after the test: tread depth 6.36 mm tire weight 8900 g <b>weight loss: 850 g</b>
	18002	before the test: tread depth 7.30 mm tire weight 9550 g	after the test: tread depth 6.83 mm tire weight 8950 g <b>weight loss: 600 g</b>

- 1 Cured rubber properties of the finished mixtures based on natural rubber (NR) and the biomimetic synthetic rubber (BISYKA).
- 2 a) Drum tire testing machine. b) Road test with the two different tires.
- 3 Results from the tire testing center.

## BIOMIMETISCHER SYNTHESEKAUTSCHUK (BISYKA) ALS ECHE ALTERNATIVE ZUM NATURKAUTSCHUK

### Kooperationen Collaborations

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

**Natur- und Synthetikgummi** gelten als wesentliche Bestandteile von mehr als 40.000 Produkten des täglichen Lebens. Beide Gummigruppen verfügen über besondere und zum Teil auch einzigartige Eigenschaften. Im Bereich der LKW-Reifen ist momentan Naturgummi aufgrund seiner guten mechanischen Performance unverzichtbar. Allerdings sind dessen natürliche Ressourcen begrenzt und eine Erhöhung der Produktionsmenge ist schwierig. Daher wird weltweit nach möglichen Alternativen gesucht. Im Rahmen eines institutsübergreifenden Forschungsprojekts wurden die Ursachen für die einzigartigen mechanischen Eigenschaften des Naturgummis erforscht und deren Übertragung auf Synthetikgummi erarbeitet.

Das Eigenschaftsprofil des Naturgummis kann durch das Auftreten der »dehninduzierten Kristallisation« erklärt werden. Diese Dehnkristallisation entsteht im Wesentlichen in Polyisopren, welches neben der einheitlichen Mikrostruktur auch terminale Gruppen aufweist. Weiterhin gilt als gesichert, dass auch die Biokomponenten des Naturgummis wie Proteine, Terpene und Lipide entscheidend zur guten Performance beitragen.

Im Verbundprojekt ist es gelungen, hoch mikrostruktureines Polyisopren mittels moderner koordinativer Katalysatorsysteme herzustellen und darüber hinaus gezielt zu funktionalisieren. Im Labormaßstab wurden dem Synthetikgummi verschiedene Biokomponenten beigemischt, die aus dem Naturgummi isoliert und biotechnologisch hergestellt wurden. Von diesen Gummisystemen wurde die Dehnkristallisation als materialspezifische Kenngröße bestimmt.

Nach Optimierung aller Parameter wurde ein Scale-up der Synthese in den zweistelligen kg-Maßstab durchgeführt. Die Biokomponenten wurden dabei in einer für die Eigenschaftsgenerierung entscheidenden Prozessstufe eingemischt.

Der modifizierte Synthetikgummi und ein Referenz-Naturgummi wurden dann vergleichend als Bestandteil einer Standardrezeptur von Laufflächenmischungen für LKW-Reifen compounding. Die mechanische Prüfung der zwei vulkanisierten Fertigmischungen zeigte ein gut vergleichbares Verhalten bei den wesentlichen Eigenschaften, wie Weiterreißwiderstand und Dehnung (Fig. 1).

Für einen realen Anwendungstest wurden aus den beiden Fertigmischungen PKW-Reifen hergestellt und im Prüflabor Nord neben der Rollwiderstandsprüfung auch einem Straßentest unterzogen (Fig. 2). Bewertungskriterien waren Rollwiderstand, Trocken- und Nassgriff sowie Abrieb. Auch in diesem Praxistest konnte das neue Fraunhofer-Material eindeutig überzeugen. Die Reifen zeigten ausgehend vom biomimetischen Synthetikgummi in allen Bewertungspunkten bessere Befunde auf (Fig. 3).

Im Projekt BISYKA konnte somit ein innovatives Produkt mit hohem Wertschöpfungs- und Vermarktungspotenzial entwickelt werden. |

## BIOMIMETIC SYNTHETIC RUBBER A GENUINE ALTERNATIVE TO NATURAL RUBBER

**Natural and synthetic rubber** are an essential component of more than 40,000 products used in everyday life. Both types of rubber have specific, partially as well as unique properties. For example, natural rubber is indispensable for truck tires due to its good mechanical performance. However, natural resources are limited and it is difficult to increase production volumes. Thus, alternatives are being sought worldwide.

A joint, interdisciplinary project between various institutes of the Fraunhofer-Gesellschaft has investigated the cause of the unique mechanical properties of natural rubber and has developed a route for transferring them to synthetic rubber.

The superior property profile of natural rubber can be explained by "strain induced crystallization". It is assumed that this phenomenon requires an extremely uniform microstructure of the polyisoprene together with functional end groups. Different biocomponents, such as proteins, terpenes and lipids, also play an important role.

So far one key achievement has been the use of coordination polymerization to produce polyisoprene with a uniform microstructure and tailor-made end groups. This synthetic rubber was mixed on a lab scale with different biocomponents (isolated from natural rubber or produced using biotech processes). The "strain induced crystallization" of these rubber systems was determined to be the material-specific parameter.

Once all parameters were optimized, the process was upscaled to a two-digit kilogram scale. The biocomponents were added during a specific process step in order to create the desired properties.

For comparison, both the modified synthetic rubber and natural rubber as reference were compounded as components of a standard recipe for tread compounds used in truck tires. Mechanical tests of the two vulcanized mixtures showed comparable properties such as tensile strength and strain (Fig. 1).

For real application testing, car tires were produced from the finished mixtures and were tested at Prüflabor Nord, both in a drum tire testing machine as well as on the road (Fig. 2). Evaluation criteria included roll resistance, wet and dry grip, and abrasion. The Fraunhofer material performed well in the practical test. The tires made of the biomimetic synthetic rubber demonstrated better performance in all aspects under evaluation (Fig. 3).

In summary, this "biomimetic synthetic rubber" represents an innovative product with a high potential for added value. |



**Dr. Marlen Malke**  
 Telefon +49 3461 2598 -229  
 marlen.malke@iap.fraunhofer.de

# POLYMERMATERIALIEN UND COMPOSITE PYCO

## POLYMER MATERIALS AND COMPOSITES PYCO

- 106 Polymermaterialien und Composite PYCO**  
Polymeric Materials and Composites PYCO
- 110 Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 112 Bestimmung der Dehnungsenergiefrei-  
setzungsrate  $G_{Ic}$  mit Optical Crack Tracing**  
Measuring the strain energy release rate  $G_{Ic}$  with  
optical crack tracing
- 114 Innovation Hub 13 – fast track to transfer**  
Innovation Hub 13 – fast track to transfer

pioneers in polymers



*Dr. Olaf Kahle neben dem Fallbolzenprüfgerät am Standort Teltow.  
Dr. Olaf Kahle next to the instrumented falling weight impactor on Teltow site.*



## POLYMERMATERIALIEN UND COMPOSITE PYCO

An den Standorten Teltow und Wildau werden im Forschungsbereich Polymermaterialien und Composite PYCO hochvernetzte Polymere (Thermosets oder Duromere) entwickelt. Anwendungen finden sie im Leichtbau sowie in der Mikro- und Optoelektronik für alle wesentlichen Industriebranchen, insb. für die Verkehrstechnik, die Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Windenergiebranche und Gerätetechnik.

### Materialforschung

Der Forschungsbereich beschäftigt sich mit der Entwicklung von Materialien aus vernetzten Kunststoffen und Verbundwerkstoffen (Composite). Die integrierten Fasern, vor allem Kohlenstoff-, Glas- oder Naturfasern, werden dabei als technische Textilien in einer Matrix aus Harz in speziell auf die spätere Anwendung angepasste Geometrien eingebettet, um hervorragende Materialeigenschaften bei vergleichsweise geringer Masse erreichen zu können.

Die Expertise des Forschungsbereichs besteht in der Spezialisierung auf so genannte Reaktivharze (thermosetting resins). Durch chemische Reaktion entsteht aus diesen ein engmaschiges Polymernetzwerk. Der englische Begriff thermosets (im Deutschen auch Duromere oder Duroplaste) wird verwendet, weil er in anschaulicher Art und Weise den Unterschied zu Thermoplast verdeutlicht. Beide Arten von Kunststoffen haben spezifische Vor- und Nachteile.

Die Entscheidung für die Spezialisierung auf Thermosets ist bewusst getroffen worden. Die wichtigsten Vorteile der Thermosets sind offensichtlich: Sie können bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen, teilweise sogar bei Raumtemperatur, gehärtet werden, sie haben eine gute Medienbeständigkeit (gegen Flüssigkeiten, Gase usw.), sie können hohe Temperaturen aushalten (>250 °C) und dehnen sich unter Belastung nicht, da ihre dreidimensionale Netzwerkstruktur starr ist. Deshalb sind sie auch für Strukturanwendungen einsetzbar. Diese Reaktivharzentwicklungen werden beginnend beim Monomer bis hin zum fertigen Bauteil,

einschließlich der dazu erforderlichen grundwissenschaftlichen Arbeiten durchgeführt.

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 (Materialien für Windkraftanlagen) sowie Werkzeuganwendungen im Anlagenmaßstab und Anwendungen im Bauwesen, wie beispielsweise neuartige Carbonfaserbetone.

### Anwendungsspektrum

Das thematische Spektrum des Forschungsbereichs umfasst neue (Nano-)Materialien, Prepregs, Kernwerkstoffe, Schichtverbunde, faserverstärkte Polymere, Sandwichstrukturen, integrierte optische Bauelemente oder 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, Verarbeitungseigenschaften optimiert und Prototypen (häufig gemeinsam mit dem Anwender) hergestellt und charakterisiert sowie Qualitätssicherungsmerkmale erarbeitet.

Umfangreiche Aktivitäten laufen auch auf dem Gebiet strahlungshärtbarer Thermosets, vor allem UV-härtbarer Systeme. Im Rahmen des BMBF-Zwanzig20-Konsortiums Advanced UV for Life koordiniert der Forschungsbereich das Arbeitsfeld Produktion, worin in mehreren Projekten der Einsatz von UV-LEDs im Leichtbau, für Beschichtungen oder auch zum Härten von Materialien für den 3D-Druck erforscht wird.

Der Fokus des Forschungsbereichs liegt seit Mitte der 2000er Jahre auf Leichtbaumaterialien und deren energieeffizienter Prozessierung. So wurden am Standort Wildau eine neuartige modular konfigurierbare horizontale Imprägnieranlage, eine RTM-Anlage, eine Industriemikrowelle mit 8 m<sup>3</sup> Nutzraum sowie eine Mehrfrequenz-Durchlauf-Mikrowellenanlage in Kombination mit Infrarotstrahlern zur homogenen Härtung faserverstärkter Kunststoffbauteile etabliert. Außerdem sind ein Autoklav, eine Spritzgießanlage für Thermoplast- und Duromerematerialien und weitere Technologien verfügbar, um sowohl der Industrie als auch an Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstituten Möglichkeiten der Kooperation in Forschung und Entwicklung anzubieten, die bisher nicht verfügbar waren.

### 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 in die Fläche des Landes Brandenburg ein. Dazu fügt sich das im Dezember 2016 gestartete Projekt zur Planung und zum Aufbau eines Kompetenzzentrums für energie- und ressourceneffizienten Leichtbau in der Region Berlin-Brandenburg, das durch das Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten mit Mitteln des EFRE-Strukturfonds gefördert wird. 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.

Das Projekt Innovation Hub 13 – fast track to transfer, das die TH Wildau gemeinsam mit der BTU Cottbus – Senftenberg erfolgreich im Rahmen der kleinen Exzellenzinitiative des BMBF im Programm »Innovative Hochschule« eingeworben hat, startete mit Jahresbeginn 2018. Der Forschungsbereich

PYCO ist dabei Teil des Konsortiums und verstärkt mit einem Transfer-Scout die Weiterentwicklung der Technologietransferstrukturen in der Region. Diese bis nach Nordsachsen ausstrahlende Projektregion soll ein Modell für erfolgreichen Strukturwandel werden und die Herausforderungen des Ausstiegs aus dem Kohlebergbau und des Strukturwandels meistern helfen.

### Professur an der TH Wildau

Einen weiteren Beitrag zur besseren Vernetzung in der Region stellt die Kooperation des Forschungsbereichs mit der TH Wildau dar. So wurde Dr. Christian Dreyer zum 1. September 2018 auf die Professur Faserverbund-Materialtechnologien berufen. Neben Verpflichtungen in der Lehre, der Betreuung von Studierenden und Praktika sind vor allem auch gemeinsame Forschungsprojekte Ziel dieser engen Verknüpfung zwischen TH Wildau und dem Forschungsbereich Polymermaterialien und Composite PYCO. |

[www.advanced-uv.de](http://www.advanced-uv.de)

[www.leichtbau-brandenburg.de](http://www.leichtbau-brandenburg.de)

[www.innohub13.de](http://www.innohub13.de)

[www.th-wildau.de/personen/christian-dreyer/](http://www.th-wildau.de/personen/christian-dreyer/)



# POLYMERIC MATERIALS AND COMPOSITES PYCO

Highly crosslinked polymers (named thermosets or duromers) are being developed by the Polymeric Materials and Composites PYCO research division at its sites in Teltow and Wildau. These polymers are used in lightweight construction and in micro and optoelectronics in all major industry sectors, particularly transportation (aerospace, automotive, rail), information, communication, wind energy and equipment technology.

## Material research

The PYCO research division develops materials made from crosslinked polymers and composites 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 geometries that are specially adapted to subsequent applications. The result is a comparatively low-weight component with excellent material properties.

The research division is specialized in so-called reactive resins, also known as thermosetting resins. A tightly woven polymer network is created through a chemical reaction. The term thermoset is used for this type of plastic (in German they are known as duromers or duroplastics) because it clearly illustrates the difference to the more widely known and more widespread type of plastic called thermoplastics. Both types of plastics have their specific advantages and disadvantages.

A conscious decision was made to specialize in thermosets. Their main advantages are quite apparent: They can be cured at relatively low temperatures, sometimes even at room temperature. They have a good media resistance (against liquids, gases, etc.) and they can withstand high temperatures (> 250 °C is possible). 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. This also includes the required basic research.

In terms of the division's research profile, transport technology constitutes most of the research work. This is followed by (opto) electronic applications, developments for the energy transition (materials for wind turbines), tool applications at plant scale, and applications for the construction industry, such as innovative carbon-fiber concrete.

## Range of applications

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

As these properties often stand in contrast to one another, particular attention is paid to optimally balance these properties. Starting with monomer synthesis, the production of prepolymers, including the incorporation of our own co-reactants such as flame retardants, tougheners and (our own) fillers, as well as other functional compounds, is investigated in further development steps. Processing properties are developed, prototypes are manufactured and characterized (frequently in conjunction with the user), and quality assurance features are developed. Depending on the development stage desired by the client, reactive resin systems, fiber-reinforced materials, sandwich structures and other components are produced as demonstrators at the end of the development phase.

A wide range of activities are conducted in the field of radiation-curable thermosets, particularly UV-curable systems. The research division coordinates production activities as part of the BMBF Zwanzig20 consortium Advanced UV for Life. Here multiple projects investigate the use of UV-LEDs in light-weight construction, for coatings and for curing 3D printing materials.

The research division Polymeric Materials and Composites PYCO has focused on light-weight materials and their energy-efficient processing since the mid-2000s. The Wildau site has invested in an innovative, modularly configurable, horizontal impregnation system, an RTM unit, an industrial microwave with 8 m<sup>3</sup> of capacity, and a multifrequency throughput microwave combined with infrared radiators to homogeneously cure (fiber-reinforced) plastic components. The site also now has an autoclave, an injection molding machine for thermoplastics and thermoset materials and other technologies that provide new opportunities for R&D cooperation for companies as well as for universities and non-university research institutes in the region – and beyond.

## Polymer research in Brandenburg and beyond

Together with other research divisions at the Fraunhofer IAP, the PYCO research division contributes significantly to a regionalized excellence that stretches beyond Berlin and Potsdam. It spreads its expertise in polymer research throughout the state of Brandenburg – be it in thermosets, like at PYCO research division, or thermoplastics and elastomers like at other Fraunhofer IAP research divisions. Since December 2016, a project has been running through the Ministry for Economic and European Affairs, with funding from the "European Regional Development Fund" (ERDF), that involves planning and creating a competence center for energy- and resource-efficient lightweight construction in the region of Berlin-Brandenburg. The project aims to informally bring together the structures and competencies that exist throughout the State of Brandenburg in order to encourage joint research projects and to provide services in this field within the industrial and research landscape.

The project Innovation Hub 13 – fast track to transfer kicked off in 2018. TH Wildau together with the BTU Cottbus - Senftenberg successfully obtained funding through the so-called small excellence initiative of the BMBF as part of the Innovative University program.

The PYCO research division is part of the consortium and is strengthening the development of technology transfer structures in the region through a transfer scout. This project region, which crosses state borders and extends as far as northern Saxony, is intended to be a model region for successful structural change, helping to overcome the challenges resulting from structural change and the phasing out of coal mining.

## Professorship at TH Wildau

The cooperation between the research division and the Technical University of Applied Sciences in Wildau further contributes to improving networking in the region. Dr. Christian Dreyer, acting head of the research division, was appointed professor of fiber composite material technologies on September 1, 2018. In addition to teaching, supervising students and internships, the close ties between TH Wildau and the research division Polymeric Materials and Composites PYCO. |

[www.advanced-uv.de/en](http://www.advanced-uv.de/en)

[www.leichtbau-brandenburg.de](http://www.leichtbau-brandenburg.de)

[www.innohub13.de](http://www.innohub13.de)

[en.th-wildau.de/people/christian-dreyer/](http://en.th-wildau.de/people/christian-dreyer/)



# ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

## Synthese und Modifizierung

### Lineare, verzweigte und vernetzte:

- Struktur- und Funktionspolymere

### durch:

- Polyaddition
- Polykondensation
- polymeranaloge Reaktionen

### inkl.:

- Partikel
- Recycling
- Verkapselung

## Pilotanlage

- faserverstärkte Composite
- Laminate, Prepregs
- Leichtbaumaterialien (Sandwiches, Kernmaterialien)
- Papier- und Textilbeschichtung

## Leistungen

- anwendungsorientierte Analysen für Produkteinführungen
- Beratung
- Charakterisierung und Testung von Polymeren und Compositen
- 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, Laminate und Sandwichstrukturen
- Erstellung von Studien und Expertenberichten
- Verarbeitung von Polymeren (auch zu Compositen mit anderen Materialien)
- (Weiter-)Entwicklung und Anpassung von Charakterisierungsmethoden

## (Weiter-)Entwicklung spezieller Charakterisie- rungsmethoden

- freilaufendes Torsionspendel
- kontinuierliche Flüssigkeitschromatographie
- Nano-TMA/TGA/DVS
- optische Rissverfolgung (OCT)
- Permeationsmessplatz
- Volumendilatometrie (in Kooperation mit InnoMat GmbH, Teltow)
- Wellenleitermesstechnologie

## Struktur-Eigenschafts- Beziehungen

- Adhäsionsphänomene
- mechanische, temperaturabhängige, elektrische und optische Eigenschaften
- Verarbeitungseigenschaften

## Unterstützung bei

- Implementierungen neuer Technologien und deren Anpassung an spezifische Produktionsbesonderheiten
- neuen Messtechnologien zur Polymercharakterisierung
- Polymerentwicklung

# APPLICATIONS AND SERVICES

## Synthesis and modification

### linear, branched, and crosslinked:

- structural and functional polymers

### through:

- polyaddition
- polycondensation
- polymer-analogous reactions

### including:

- encapsulation
- particles
- recycling

## Pilot plant

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

## Services

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

## Development and advancement of special characterization methods

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

## Structure-property relationships

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

## Support by

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



FORSCHUNGSBEREICHSL EITER  
DIVISION DIRECTOR

Prof. Dr. Christian Dreyer (acting)

### Kontakt | Contact

### Harzformulierung und Charakterisierung

Resin Formulation and  
Characterization

Prof. Dr. Christian Dreyer

Telefon +49 3328 330 - 284

Fax +49 3328 330 - 282

christian.dreyer@iap.fraunhofer.de

### Strahlungs- und schnellhärtende Systeme

Radiation and Rapid  
Curing Systems

Dr. Mathias Köhler

Telefon +49 3328 330 - 278

Fax +49 3328 330 - 282

mathias.koehler@iap.fraunhofer.de

### Harzsynthese und Halbzeuge

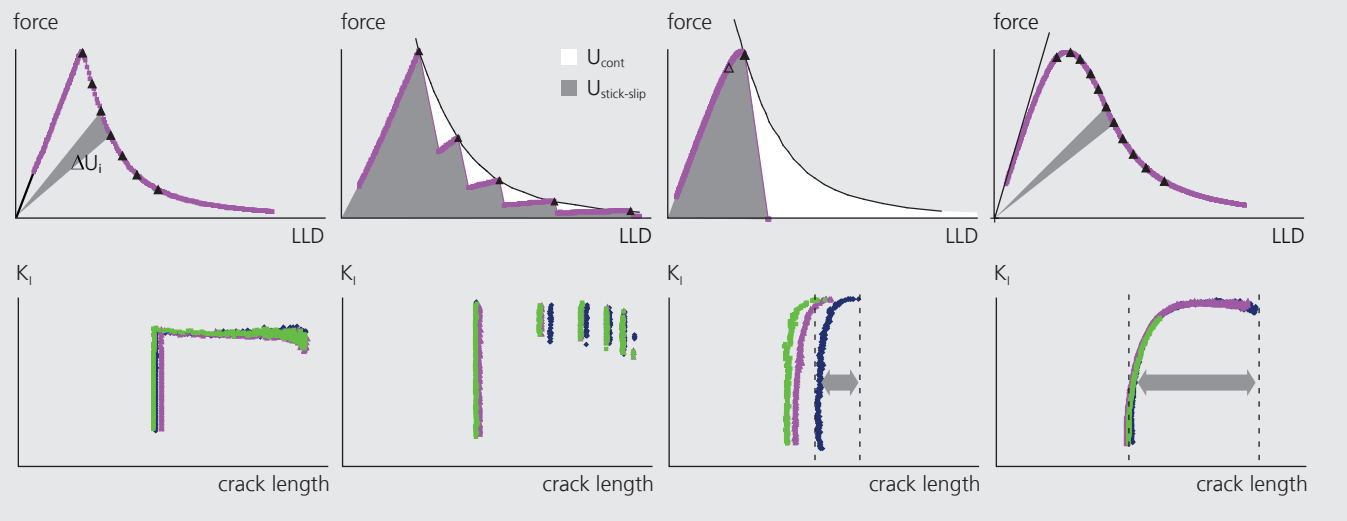
Resin Synthesis and  
Semi-finished Components

Dr. Sebastian Steffen

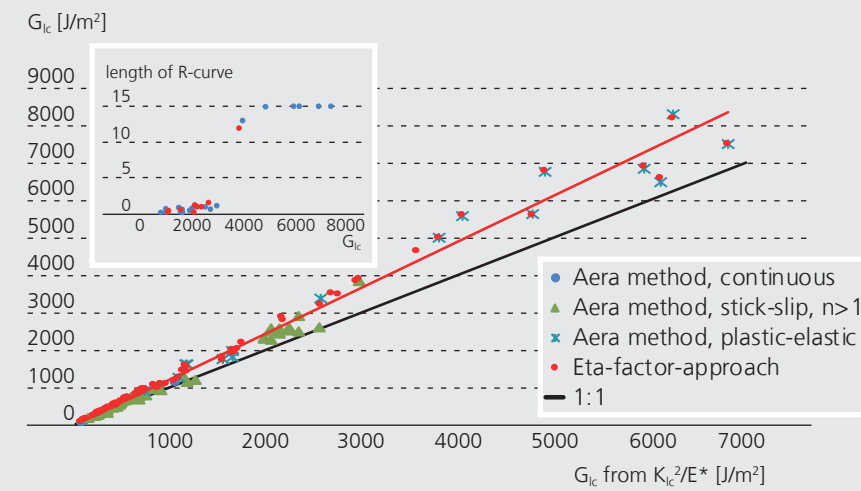
Telefon +49 3328 330 - 246

Fax +49 3328 330 - 282

sebastian.steffen@iap.fraunhofer.de



1



2

1 Modes of crack propagation: brittle-continuous, stick-slip, transition from stick-slip to ductile, ductile-continuous: above: load-displacement curves, below: R-curves ( $K_I(a)$ ).

2  $G(\text{area})$  and  $G(\text{eta-factor})$  as a function of  $G_{IC}=K_{IC}^2/E^*$  for toughened and neat resins: Inlay: length of R-curve at onset of instable crack propagation (see Fig. 1) as a function of  $G_{IC}$ .

## BESTIMMUNG DER DEHNUNGSENERGIEFREISETZUNGSRATE $G_{IC}$ MIT OPTICAL CRACK TRACING

### Literatur Literature

[1] C. Uhlig, M. Bauer, O. Kahle: *A Study of the Inhomogeneity of Thermosetting Resin Networks by Optical Crack Tracing (OCT)*, *Micromaterials and Nanomaterials* 11, pp. 110–113 (2009)

[2] C. Uhlig, M. Bauer, J. Bauer, O. Kahle, A. C. Taylor, A. J. Kinloch: *Influence of backbone structure, conversion and phenolic co-curing of cyanate esters on side relaxations, fracture toughness, flammability properties and water uptake and toughening with low molecular weight polyethersulphones*, *Reactive and Functional Polymers* 129, pp. 2–22 (2018)

### Förderung Funding

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung EFRE-StaF, »Energieeffiziente Verbundwerkstoffe mit exzellentem Eigenschaftsprofil – EnerVeE«

### Kooperationen Collaborations

Hexcel Composites Ltd., Dunford (Great Britain)

Wacker Chemie AG, Burghausen, Nünchritz

Sika Technology AG, Zürich (Switzerland)

Hexion Specialty Chemicals GmbH, Duisburg

**Reaktivharze weisen im gehärteten Zustand** hohe E-Module und Festigkeiten auf und haben durch niedrige Viskositäten Verarbeitungsvorteile gegenüber Thermoplasten. Sie sind im Hochleistungsbereich (Luftfahrt, Elektronik) vorherrschend. Von Nachteil ist ihre intrinsische Sprödigkeit. Die Erhöhung der Bruchzähigkeit (Zähmodifizierung) ist sowohl im Forschungsbereich PYCO des Fraunhofer IAP, als auch weltweit ein vorrangiges chemisches Forschungsgebiet. Hierfür werden effiziente Messmethoden benötigt, die relevante, vergleichbare Werte für die Bruchzähigkeit liefern.

Die Entwicklung einer automatisierten optischen Messtechnik zur Messung der Bruchzähigkeit durch Rissverfolgung (OCT) war ein wesentlicher Durchbruch, der es auch Nicht-Experten erlaubt, zeitgemäße Konzepte der Bruchmechanik anzuwenden [1]. Während die Methodik sich bereits in der chemischen und Composite-Industrie durchzusetzen beginnt, arbeitet der Forschungsbereich PYCO in wissenschaftlichen Projekten an der weiteren Verbesserung der Methodik im Hinblick auf die Genauigkeit und Aussagekraft.

Zunächst stand der K-Faktor im Mittelpunkt, da hier am schnellsten die Überlegenheit der Methodik deutlich wurde [2]. Da in faserverstärkten Kunststoffen ebenso wie in theoretischen Modellen jedoch die kritische Dehnungsenergiefreisetzungsrates  $G_{IC}$  üblicher als  $K_{IC}$  ist, wurden in einem aktuellen Projekt verschiedene Methoden zur Bestimmung von  $G_{IC}$  auf die OCT-Rohdaten angewandt und miteinander verglichen. Dafür wurde ein umfangreicher Datensatz aus einem vorangegangenen Projekt analysiert.

Das Bruchverhalten von spröden bis ultrazähmodifizierten Reaktivharzen ist in Fig. 1 beispielhaft gezeigt.

$G_{IC}$  kann mit der Area-Methode, der  $\eta$ -Faktor-Methode sowie durch  $G_{IC}=K_{IC}^2/E^*$  bestimmt werden. Beim Stick-Slip-Verhalten kann die Areamethode auf die gefittete rückgerechnete Kraft-Verformungskurve, bei kontinuierlicher Rissausbreitung direkt auf die Messdaten, angewandt werden. In Fig. 2 sind  $G_{IC}$ (Area-Methode) sowie  $G_{IC}$ ( $\eta$ -Faktor-Methode) über  $G_{IC}=K_{IC}^2/E^*$  aufgetragen. Areamethode und  $\eta$ -Faktormethode führen zum gleichen Ergebnis. D. h. die  $\eta$ -Faktormethode liefert beim Stick-Slip-Verhalten die Ergänzung der Dreiecksfläche zum theoretischen Verlauf für eine kontinuierliche Rissausbreitung. Diese  $G$ -Bestimmung liegt ca. 20 Prozent über der von  $G_{IC}=K_{IC}^2/E^*$ , was bisher in der Literatur noch nicht bekannt war. Sowohl Unsicherheiten in Bezug auf plain stress/plain strain als auf die Poissonzahl erklären diese Diskrepanz nicht völlig.

Auffällig ist die stark zunehmende Streuung oberhalb von  $G_{IC}=3000 \text{ J/m}^2$ . Diese korreliert mit dem Übergang von instabiler Rissausbreitung, mit kurzer plastischer Zone vor dem Riss, zu duktilem stabilen Rissausbreitungsverhalten (Inlay Fig. 2). Die aktuelle Herausforderung besteht darin, die offenbar intrinsische Streuung zu verstehen. |

## MEASURING THE STRAIN ENERGY RELEASE RATE $G_{IC}$ WITH OPTICAL CRACK TRACING

**Thermosetting resins exhibit** high stiffness and strength in the cured state and have processing advantages over thermoplastics because of their low viscosity. These polymeric materials are prevalent in high performance applications in industries such as aerospace and microelectronics. Their main drawback is an intrinsic brittleness. Toughening is a major focus of chemical development in thermosets worldwide and also an active field of research at the PYCO research division at the Fraunhofer IAP. There is also a need for accurate, meaningful and efficient testing methods.

The development of an automated optical technique to measure fracture toughness by monitoring crack propagation (OCT) proved to be a success in this respect, bringing contemporary fracture mechanics into the labs of non-experts [1]. While this is starting to be used in the chemical and composites industry, the research division PYCO continues to improve the method with respect to accuracy and relevance.

At first work focused on the K-factor: Using OCT to measure  $K_I(a)$  proved to be immediately successful [2]. However, the critical strain energy release rate  $G_{IC}$  is used more often than  $K_{IC}$  in both toughness modeling and in composites. In a recent project, different methods to determine  $G_{IC}$  were applied to the same OCT raw data using an extensive set of data from a preceding project.

Typical examples of fracture behavior, ranging from brittle to highly toughened thermosets, are shown in Fig. 1.

$G_{IC}$  can be determined using the area method, the  $\eta$ -factor-approach or by  $G_{IC}=K_{IC}^2/E^*$ . If there is stick-slip behavior, the area method can be applied to a fitted recalculated load-displacement curve. In the case of continuous crack propagation behavior, it can be applied directly to the measured data. In Fig. 2,  $G_{IC}$ (area method) and  $G_{IC}$ ( $\eta$ -factor approach) are plotted in comparison with  $G_{IC}=K_{IC}^2/E^*$ . Both area method and  $\eta$ -factor approach lead to identical results. In the case of stick-slip behavior, the  $\eta$ -factor value corresponds to the triangle area supplemented by the area formed by the theoretical load-displacement curve for corresponding continuous crack propagation behavior. This  $G$  determination leads to values that are about 20 percent higher than those obtained with  $G_{IC}=K_{IC}^2/E^*$  which has yet to be reported in the literature. Both uncertainties regarding plain stress/plain strain and poisson ratio do not fully account for this discrepancy.

There is a distinct increase in scatter above  $G_{IC}=3000 \text{ J/m}^2$ . This correlates with the transition from instable crack propagation (after a short period of plastic zone growth) to ductile stable crack propagation behavior (inlay Fig. 2). Currently the aim is to understand the apparently intrinsic scatter. |



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



**Dipl.-Phys. Christoph Uhlig**  
Telefon +49 3328 330-290  
Fax +49 3328 330-282  
christoph.uhlig@iap.fraunhofer.de





**Innovation  
Hub 13**  
fast track to transfer

## INNOVATION HUB 13 – FAST TRACK TO TRANSFER

### Förderung Funding

Projekt Innovation Hub 13,  
Bundesministerium für Bildung und  
Forschung, BMBF, Berlin  
Förderinitiative »Innovative  
Hochschule«, FKZ 03IH5022A

### Kooperationen Collaborations

TH Wildau  
BTU Cottbus - Senftenberg  
Fraunhofer-Zentrum für  
Internationales Management und  
Wissensökonomie IMW, Leipzig  
Leibniz-Institut für Raumbezogene  
Sozialforschung e.V., IRS, Erkner

Im Rahmen des Modellprojekts »Innovation Hub 13« soll das Innovationspotenzial des südlichen Brandenburgs und des nördlichen Sachsens, einer eher peripheren und von schwierigen strukturellen Umbrüchen geprägten Region, systematisch genutzt und positiv beeinflusst werden. Die initialen Themenbereiche des Projekts sind Leichtbau, Life Science, und Digitale Integration. Im Themenbereich Leichtbau sind die BTU Cottbus - Senftenberg, die TH Wildau und der Forschungsbereich PYCO des Fraunhofer IAP wichtige Akteure im Transformationsprozess dieser Region und daher auch Partner im Projekt. Ziel des Innovation Hub 13 ist es die regionalen Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik, Verwaltung und Gesellschaft systematisch in einer neuen Form zusammenzubringen um gemeinsam Innovationen zu generieren. Für die Vernetzung der Akteure in der Region wurden fachlich kompetente und im Transfer erfahrene Personen als Transferscouts eingestellt. Durch die systematische Arbeit der Transferscouts an den drei Einrichtungen als zentrale Akteure des Innovation Hubs werden die Interaktionen zwischen den Innovationspartnern deutlich erhöht, der Transfer von Forschungsergebnissen in Innovationen signifikant beschleunigt und die Innovations- und Transferrate nachhaltig gesteigert.

Zu Beginn des Projekts steht die Interaktion mit den in der Region aktiven Multiplikatoren im Vordergrund. Dazu gehören neben den Industrie- und Handelskammern sowie Handwerkskammern auch die Wirtschaftsförderer der Länder Brandenburg und Sachsen, die Wirtschaftsförderer der Landkreise und Regionen aus der Projektregion sowie die fachlich passenden Verbände und Vereine. Der intensive Austausch mit diesen Akteuren und die eigenen Präsentationen im Rahmen etablierter Formate sollen die Bekanntheit des Projekts und damit auch der Kompetenzen der beteiligten Partner erhöhen. Parallel dazu werden interessante Unternehmen auf Messen und anderen Veranstaltungen direkt angesprochen und über das Projekt sowie die beteiligten Partner informiert. Die Transferscouts arbeiten in den Gesprächen mit den Unternehmen deren Unterstützungsbedarf bei der Entwicklung neuer Produkte heraus. Mit diesem Wissen suchen die Transferscouts anschließend nach Fachleuten in der eigenen Einrichtung oder bei den Partnern, die die fachlichen Fragestellungen beantworten können. Es kann durchaus sein, dass dafür Partner aus allen beteiligten Einrichtungen hinzugezogen werden, wenn dies für die Beantwortung der Fragestellung des Unternehmens notwendig ist. Im Folgenden informieren die Transferscouts die Unternehmen über die verschiedenen Möglichkeiten der Kooperation und der damit verbundenen Fördermöglichkeiten. Die initiierten Projekte werden so weit begleitet, wie es die Partner wünschen; die Kompetenzen der Projektpartner zusätzlich in Transfersteckbriefen und einem Portfolio dargestellt. |

## INNOVATION HUB 13 – FAST TRACK TO TRANSFER

The pilot project **Innovation Hub 13** aims to systematically use and positively impact the innovation potential of Southern Brandenburg and Northern Saxony, a relatively peripheral region characterized by difficult structural upheavals. Initial project topics include Lightweight Construction, Life Science and Digital Integration. As key players in the transformation process of this region, BTU Cottbus - Senftenberg, TH Wildau and the research division PYCO at the Fraunhofer IAP have joined forces in the project in the area of lightweight construction. Innovation Hub 13 systematically brings together regional players from business, science, politics, administration and society in a new way with the aim of generating innovation together. Knowledge transfer specialists have been recruited as transfer scouts in order to network regional stakeholders. The systematic work of the transfer scouts at the three key institutions of Innovation Hub 13 significantly increases the interaction between the innovation partners, fundamentally accelerates the transfer of research results into innovations, and sustainably increases the innovation and transfer rates.

The main goal at the start of the project is to create interaction with the multipliers working in the region. The chambers of industry and commerce, the chambers of crafts and trades and the business development organizations of the federal states of Brandenburg and Saxony are involved in this process as well as the business development agencies and the relevant clubs and associations located in the districts and regions of the project, all of whom are joining forces to make the project a success. An intensive knowledge exchange between these actors, as well as the presentation of our own work using established formats, should increase the awareness of the project and thus also the competences of the partners involved. At the same time, interesting companies are directly approached at trade fairs and other events and informed about the project and the partners involved. The transfer scouts conduct discussions with the companies in order to establish their need for support in the development of new products. Armed with this knowledge, the transfer scouts then look for experts at their own institutions and at partner institutions who are able to answer these technical questions. Partners from all participating institutions may be consulted if necessary. The transfer scouts then inform the companies about the different cooperation and funding opportunities. The initiated projects are accompanied by the transfer scouts as far as the partners wish. The competences of the project partners are additionally presented in transfer profiles and a portfolio. |



**Dr. Stefan Kamlage**

Telefon +49 3328 330-299

Fax +49 3328 330-282

stefan.kamlage@iap.fraunhofer.de

# ZENTRUM FÜR ANGEWANDTE NANOTECHNOLOGIE CAN

CENTER FOR APPLIED  
NANOTECHNOLOGY CAN

pioneers in polymers

- 118 Entwicklung und Anwendung nanoskaliger Materialsysteme**  
Development and application of nanoscale material systems
- 122 Anwendungen und Dienstleistungen**  
Applications and services
- 124 Aufskalierbare Syntheserouten von Nanopartikeln für die Elektrokatalyse**  
Scalable nanoparticle synthesis and its use in electrocatalysis
- 126 Quantenmaterialien für kundenspezifische Anwendungen**  
Quantum materials for customer-specific applications

*Dr. Christoph Gimmler vor dem Flussreaktor zur kontinuierlichen Herstellung von Metallnanopartikeln.  
Dr. Christoph Gimmler in front of the flow reactor for the continuous production of metal nanoparticles.*





# ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG NANOSKALIGER MATERIALSYSTEME

Das Centrum für Angewandte Nanotechnologie (CAN) ist seit dem 1. Januar 2018 als siebter Forschungsbereich am Standort Hamburg in das Fraunhofer IAP integriert. Der Forschungsschwerpunkt und die Kernkompetenz liegen im Bereich der Synthese und Anwendung kolloidaler Nanopartikel und ergänzen damit das Portfolio des Fraunhofer IAP in idealer Weise. Vor der Zugehörigkeit zur Fraunhofer-Gesellschaft agierte CAN 11 Jahre als GmbH, deren Gesellschafter sich aus der Freien und Hansestadt Hamburg, der Universität Hamburg und einem Trägerverein aus Wirtschaft und gesellschaftlich relevanten Gruppen zusammensetzten. Das Tätigkeitsfeld hat sich durch die Integration kaum geändert: forschungsgetriebener Technologietransfer aus der mittlerweile 35-jährigen akademischen Forschung zu Nanopartikeln an der Universität Hamburg.

Der Forschungsbereich CAN besteht aus den vier Abteilungen »Quantenmaterialien«, »Nanomedizinische Anwendungen«, »Home and Personal Care« sowie »Nanoskalige Energie- und Strukturmaterialien«. Im Mittelpunkt stehen die Herstellung und Charakterisierung von Materialien in Form von anorganischen Nanopartikeln und Nanocompositen sowie das Design acrylbasierter Verdicker. Etablierte Partikelsysteme umfassen fluoreszierende, magnetische, elektrisch- und wärmeleitfähige, röntgenopake, elektrokatalytisch-aktive, metallische und keramische Nanopartikel. Neben der erfolgreichen Akquirierung neuer Industrie- und Drittmittelprojekte stand die Planung und der Beginn kooperativer Forschungsvorhaben mit anderen Arbeitsgruppen im Fraunhofer IAP im Vordergrund, bei denen die unterschiedlichen Expertisen zusammenkommen und durch die Synergie neue Märkte erschlossen werden können.

In der Abteilung **Quantenmaterialien** werden Verfahren zur Synthese und zur Verarbeitung nanoskaliger Halbleiter-

teilchen (Quantum Dots) entwickelt. Das Besondere an diesen Partikeln besteht darin, dass ihre Bandlücke sowohl im makrokristallinen Zustand durch die Zusammensetzung als auch vorrangig durch die Größe und Form der Teilchen eingestellt werden kann. Kombiniert man Größen- und Formkontrolle zusätzlich mit maßgeschneiderten Verfahren zur Oberflächenbeschichtung und chemischen Funktionalisierung können diese Partikel für eine breite Anwendungspalette genutzt werden. Besonders hervorzuheben sind die Bereiche Display und Lighting, aber auch ihr Einsatz in optischen Detektoren und als fluoreszente Marker in der biomedizinischen Diagnostik. Schon zu GmbH-Zeiten hat CAN ein patentgeschütztes Herstellungsverfahren entwickelt, bei dem die Teilchen im kontinuierlichen Fluss erzeugt werden. Man erzielt hiermit einerseits eine den konventionellen Verfahren im Kolben bzw. Rührkesselreaktor deutlich überlegene Reproduzierbarkeit von Partikelgröße und -form und kann andererseits die Produktion einfach und sicher in den Kilogramm- und Tonnenbereich aufskalieren. Ein Highlight 2018 war die erfolgreiche Industriekooperation zur Entwicklung besonders photostabiler Quantum Dots unter sehr hohen Lichtintensitäten. Ehrgeizige gemeinsame Arbeiten mit dem Forschungsbereich »Funktionale Polymersysteme« zur Entwicklung von nanopartikelbasierten NIR Detektoren, LEDs mit polarisierter Emission und Druckverfahren für Security Labels führten bereits zu sehr vielversprechenden Ergebnissen und belegen eindrucksvoll den Gewinn durch die Integration des Forschungsbereichs CAN in das Fraunhofer IAP.

In der Abteilung **Nanomedizinische Anwendungen** werden fluoreszente, magnetische und plasmonische Nanopartikel biokompatibel verkapselt und für diagnostische und therapeutische Anwendungen optimiert. Besonderes

Highlight 2018 waren Beiträge zur Entwicklung eines Medikaments gegen Autoimmunkrankheiten wie Multiple Sklerose. Hier gelang es in Kooperation mit einem erfolgreichen Start-up Unternehmen wesentliche Hürden zu klinischen Studien zu überwinden, so dass 2019 die Überführung in die Klinik erfolgen kann. Die erfolgreiche Zusammenarbeit soll auch in den nächsten Jahren in Form direkter Industrienaufträge und Drittmittelvorhaben fortgesetzt werden.

Im Rahmen interner Integrationsprojekte mit dem Forschungsbereich »Lifescience und Bioprozesse« wurden Kopplungsverfahren von Quantum Dots mit Antikörpern entwickelt und für diagnostisch-mikroskopische Untersuchungen eingesetzt. Die fluoreszenten Quantum Dots erwiesen sich gegenüber klassischen Fluoreszenzfarbstoffen als deutlich überlegen und es wird gegenwärtig eine Patentanmeldung vorbereitet. Ein anderes Integrationsprojekt befasst sich mit der biokompatiblen Verkapselung von Quantum Dots und Gold Partikeln mit Glykopolymeren. Ziele der Zusammenarbeit sind die Entwicklung sensorischer Nanopartikel und die Entwicklung eines künstlichen Pankreas.

**Home and Personal Care** befasst sich schwerpunktmäßig mit Anwendungen acrylatbasierter Verdicker und Nanopartikel im Bereich der Kosmetik. 2018 standen dabei Arbeiten mit einem namhaften Kosmetikkonzern auf dem Gebiet aluminiumfreier Antitranspirantien und neuartiger Materialien für Deodorants im Fokus. Durch die Integration des Forschungsbereichs wurde Kosmetik als forschungsbereichsübergreifendes Schwerpunktthema identifiziert und gemeinsame Arbeiten geplant.

Die Abteilung **Nanoskalige Energie und Strukturmaterialien** befasst sich schwerpunktmäßig mit der Entwicklung und Anwendung von anorganischen Nano-

partikeln zu Themen der Energiekonversion. Hierzu gehören z. B. metallische Nanopartikeln zur Elektrokatalyse in Brennstoffzellen und Seltenen Erden dotierten Nanoteilchen für Beleuchtungszwecke. Weiterhin wurden Aktivitäten im Bereich hochbeanspruchter Nanocompositmaterialien aufgebaut. 2018 gelang es, je ein Drittmittelprojekt mit enger Industriebindung zu den Themen Brennstoffzelle und nanopartikeläre Leuchtdioden zu etablieren. Ziel im Bereich der Brennstoffzellen ist eine deutliche Kostenreduktion. Dazu werden speziell aufgebaute Nanokristalle mit nur einem geringen Platinanteil zur Methanol- und zur Wasserstoff-Oxidation verwendet, die bereits eine deutliche Effizienzsteigerung gegenüber klassischen Platinkatalysatoren aufweisen. Zur Produktion dieser Teilchen konnte ein Flussreaktorsystem aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Die Arbeiten konzentrieren sich jetzt auf die Systemintegration und die Langzeitstabilität unter realen Einsatzbedingungen. Im Bereich der Seltenen Erden dotierten Nanopartikel geht es um den Einsatz und die Optimierung dieses Materials in Weißlicht-LEDs zur energieeffizienteren Erzeugung wärmeren Weißlichts.

Gemeinsame Untersuchungen an Folien und Compositmaterialien haben zudem mit dem Forschungsbereich Biopolymere begonnen, bei denen durch Einbau von Nanoteilchen, die Kristallinität der Folien und damit deren mechanischen und Barriereigenschaften verbessert werden soll. |



## DEVELOPMENT AND APPLICATION OF NANOSCALE MATERIAL SYSTEMS

The Center for Applied Nanotechnology (CAN), located in Hamburg, was integrated into the Fraunhofer IAP as its seventh research division on January 1, 2018. CAN's research focus and core competencies are in the field of synthesis and application of colloidal nanoparticles, thereby perfectly supplementing the portfolio of the Fraunhofer IAP. Before it became a member of the Fraunhofer-Gesellschaft, CAN was a limited liability company for 11 years and its shareholders were the Free and Hanseatic City of Hamburg, the University of Hamburg, a sponsoring association from industry and socially relevant groups. Its integration has had little impact on its field of activity: the research-driven transfer of technology stemming from 35 years of academic research on nanoparticles at the University of Hamburg.

The CAN research division consists of four departments: "Quantum Materials", "Nanomaterial Applications", "Home and Personal Care", and "Nanoscale Energy and Structural Materials". Research focuses on the production and characterization of inorganic nanoparticles and nanocomposites as well as the design of acrylic-based thickeners. Established particle systems include fluorescent, magnetic, electrically and thermally conductive, radiopaque, electrocatalytically active, metallic and ceramic nanoparticles. In addition to successfully acquiring new industry projects and externally funded projects, focus has been on planning and launching collaborative research projects with other research groups at the Fraunhofer IAP. These projects unite a range of expertise and use synergies to open up new markets.

The **Quantum Materials** division develops methods for the synthesis and processing of nanoscale semiconductor particles (quantum dots). The special feature of these particles is that, like in the macrocrystalline state, their band gap can be adjusted both by the composition as well as by the size and shape of the particles. By controlling size and shape and combining this with customized methods of surface coating and chemical functionalization, these particles can be used in a wide range of applications, in particular, displays and lighting as well as in optical detectors and as fluorescent markers in biomedical diagnostics. At CAN GmbH times a patent-protected manufacturing process was developed that produces the particles in a continuous flow process. This significantly improves the reproducibility of the particle size and shape compared to conventional processes in piston-flow or stirred tank reactors. Production can also be easily and reliably scaled up to the kilogram and ton range. One highlight in 2018 was a successful industrial partnership which developed particularly photostable quantum dots under very high light intensities. An ambitious partnership with the Functional Polymer Systems research division has already led to very promising development results for nanoparticle-based NIR detectors, polarized emission LEDs and printing processes for security labels. This impressively demonstrates the advantages of integrating the CAN research division into the Fraunhofer IAP.

In the **Nanomaterial Applications** department, fluorescent, magnetic and plasmon nanoparticles undergo bio-

compatible encapsulation and optimization for diagnostic and therapeutic applications. A special highlight of 2018 was helping to develop a drug to fight autoimmune diseases such as multiple sclerosis. In cooperation with a successful start-up company, major hurdles to clinical trials were overcome so that the drug can be transferred to clinical practice in 2019. The successful collaboration will continue in the coming years in the form of direct industry contracts and externally funded projects.

As part of internal integration projects with the Life Science and Bioprocess research division, methods for coupling quantum dots with antibodies were developed and used for microscopic diagnostic testing. The fluorescent quantum dots proved to be unequivocally superior to traditional fluorescent dyes and a patent is currently being filed. Another integration project deals with the biocompatible encapsulation of quantum dots and gold particles with glycopolymers. The collaboration aims to develop sensory nanoparticles and an artificial pancreas.

**Home and Personal Care** focuses on the application of acrylate-based thickeners and nanoparticles in the field of cosmetics. In 2018, the division worked in a partnership with a well-known cosmetics group to develop aluminium-free antiperspirants and innovative materials for deodorants. Since the integration of the research division, cosmetics has been identified as a topic that spans research areas. Also collaborations are being planned.

The **Nanoscale Energy and Structural Materials** division focuses on development and testing of nanoscale material in energy conversion applications; i.e. metallic nanoparticles for electrocatalysis in fuel cells and rare earth-doped nanoparticles for lighting purposes. It is developing its activities in the field of highperformance nanocomposite materials. In 2018, it was possible to establish externally funded projects with close industrial involvement in the areas of fuel cells and light-emitting diodes. The goal of the fuel cell project is to significantly reduce costs. Specially constructed nanocrystals containing only a small amount of platinum are used for methanol and hydrogen oxidation. They have already demonstrated a significant increase in efficiency over conventional platinum catalysts. To produce these particles, a flow reactor system was set up and put into operation. Work now focuses on system integration and long-term stability under real operating conditions.

Joint investigations into films and composite materials have also begun in collaboration with the Biopolymers research division. The project aims to improve crystallinity, as well as mechanical and barrier properties by incorporating nanoparticles. |



# ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

## Nanoskalige Energie- und Strukturmaterialien

- Herstellung von Beschichtungen und dünnen Filmen aus Nanopartikeln
- Herstellung von Nanopartikel-basierten Tinten und Pasten
- Herstellung von Nanopartikel-Polymer-Compositen im Labormaßstab

## Materialien – Synthese und Verarbeitung von

- metallischen Nanopartikeln für Elektrokatalyse (Brennstoffzelle)
- oxidischen Nanopartikeln für optoelektronische Anwendungen, Funktionsträger und Füllstoff
- Seltene Erden dotierten Nanopartikeln für LED/Beleuchtung, Life Sciences, Sicherheitsanwendungen, Energiekonversion/Photovoltaik, Optoelektronik

## Charakterisierung von

- kolloidalen Lösungen/Dispersionen und Funktionsschichten von/aus Nanopartikeln
- Nanopartikelpulvern
- Oberflächenstrukturen/Beschichtungen

## Home und Personal Care

### Polymerentwicklung

- amphotere Polymere und Polyelektrolyte
- antibakterielle Polymere
- bioabbaubare Polymere
- Hydrogele und Pasten
- Materialien mit Strukturfarben (z. B. Perleffekt)
- multifunktionelle Polymere
- Rheologiemodifizierer
- schaltbare Polymere

### Partikelentwicklung

- Anpassung der Dispergierbarkeit
- antibakterielle Partikel
- bioabbaubare Polymerpartikel (z. B. Peeling)
- Nano- und Mikropartikel
- Opacifier
- Pigmente
- UV-Schutz Partikel

### Formulierung

- Beseitigung von Instabilitäten
- Charakterisierung
- Cosmeceuticals
- Entwicklung, Optimierung, Kompatibilität
- Konservierung
- Mehrphasensysteme

### Analytik

- Chromatografie
- Licht- und Elektronenmikroskopie
- Oberflächenspannung und Kontaktwinkel
- Rheologie
- Spektroskopie
- Streuungs- und Beugungsmethoden
- thermische Methoden/Kalorimetrie

# APPLICATIONS AND SERVICES

## Nanoscale energy and structural materials

- manufacturing of nanoparticle-based inks and pastes
- manufacturing of nanoparticle-polymer composites in lab scale
- manufacturing of thin films

## Materials – synthesis and further processing of

- changing dispersibility/tailor-made applications in different matrices
- ligand exchange or encapsulation
- metallic nanoparticles for electrocatalysis (fuel cells)
- oxidic nanoparticles for optoelectronic applications, i. e. as electrodes, functional and filler material
- rare earth doped nanoparticles for life sciences, security taggants, LED-lighting, photovoltaics, optoelectronics
- surface modification of nanoparticles

## Characterization of

- colloidal dispersions and thin films based on nanoparticles
- powders
- surface structures/coatings

## Home and Personal Care

### Polymer Development

- amphoteric polymers and polyelectrolytes
- antibacterial polymers
- biodegradable polymers
- hydrogels and pastes
- materials with textured colors (e. g. pearl effect)
- multifunctional polymers
- rheology modifiers
- stimuli responsive polymers

### Particle development

- antibacterial particles
- biodegradable polymer particles (e. g. peeling)
- controllable dispersion
- nano- and microparticles
- opacifier
- pigments
- UV protection particles

### Formulations

- characterization
- cosmeceuticals
- development, optimization, compatibility
- elimination of instabilities
- multi-phase systems
- preservation

### Analytics

- chromatography
- light and electron microscopy
- rheology
- spectroscopy
- scattering and diffraction methods
- surface tension and contact angle
- thermal methods/calorimetry



**FORSCHUNGSBEREICHSLIETTER**  
DIVISION DIRECTOR

**Prof. Dr. Horst Weller**

Telefon +49 40 2489639 - 10  
horst.weller@iap.fraunhofer.de

## Quantenmaterialien

Quantum Materials

**Dr. Jan Steffen Niehaus**

Telefon +49 40 2489639 - 26  
jan.steffen.niehaus@iap.fraunhofer.de

## Nanomedizinische Anwendungen

Nano-medical Applications

**Dr. Theo Schotten**

Telefon +49 40 2489639 - 16  
theo.schotten@iap.fraunhofer.de

## Home and Personal Care

Home and Personal Care

**Dr. Vesna Aleksandrovic-Bondzic**

Telefon +49 40 2489639 - 12  
vesna.aleksandrovic-bondzic@iap.fraunhofer.de

## Nanoskalige Energie- und Strukturmaterialien

Nanoscale Energy and Structure  
Materials

**Dr. Christoph Gimmler**

Telefon +49 40 2489639 - 20  
christoph.gimmler@iap.fraunhofer.de

## AUFSKALIERBARE SYNTHESEROUTEN VON NANOPARTIKELN FÜR DIE ELEKTROKATALYSE

### Literatur Literature

- [1] S. Zhou, K. McIlwrath, G. Jackson, B. Eichhorn: *Enhanced CO Tolerance for Hydrogen Activation in Au-Pt Dendritic Heteroaggregate Nanostructures*, J. Am. Chem. Soc. 128 (6), pp. 1780–1781 (2006)  
DOI: 10.1021/ja056924+
- [2] J. Zhang, K. Sasaki, E. Sutter, R. R. Adzic: *Stabilization of Platinum Oxygen-Reduction Electrocatalysts Using Gold Clusters*, Science Vol. 315, Issue 5809, pp. 220–222 (2007)  
DOI: 10.1126/science.1134569
- [3] J. Greeley, I. E. L. Stephens, A. S. Bondarenko, T. P. Johansson, H. A. Hansen, T. F. Jaramillo, J. Rossmeisl, I. Chorkendorff and J. K. Nørskov: *Alloys of platinum and early transition metals as oxygen reduction electrocatalysts*, NATURE CHEMISTRY, Vol. 1, p. 552 ff (2009)  
DOI: 10.1038/NCHEM.367
- [4] O. Savadogo, K. Lee, K. Oishi, S. Mitsushima, N. Kamiya, K. I. Ota: *Preparation and application in assembling high-performance fuel cell catalysts of colloidal PtCu alloy nanoclusters*, Electrochem. Commun. 6, p. 105 (2004)  
Journal of Power Sources, Vol. 395, pp. 66–76 (2018)  
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2018.05.055

**Brennstoffzellen sind ein wichtiger Vertreter** im Energiemix der Zukunft. Die Energieeffizienz von Brennstoffzellen mit ca. 60 Prozent liegt über der herkömmlicher Verbrennungsmotoren (ca. 30 Prozent). Gleichzeitig würde sich bei einem flächendeckenden Einsatz von Brennstoffzellen ein erhebliches Einsparpotenzial beim CO<sub>2</sub>-Ausstoß realisieren lassen. Die Weiterentwicklung von Brennstoffzellen birgt daher vielversprechende Möglichkeiten für ihren Einsatz im mobilen als auch stationären Bereich.

Vor diesem Hintergrund werden am Fraunhofer IAP im Forschungsbereich CAN in Hamburg platinbasierte, nanoskalige Katalysatormaterialien zum Einsatz in Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen (PEM-Brennstoffzellen) entwickelt und getestet. Üblicherweise wird in solchen Systemen Platin als Katalysator verwendet. Das Edelmetall ermöglicht es, die im eingesetzten Treibstoff (z. B. Wasserstoff oder Methanol) chemisch gespeicherte Energie bei deutlich erhöhter Reaktionsgeschwindigkeit in elektrische, dem System entnehmbare Energie umzuwandeln. Die Kosten, die für dieses Edelmetall anfallen, machen 20 Prozent der Gesamtkosten für das System PEM-Brennstoffzelle aus. Diesen Kostenanteil durch Reduktion der benötigten Platinmenge zu senken und die katalytische Aktivität eines solchen Materials weiter zu erhöhen, stellen daher nach wie vor wichtige Ziele dar, die zu einer vermehrten Kommerzialisierung von Brennstoffzellen führen würden.

Platinbasierte Elektroden erfahren insbesondere in Methanol-Brennstoffzellen, einem Vertreter der PEM-Brennstoffzelle, eine Deaktivierung durch die Oberflächenvergiftung mit Reaktionszwischenprodukten, vornehmlich Kohlenmonoxid. Legierungen mit Übergangsmetallen wie Nickel oder Kobalt sowie Gold-Platin-Heterostrukturen [1–3] zeigen verbesserte katalytische Aktivitäten im Vergleich zu reinen Platin-Nanopartikeln bei erhöhter Stabilität [4]. Nanopartikel eignen sich aufgrund ihres großen Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnisses in idealer Weise zur Verwendung als Katalysator. Dabei ist für eine Kommerzialisierung von Brennstoffzellen die Verfügbarkeit von genügend, qualitativ hochwertigen Katalysatormaterialien Grundvoraussetzung. Hier setzt ein aktuelles, vom Bundesministerium für Wirtschaft gefördertes, F&E-Vorhaben am Fraunhofer IAP an. Mittels eines Flussreaktors, der in Hamburg entwickelt wurde, ist es gelungen, die etablierte Batchsynthese für Metallnanopartikel auf einen kontinuierlichen, skalierbaren Prozess zu transferieren.

Das Projekt umfasst die Synthese neuartiger Kern-Schale-Nanopartikel, deren Aufskalierung in den Technikumsmaßstab via Flussreaktor bis zur Testung dieser neuartigen Nanopartikel in kommerziellen Brennstoffzellensystemen. Es wird die gesamte Wertschöpfungskette vom Rohstoff bis zum Produkt abgebildet. |

## Scalable nanoparticle synthesis and its use in electrocatalysis

**Fuel cells are an important factor** in the future energy mix. Their efficiency rates reach as high as 60 percent, surpassing combustion engines. Thus, future developments and advancements within the field of fuel cell technology open up new opportunities for stationary and mobile applications. At the same time, widespread use of fuel cells would greatly help to reduce CO<sub>2</sub> emissions.

With this in mind, the Fraunhofer IAP is developing and characterizing nanoscaled and platinum-based catalyst material for use in polymer electrolyte membrane fuel cells (PEM-FC). Such systems typically use pure platinum as catalyst material. The precious metal allows the energy chemically stored in a fuel (e. g. hydrogen methanol) to be converted into electrical energy at a much faster reaction rate, which can then be utilized to power external appliances. But it also accounts for about 20 percent of the total costs of a typical fuel cell system. Lowering the costs by reducing the amount needed for catalyzing the above-mentioned reaction is still one of the major hurdles facing the commercialization of fuel cells. Like most chemical reactions, catalysis takes place on surfaces. The large surface-to-volume ratio of nanoparticles makes them an ideal candidate for catalyst material. Going one step further by adding a non-precious metal to the mix will further help to drive costs down.

Furthermore, platinum electrodes in methanol fuel cell systems can deactivate as a result of catalyst poisoning from intermittent reaction products, especially carbon monoxide, in acidic media. As a consequence, scientists are looking for less costly alternatives to platinum catalysts that have comparable kinetic properties. Alloying platinum with transition metals like nickel, cobalt or using gold-platinum heterostructures [1–3] produces the desired, enhanced catalytic activity while also improving stability [4]. The widespread commercialization of fuel cell systems requires the availability of large amounts of high-quality nanoscale catalyst material. An ongoing BMWi-funded project at the Fraunhofer IAP is examining the transfer from a batch reaction and upscaling of high-quality nanoparticle production. Using a continuously running flow reactor developed in Hamburg, it is possible to transfer the well-established batch synthesis of platinum-based nanoparticles to an easily scalable process while still achieving a high-quality product.

The project encompasses all necessary steps, from basic research into novel core-shellstructured nanoparticles through to the upscaling of the manufacturing process using the continuous flow reactor and particle testing in commercially available fuel cell systems. Thus, it is possible to simulate the value chain from the manufacturing of the raw material all the way to the final product. |



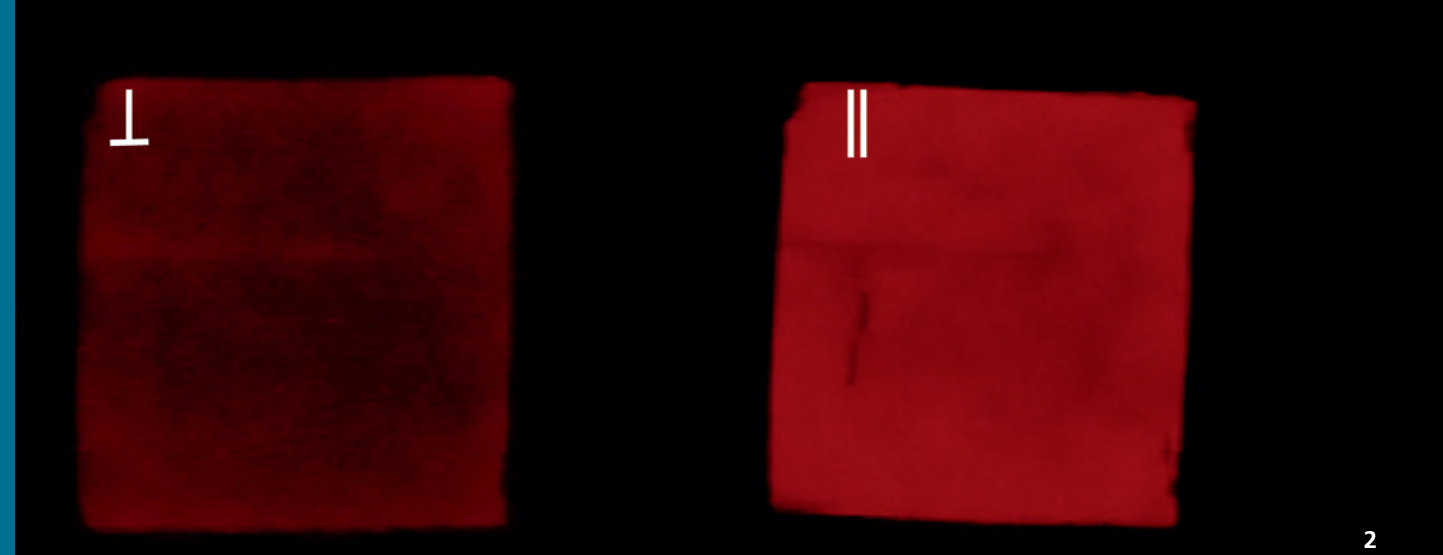
**Dr. Christoph Gimmler**  
Telefon +49 40 2489639-20  
christoph.gimmler@iap.fraunhofer.de



- 1 Quantum size effect visualized by the emission colors of CdSe quantum dots with increasing sizes ranging from 2 to 5 nm.
- 2 Polarization for a quantum dot film: different emission intensity in dependency on the orientation of polarization filter (left: perpendicular orientation; right: parallel orientation).



1



2

## QUANTENMATERIALIEN FÜR KUNDENSPEZIFISCHE ANWENDUNGEN

In den frühen 1980er Jahren begann die intensive Erforschung von Halbleitermaterialien welche eine Größe von nur wenigen Nanometern besitzen. Diese Nanopartikel bestehen aus wenigen tausend Atomen und werden als Quantum Dots bezeichnet [1]. Speziell in ihren optoelektronischen Eigenschaften unterscheiden sich Quantum Dots deutlich von makroskopischen Festkörpern mit gleicher Zusammensetzung. So ist z. B. die Bandlücke von Quantum Dots – anders als bei makroskopischen Festkörpern – keine Materialkonstante, sondern nimmt mit abnehmendem Teilchendurchmesser zu [2]. Dieses als Größenquantisierungseffekt bezeichnete Verhalten wird besonders anschaulich bei der Durchstimbarkeit der Emissionswellenlänge sichtbar. So lässt sich beispielsweise bei CdSe die Emission von blau über grün, gelb, orange bis rot schmalbandig und stufenlos im Bereich 2–5 nm einstellen (Fig. 1). Prof. Horst Weller, Forschungsbereichsleiter des Fraunhofer-Centrums für Angewandte Nanotechnologie CAN, gehört zu den weltweit führenden Pionieren auf dem Gebiet der Synthese, Charakterisierung und Anwendung solcher Quantum Dots. Darauf aufbauend besitzt der Forschungsbereich CAN umfassende Expertise und zahlreiche Schutzrechte auf diesem Gebiet. Ein besonderes Alleinstellungsmerkmal ist die in Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg entwickelte Flussreakorteknik zur Herstellung von kolloidalen Nanopartikeln [3]. Diese Technik erlaubt es Nanopartikel kontinuierlich und mit anders unerreichbarer Reproduzierbarkeit auch in großen Mengen bis in den kg-Bereich hinein herzustellen. Gerade die Kombination von Reproduzierbarkeit und Produktionsvolumen ist entscheidend für den weiteren Eintritt von Quantum Dots in verschiedene Anwendungsfelder. Daher wird die kontinuierliche Flusssynthese bei fast allen Aktivitäten als Kernelement eingesetzt.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit der Abteilung Quantenmaterialien liegt auf der Synthese und Applikation von multidimensionalen Quantum Dots. Das Aufwachsen einer elongierten Schale auf einen Quantum Dot führt zu außergewöhnlichen Eigenschaften wie der Polarisation des emittierten Lichts (Fig. 2). Solche häufig als Quantum Rods bezeichneten Nanopartikel besitzen zudem sehr hohe Quantenausbeuten und eine gesteigerte Stabilität gegenüber Temperatur oder Photooxidation [4].

Der Forschungsbereich CAN nutzt die einzigartigen Eigenschaften solcher Partikel für die Entwicklung neuartiger Anwendungen in unterschiedlichen Bereichen. Hierzu zählt beispielsweise der Displaybereich, für den Quantum Dots aufgrund ihrer hohen Farbgüte und einstellbaren Emission bereits heute als schmalbandige Emissionsfarbstoffe in hochpreisigen TV-Geräten eingesetzt werden. Quantum Dots mit niedrigen Bandlückenenergien zeigen zudem eine einstellbare Absorption im für spektroskopische Anwendungen hochinteressanten nahen und mittleren infraroten Spektralbereich und können daher als aktive Absorbermaterialien in neuartigen Photodetektoren angewandt werden. Auch im diagnostischen Bereich sind kleine, stabile Emittoren von großem Interesse. |

## QUANTUM MATERIALS FOR CUSTOMER-SPECIFIC APPLICATIONS

Since the early 1980s, extensive research has been conducted in the field of nanometer sized semiconducting particles. These particles, often referred to as quantum dots, commonly consist of only a few thousand atoms [1]. The characteristics of these small particles, especially their optoelectronic properties, strongly differ from those of their bulk counterparts. While the band gap of bulk semiconductors is a material-specific constant, a quantum mechanical effect – the quantum size effect – kicks in when the crystals are shrunk to the nanometer scale, causing a widening of the band gap as particle size decreases [2]. The tunability of the band gap influences the photoluminescence of CdSe quantum dots. As their size increases from 2 to 5 nm, their emission colors go from blue, to green, to yellow, to orange, to red (Fig. 1). Prof. Horst Weller, who is the director of the Fraunhofer CAN division, is an internationally recognized pioneer in the field of quantum dot synthesis, characterization and application. Building upon his experience, the research division has a broad range of expertise and many patents in this field. One unique capability is the synthesis of colloidal quantum dots in a microfluidic continuous flow reactor, which was established in collaboration with the University of Hamburg [3]. This technique allows nanoparticles to be produced continuously and with otherwise unreachable reproducibility even in large quantities up to kg-scale. These characteristics are key to introducing quantum dots into different novel fields of application.

A further core area of the department of Quantum Materials is the synthesis and application of multidimensional quantum dots. Growing an elongated shell onto quantum dots leads, for example, to a polarization of the particles' optical emission (Fig. 2). Such elongated core-shell particles, often referred to as quantum rods, also exhibit high photoluminescence quantum yields, increased temperature stability and photooxidation [4].

The CAN research division exploits the unique properties of quantum dots for the development of novel applications in different fields. For example, quantum dots are of major interest for the display industry. Here, they are already incorporated as emitter materials into high-end TVs due to their tunable narrow-band emission, which enables a wide color gamut. The Fraunhofer CAN explores new possibilities for applying (e. g. anisotropic) quantum dots and rods as optically (color converter) or electronically (LED) pumped emitter materials with unique characteristics. Quantum dots with low bandgap energies in a wavelength range of a few micrometers exhibit absorption features in the near and mid infrared spectral range, which are highly interesting for spectroscopic applications. We explore the use of such particles as absorber materials in novel types of photodetectors for hyperspectral analysis. Small and stable emitters are also of great interest in the field of diagnostics. |



**Dr. Jan Niehaus**

Telefon +49 40 2489639-26  
jan.steffen.niehaus@iap.fraunhofer.de

**Dr. Sören Becker**

Telefon +49 40 2489639-29  
soeren.becker@iap.fraunhofer.de

### Kooperationen Collaborations

Laser Zentrum Hannover e.V., Hannover

LifePhotonic GmbH, Bonn

Medizinische Hochschule Hannover: Tissue Engineering, Bioreaktoren, Klinische Anwendung, Hannover

Universitätsklinikum Bonn, Bonn

Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben

ams AG, Premstätten (Österreich)

JOHANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Graz (Österreich)

Universität Hamburg, Physikalische Chemie, Hamburg



# FAKTEN, PUBLIKATIONEN, STANDORTE

## FACTS, PUBLICATIONS, LOCATIONS

- 130 Ausstattung**  
Equipment
- 138 Zusammenarbeit**  
Collaboration
- 152 Patente**  
Patents
- 156 Publikationen**  
Publications
- 164 Anfahrt**  
How to reach us
- 165 Standorte**  
Locations
- 166 Impressum**  
Editorial notes

pioneers in polymers



*Fraunhofer IAP am Standort Potsdam-Golm.  
Fraunhofer IAP at Potsdam-Golm site.*



# AUSSTATTUNG

## Polymersynthese – Polymerverarbeitung

### Reaktoren und Knetter

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

### Pilotanlage PLA-Synthese

- Aufwickelvorrichtung für Rundstränge und Schläuche
- Dünnschichtverdampfer
- Filamentgranulator
- Folienabzugsvorrichtung
- kleintechnische Reaktorsysteme
- Mini-Compounder
- Rektifikationskolonne
- Schmelzekristallisator

### Prozessanalyse

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

### Probenvorbereitung und Probenaufarbeitung

- Bead Beater-Homogenisator
- Cryo-Schwingmühle

- Dispergiergerät
- Filamenttrockner
- Gefriertrocknungsanlagen
- Granulattrockner
- Hochdruckhomogenisator
- Jet-Kocher
- Klimakammer
- Kolloidmühle
- Labor- und Technikums-zentrifugen
- Labormixer für Pulver
- Lösungsaggregate für Volumen von 3–10 kg
- Ozonisator
- Pflugschar-Mischer
- Sandstrahlgerät
- Siebmaschinen
- Sprühtrockner
- thermische Gradientenbank
- TURBULA® Mischer
- Ultrafiltrationsanlagen
- Ultraschallhomogenisator
- Ultrazentrifugen
- Umluft- und Vakuum-trockenschränke
- Wirbelschichttrockner
- Zentrifugalmühle

### Compound-Herstellung

- 3D-Drucker, Fused Deposition Modeling, Stereolithographie
- 3D-Drucker, Schmelzschichtung (FFF), selektives Lasersintern (SLS)
- Bandabzüge
- Extrusionsblasformmaschine
- flexibel konfigurierbare Doppelschneckenextruder; Schneckendurchmesser: 12 mm, 18 mm, 25 mm und 27 mm; Verfahrenslänge:

- bis 52 D, mit gravimetrischen Dosiereinheiten
- Granulierer
- konische Doppelschneckenextruder für Kleinstmengen ab 5 cm<sup>3</sup>
- Labor-Prüfwalzwerk
- Luft-Heißabschlag
- physikalische Verschäumungseinheit Optifoam
- Plattenpressen bis 300x300 mm<sup>2</sup> Pressfläche
- Schmelzepumpen
- Wasserbäder
- Zweischneckencompounder

### Folienherstellung

- Chill-Roll Anlagen
- Einschneckenextruder, Schneckendurchmesser 20 mm, 25 mm und 30 mm
- Labor-Blasfolien-Anlagen
- monoaxiale Labor-Reckanlage für Folien und Fasern
- Rakeltechnologie zur Prozessierung dünner Polymer- und Elastomerschichten
- Thermoform- und Skin-Pack-Geräte
- Werkzeuge für Gießfolien und Flachfolien in 1-Schicht, 3-Schicht und 5-Schicht Ausführung

### Spritzgießen

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

- Spritzgießwerkzeuge für Thermoplaste und Duromere

### Faserspinnanlagen

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

### Carbonfaseranlagen

- 2x2 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

- Atmosphärendruck-plasmagerät mit Gasmisch-einheit
- Atomlagenabscheidung (ALD)
- automatisches Filmziehgerät
- Corona-Treater
- Derivatisierungskammer
- Easycoater
- Excimer-Strahler
- kaltaktives Plasmagerät
- kontinuierliche Waschanlage für Flachmembranen
- Labor-Plasmareaktoren
- Langmuir-Waage
- Membranziehmaschine für Flachmembranen

- Metallisierungsgeräte
- Pilot-Plasmaanlage
- Plasmaanlage für Bahnware
- Rotary coater
- Spin coater

### Pilotanlagenzentrum PAZ

- 15 Hauptreaktoren (50–870 L)
- Bandtrockner
- Begasungsreaktor bis 100 bar, 300 °C
- Dünnschichtverdampfer
- Emulsionslinie (batch und konti)
- Fließbettrockner
- gleichlaufende parallele Doppelschneckenextruder unterschiedlicher Größe
- Hochviskostechnik I Knetter
- Hochviskostechnik II Scheibenreaktor
- Injection Molding Compounder KM 1300–14 000 IMC (Schließkraft 1300 Tonnen)
- Lösungspolymerisation (batch und konti)
- Massepolymerisationslinie (batch und konti)
- Rührkesselkaskade
- Spritzgießmaschine KM 200 (Schließkraft 200 Tonnen)
- Sprühtrockner
- Suspensionslinie

### Polymermaterialien und Composite PYCO

- 3D-Profilometrie
- Autoklav
- CNC-Bearbeitung von FVKs und Metallen
- Dissolver
- Duroplastspritzguss

- Elektronenstrahlanlage
- Heizpressen (max. 1500 x 1500 mm)
- horizontale und vertikale Pilotimprägnieranlagen
- Klimakammer
- Mikrowellenhärtung (8 m<sup>3</sup> Ofen und kontinuierlich)
- optische Charakterisierung dünner Schichten
- Präzisionshärtungsöfen
- Prepreg-Technologie
- RTM-Anlage
- vertikale Imprägnieranlage für bahnförmige Materialien

### Organische, elektronische und diffraktiv optische Bauelemente

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

### Biotechnikum, S1

- 2 L, 15 L, 100 L-Fermenter
- Massenspektrometer zur Gasüberwachung
- Autoklaven 120 L
- Fermentationsanlage
- Gefriertrocknungsanlage 10 L
- Heißluft-Sterilisator

## Charakterisierung und Polymerbearbeitung

### Lasertechnik

- Festkörperlaser (532 nm)
- HeNe-Laser (633 nm)
- Holographie-Aufbau mit Festkörperlaser 355 nm, 100 mW Leistung, mit in-situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- Holographie-Aufbau mit holographischem Festkörperlaser 488 nm und mit holographischem Festkörperlaser 532 nm, 2 W Leistung, mit in-situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- Lasergravur- und Schneidsystem (30 W, 10 640 nm)
- Messplatz für DFB-Polymer-Laser: 2 DPSS, gepulste Nd:YAG Laser (frequency-doubled und tripled 532 nm und 355 nm, 0,5 ns), Detektion mit Jobin Ivon iHR 320 CCD-Spektrometer (spektrale Auflösung 0,1 nm)

### Chromatographie und Lösungscharakterisierung

- Combustion Ionenchromatograph
- dn/dc-Bestimmung
- Dünnschicht-Chromatograph (TLC)
- Eluenten: Wasser, diverse wässrige Puffer, DMSO, THF, Dichlormethan, Dimethylformamid/LiBr Hexafluoropropanol/Na-Trifluoracetat

- Gaschromatograph mit Massenspektrometer, Headspace
- Gel-Permeations-Chromatographen mit Multidetektion (VISCO, MALLS, UV, RI, ELSD), analytisch
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatograph mit DAD-Detektor
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatographen mit Massenspektrometer
- Tensiometer
- Titrator
- Trübungsphotometer

#### Spektroskopie

- ATR-FTIR Spektrometer
- CCD-Spektrometer
- dielektrische Spektroskopie
- Fluoreszenz-Spektrometer
- FTIR-Spektrometer (MIR, NIR)
- FT-Raman-Spektrometer
- Hamamatsu Spektrometer zur Messung der Quanteneffizienz
- heizbares ATR-Spektrometer und DRIFT-Einheit
- high performance Fluoreszenz-Spektrometer
- hochauflösendes NMR-Spektrometer für Festkörper
- hochauflösendes NMR-Spektrometer für Flüssigkeiten
- ICP optisches Emissionsspektrometer
- Massenspektrometer
- Oberflächen-Plasmon-Resonanz-Spektrometer
- Röntgenphotoelektronen-Spektrometer (XPS)

- UV/VIS Mikroskop-Spektrometer
- UV/VIS-NIR Spektralphotometer mit Ulbricht-Kugel
- UV/VIS-Spektrometer

#### Rheologie

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

#### Morphologie und Strukturaufklärung

- dynamische Wasserdampfsorption
- hochauflösende 3D-Lichtmikroskopie
- Lichtmikroskope mit Video- und Bildanalysetechnik
- optische, Luminiszenz- und Polarisations-Mikroskopie
- Quecksilberporosimetrie
- Rasterelektronenmikroskop inkl. Röntgenmikroanalyse (EDX) und Rückstreuungsdetektor, Ausrüstung für Kryopräparation feuchter Proben
- Röntengeräte für Weitwinkel- (WAXS) und Kleinwinkelstreuung (SAXS)

- Transmissionselektronenmikroskop, Ultradünnschnitttechnik, Kryomikrotomie, Abdrucktechniken
- volumetrische Gasadsorption (BET)

#### Materialkenndaten

- Abbe-Refraktometer
- Cone-Kalorimeter
- Dart-Drop (Fallbolzen)-Gerät
- Dichtebestimmung von Festkörpern und Flüssigkeiten
- Dichtegradientensäule
- digitales Biegeschwinger-Dichtemessgerät
- Druckverformungsrest-Prüfeinrichtung
- Durometer
- dynamisches Scanning-Kalorimeter (DSC)
- dynamisch-mechanische Analyse (DMA)
- Geräte zur Bestimmung der Materialfeuchte
- Helium-Pyknometer zur Dichtebestimmung
- klimatisiertes, mechanisches Prüflabor mit: Universal-Zugprüfmaschine, Kerbschlaggerät, Dauerbiegeprüfgerät, Fasernassscheuerprüfgerät, Härteprüfgerät, Dickenmessgerät, Vibroskop zur Bestimmung der Feinheit von Fasern
- Kugel-Rückprall-Tester
- Ladungsträgerbeweglichkeitsmessplatz
- Membrantestanlage für Gase

- M-Linien-Messplatz (Bestimmung des Brechungsindex, Doppelbrechung und Schichtdicke)
- OLED-Lebensdauer messplatz
- Optical-Calcium-Spiegel-Messplatz
- Partikelgrößenmessgeräte
- Permeationsmessstände für Gase und Flüssigkeiten
- Polarimeter
- Porometer für durchgängige Poren im Bereich 500 bis <0.02 mm
- Suntester
- thermisch-mechanische Analyse (TMA, Dilatometrie)
- thermogravimetrische Analyse (TGA)
- Trübungsphotometer
- Universalprüfsystem mit Temperierkammer und Laserextensometer
- Zetapotenzial-Analysengeräte

#### Oberflächenanalyse

- digitales Mikroskop
- digitales Refraktometer
- Ellipsometer/Multiskop
- Fluoreszenzspektrometer
- Infrarotspektrometer (ATR, IRRAS)
- Infrarot-Thermografiesystem
- Kontaktwinkelgoniometer
- Kontaktwinkelmessung
- Messsystem basierend auf Fokusvariation
- Messsystem für elektrische Oberflächenpotenziale
- Oberflächenplasmonenresonanzgerät
- Rasterkraftmikroskop
- Röntgenphotoelektronen-Spektrometer (XPS)

#### Molekularbiologie und Biochemie

- Thermocycler
- DGGE/SSCP-Anlage
- Geldokumentationsanlage mit multipler Detektion
- Gelelektrophorese und Blotting-Systeme
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatograph mit UV- und Leitfähigkeits-Detektion
- isoelektrische Fokussierung
- isothermales Titrationskalorimeter (ITC)
- Mikroplattenleser (Absorption, Fluoreszenz)
- NanoDrop
- Real-Time Thermocycler
- UV/VIS-Spektrometer
- Autoklaven
- Casy Zellzähler
- Hochleistungs-Thermocycler
- Inkubatoren, Schüttelinkubator
- inverses Fluoreszenzmikroskop
- konfokales Laserscanning-Mikroskop
- Mikroplatten-Lesegerät für ELISA-assays
- Sicherheitswerkbänke Klasse II mit drei Filtern
- Spektrophotometer
- Stereomikroskop mit digitaler Kamera
- Zentrifugen, Ultrazentrifugen

#### Nanotechnologie

##### Synthese und Aufarbeitung

- 20 L-Rührkesselreaktor
- Autoklavreaktor (0,6 L)
- Batchreaktoren in Schlenktechnik-Ausführung
- Handschuhboxen mit Belackungsschleuder und Aufdampfanlage
- Kühlzentrifuge
- Mikrofluidik-Reaktoren zur kontinuierlichen Synthese
- Belackungsschleuder
- Tauchbeschichtung
- Doppelschneckenextruder (Labormaßstab)
- Spritzgussanlage (Labormaßstab)
- Elektrochemische Impedanzspektroskopie
- Potentiostat/Galvanostat
- Profilometer zur Oberflächenanalyse
- Sauerstoffpermeationsmessgerät
- Sonnensimulator
- Wärmeleitfähigkeitsmessgerät

#### Home and Personal Care

##### Polymersynthese und -aufarbeitung

- Gefriertrockner
- Laborreaktoren 1–5 L mit Pumpsystemen
- Muffelöfen

##### Analytik

- dynamische und statische Lichtstreuung
- Gel-Permeations-Chromatographie (GPC)
- Kontaktwinkelmessung
- Materialprüfmaschine (Zwick)
- Oberflächenspannungsmessung mit Du Noüy Ring Tensiometer
- Profilometer
- Rheometer/Viskosimeter
- Thermogravimetrie (TGA)
- Zetasizer

##### Nanomedizinische Anwendungen

##### Organische Synthese

- Mikrowellen-Reaktor CEM Discover S
- Mikrowellen-Reaktor MLS Ethos Plus 2
- Ultraschall-Homogenisator Bandelin Sonopuls HD 3200

Ausführliche Informationen zu unserem umfangreichen Analytikangebot finden Sie unter:

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





# EQUIPMENT

## Polymer synthesis – Polymer processing

### Reactors and kneaders

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

### Pilot plant PLA synthesis

- filament granulator
- film take-off-device
- melt-crystallizer
- mini-compounder
- pilot plant scale tank reactors
- rectification column
- thin film evaporator
- winder for winding up round strands and hoses

### Process analysis

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

### Sample preparation and reprocessing

- air-circulation and vacuum drying ovens
- bead beater homogenizer

- dissolving aggregates for volumes of 3–10 kg
- high pressure homogenizer
- laboratory and pilot plant centrifuges
- laboratory mixer for powder
- centrifugal mill
- climate chamber
- colloid mill
- CryoMill
- disperser
- filament dryer
- film formation bank
- fluidized bed drier
- freeze dryers
- jet cooker
- ozonizer
- pellet dryer
- ploughshare batch mixer
- sand blasting machine
- screening machines
- spray dryer
- TURBULA® mixer
- ultracentrifuges
- ultrafiltration system
- ultrasonic homogenizer

### Compound processing

- 3D printers, fused deposition modeling, stereolithography
- 3D printers, fused filament fabrication (FFF), selective laser sintering (SLS)
- band take-offs
- conical twin screw extruders for compounding of small volume samples (>5 cm<sup>3</sup>)
- extrusion blow molding machine

- 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
- hot-cut air pelletizer
- melt pumps
- pelletizer
- physical foaming equipment Optifoam
- platen presses up to 300 x 300 mm<sup>2</sup> press area
- testing roll mill
- twin screw compounder
- water baths

### Film manufacturing

- chill-roll units
- doctor-blade techniques in order to process thin polymer and elastomer layers
- laboratory blown film lines
- monoaxial laboratory stretching unit for film and monofilament
- single screw extruders; screw diameters: 20 mm, 25 mm and 30 mm
- thermoforming and skin pack equipment
- tools for cast-film and flat-film processing in monolayer, 3-layer and 5-layer version

### Injection molding

- injection molding machines with 220 kN, 350 kN and 550 kN clamping force

- injection molding tools for thermoplastics and thermosets
- piston injection molding machine for small amounts
- plastification units for thermoplastics and thermosets

### Fiber spinning lines

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

### Carbon fiber equipment

- 2 x 2 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 1.5–50 m/h

### Surfaces, films and membranes

- atmosphere plasma device with gas mixing unit
- atomic layer deposition (ALD)
- automatic film applicator coater
- cold active plasma device
- continuous washer for flat sheet membranes
- corona treater
- derivatization chamber
- easycoater including slot die, knife coating and screen printing

- excimer lamp
- flat sheet membrane casting machine
- lab-scale plasma reactors
- Langmuir balance
- metallization equipment
- pilot-scale plasma reactors
- plasma reactors for web material
- rotary coater
- spin coater

### Pilot Plant Center PAZ

- 15 main reactors (50–870 L)
- band dryer
- bulk polymerization (batch and conti)
- cascade of stirred tank reactors
- co-rotating twin-screw extruders
- emulsion line (batch and conti)
- fluid-bed dryer
- gassing reactor to 100 bar, 300 °C
- high-viscosity technology I kneader
- high-viscosity technology II disc reactor
- injection molding compounder KM 1300–14,000 IMC (clamping force 1300 tonnes)
- injection molding machine KM 200 (clamping force 200 tonnes)
- solution polymerization (batch and conti)
- spray dryer
- suspension line
- thin film evaporator

### Polymeric materials and composites PYCO

- 3D-profilometry
- autoclave
- climatic chamber
- CNC treatment of FRPs and metals
- dissolver
- electron beam curing plant
- horizontal and vertical pilot impregnation plants
- hot presses (max. 1500 x 1500 mm)
- microwave curing (8 m<sup>3</sup> oven and continuously)
- optical characterization of thin layers
- precision curing furnace
- prepreg technology
- RTM-technology
- thermoset injection molding
- vertical technology impregnation drum for web-shaped prepregs

### Organic, electronic and diffractive optical components

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

### Biotechnology pilot plant, S1

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

## Polymer analysis, characterization and polymer treatment

### Laser technology

- HeNe laser (633 nm)
- holographic set-up, holographic structuring of polymers with 355 nm solid state-laser, in-situ-monitoring of diffraction efficiency
- holographic set-ups, holographic structuring of polymers with 488 nm solid state-laser and holographic structuring of polymers with 532 nm solid state-laser, in-situ-monitoring of diffraction efficiency
- laser engraving and cutting machine (30 W, 10,640 nm)
- measuring station for DFB polymer lasers: 2 DPSS pulsed Nd: YAG laser (frequency-doubled and tripled 532 nm and 355 nm, 0.5 ns), detection with Jobin Ivon iHR 320 CCD spectrometer (spectral resolution 0.1 nm)
- solid state laser (532 nm)

### Chromatography and solution characterization

- combustion ion chromatograph
- dn/dc-determination
- eluents: water, various aqueous buffers, DMSO, dichloromethane, dimethylformamide/LiBr hexafluoroisopropanol/Na-trifluoroacetat

- gas chromatograph with mass spectrometer, headspace
- gel permeations chromatographs with multi-detection (VISCO, MALLS, UV, RI, ELSD), analytical and preparative
- high performance liquid chromatograph with DAD-detector
- high performance liquid chromatographs with mass spectrometer
- tensiometer
- thin-layer chromatograph (TLC)
- titrator
- turbidity photometer

#### Spectroscopy

- ATR-FTIR spectrometer
- fluorescence spectrometer
- FTIR spectrometer (MIR, NIR)
- heatable ATR spectrometer and DRIFT unit
- high performance fluorescence spectrometer
- high resolution NMR spectrometer for liquid state analysis
- high resolution NMR spectrometer for solid state analysis
- ICP optical emission spectrometer
- mass spectrometer
- quantum yield measurement setup
- surface plasmon resonance (SPR) spectrometer
- UV/VIS/NIR spectrophotometer with integration sphere
- UV/VIS spectrometer
- UV/VIS microscope spectrometer

- x-ray photoelectron spectrometer (XPS)
- CCD-spectrometer
- dielectric spectroscopy
- FT-Raman spectrometer

#### Rheology

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

#### Morphology and structure elucidation

- dynamic vapour sorption
- high resolution 3D light microscopy
- mercury porosimetry
- optical and luminescence microscopy
- optical microscopes with video- and image analysis technology
- polarization microscopy
- scanning electron microscope including x-ray microanalysis (EDX) and detector for backscattered electrons, devices for cryopreparation of moist samples
- transmission electron microscope: ultra-thin cut technology, cryomicrotomy, replica technology

- volumetric gas adsorption (BET)
- x-ray equipment for wide angle (WAXS) and for small angle (SAXS) x-ray scattering

#### Material characteristics

- Abbe refractometer
- 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
- ball-rebound-tester
- capillary flow porometer
- charge mobility tester
- compression set testing
- cone calorimeter
- dart-drop tester
- density gradient column
- device for m-line measurement (determination of refractive index, birefringence, and layer thickness)
- digital oscillating U-tube density meter
- durometer
- dynamic mechanical analysis (DMA)
- dynamic scanning calorimeter (DSC)
- gas and liquid permeation analyzers
- gas permeability tester
- helium gas pycnometer
- moisture meter for plastics
- OLED lifetime tester
- optical calcium tester

- particle size analyzers
- polarimeter
- suntester
- system for density determination of solids and liquids
- thermal mechanical analysis (TMA, dilatometry)
- thermogravimetric analysis (TGA)
- turbidity photometer
- universal testing machine with temperature chamber and laser extensometer
- zetapotential analyzers

#### Surface analysis

- atomic force microscope (AFM)
- contact angle goniometry
- contact angle measurement equipment
- digital microscope
- digital refractometer
- ellipsometer/multiscopes
- fluorescence spectrometer
- focus variation microscopy
- infrared spectrometer (ATR, IRRAS)
- infrared thermography system
- measurement system for electrical surface potentials
- surface plasmon resonance instrument
- X-ray photoelectron spectrometer (XPS)

#### Molecularbiology and biochemistry

- thermocycler
- DGGE/SSCP device
- geldocumentation system with multiple detection

- gelelectrophoresis and blotting systems
- high performance liquid chromatograph with UV and conductivity detection
- isoelectric focussing
- isothermal titration calorimeter (ITC)
- micro plate reader (absorbance, fluorescence)
- NanoDrop
- real-time thermocycler
- UV/VIS spectrometer

#### Micro and cell biological test methods

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

### Nanotechnology

#### Synthesis and workup

- 20 L stirred tank reactor
- autoclave (0.6 L)
- centrifuge
- gloveboxes including spincoater and vacuum coating plant
- microfluidic continuous flow reactor
- Schlenk line technique for batch syntheses

#### Films/coating

- dipcoater
- spincoater

#### Compounds

- lab scale injection molding machine
- lab scale twin screw extruder

#### Analytcs

- electrochemical impedance spectroscopy
- heat conductivity measurement
- oxygen permeation
- potentiostat/galvanostat
- solar simulator
- surface profiler

### Home and Personal Care

#### Polymer synthesis and workup

- freeze-dryer
- laboratory reactors 1–5 L with pumps
- muffle furnace

#### Analytcs

- contact angle measurement
- Du Noüy Ring tensiometer
- dynamic and static light scattering
- gel permeation chromatography (GPC)
- material testing machine (Zwick)
- profilometer
- rheometer spincoater/viscosimeter
- thermogravimetric analysis
- zetasizer

### Nanomomedical applications

#### Organic synthesis

- microwave-reactor CEM Discover S
- microwave-reactor MLS Ethos Plus 2
- ultrasonic-homogenizer Bandelin Sonopuls HD 3200

Detailed information on our broad range of analytical methods and services:  
[www.iap.fraunhofer.de/en/Services.html](http://www.iap.fraunhofer.de/en/Services.html)





# ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

## Fraunhofer-Institute

Fraunhofer Institutes

Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP, Leuna	Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart Projektgruppe BioCat, Straubing	Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena	Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI, Leipzig Institutsteil Bioanalytik und Bioprozesse, Potsdam
Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS, Chemnitz	Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart	Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin
Fraunhofer-Institut für organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden	Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden, Hermsdorf	Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin	Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt
Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, Berlin	Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen	Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS, Dresden	Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen
Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI, Berlin	Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME, Schmallenberg, Frankfurt am Main, Hamburg, Münster	Fraunhofer-Institut für Siliciumforschung ISC, Würzburg	Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, Braunschweig
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart	Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg	
Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT, St. Ingbert	Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe	
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Holzkirchen	Fraunhofer IMS, Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg	Fraunhofer-Institut für System- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern	
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal	Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS, Halle an der Saale	Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising	
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM, Bremen	Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, Euskirchen	Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg	
		Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Dresden	

## Hochschulen in Deutschland

Universities in Germany

Albert-Ludwig-Universität Freiburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie, Freiburg	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaften, Erlangen	Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik, Lemgo	Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fachbereich Chemieingenieurwesen, Nürnberg
Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Wuppertal	Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Angewandte Optik, Institut für Organische Chemie und Makromolekulare Chemie, Jena	Hochschule Reutlingen, Reutlingen	Technische Hochschule Wildau, Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften, Wildau
Beuth Hochschule für Technik Berlin, Fachbereich Pharma- und Chemietechnik, Berlin	Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr, Hamburg	Humboldt Universität zu Berlin, Institut für Chemie, Institut für Physik, Berlin	Technische Universität Berlin, Fachgebiet Polymertechnik/ Polymerphysik, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Institut für Physik, Institut für Chemie, Berlin
Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg, Umwelt- und Naturwissenschaften, Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme, Molekulare Zellbiologie, Cottbus-Senftenberg	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Coburg, Institut für Sensor- und Aktortechnik (ISAT), Coburg	Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Fachbereich Chemie, Mainz	Technische Universität Braunschweig, Institut für Hochfrequenztechnik, Braunschweig
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Biochemie, Greifswald	Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Fachbereich Holzingenieurwesen, Eberswalde	Leibniz Universität Hannover, Institut für Quantenoptik, Hannover	Technische Universität Chemnitz, Institut für Print- und Medientechnik, Institut für Strukturleichtbau, Zentrum für Mikrotechnologien, Chemnitz
Fachhochschule Münster, Fachbereich Chemieingenieurwesen, Steinfurt	Hochschule Hannover, Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe, Hannover	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Organische Chemie, Halle an der Saale	Technische Universität Darmstadt, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren IDD, Fachbereich, Physik, Darmstadt
Fachhochschule Südwestfalen, Labor für Korrosionsschutztechnik, Iserlohn	Hochschule Kaiserslautern, Kaiserslautern	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik, Lehrstuhl für Biotechnologie, Aachen	Technische Universität Dresden, Institut für Pflanzen- und Holzchemie, Dresden
Freie Universität Berlin, Institut für Chemie, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, BWL und Marketing, Lehrstuhl für Innovationsmanagement, Berlin	Hochschule Merseburg, Merseburg	Ruhr Universität Bochum, Fakultät für Chemie und Biochemie, Bochum	Technische Universität Hamburg, Institut für keramische Hochleistungswerkstoffe, Feststoffverfahrenstechnik und Partikeltechnologie, Hamburg
	Hochschule Niederrhein, Fachbereich Chemie, Krefeld	Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo), Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie, Hannover	
	Hochschule Osnabrück, Osnabrück		

Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Fachgebiet Elektrochemie und Galvanotechnik, Ilmenau

Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik, Physik und Technologie der Nanostrukturen, Kaiserslautern

Technische Universität München, Fakultät für Physik, München

Universität Albstadt-Sigmaringen, Department of Engineering, Sigmaringen

Universität Bayreuth, Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften, Lehrstuhl Polymere Werkstoffe, Bayreuth

Universität Bonn, Institut für Zoologie, Bonn

Universität Darmstadt, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente, Darmstadt

Universität Dresden, Professur für molekulare Funktionsmaterialien, Dresden

Universität Düsseldorf, Institut für Bioorganische Chemie, Düsseldorf

Universität Hamburg, Zentrum für Holzwirtschaft, Institut für chemische Holztechnologie, Institut für Physikalische Chemie, Hamburg

Universität Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Kassel

Universität Leipzig, Leipzig

Universität Marburg, Institut für Pharmazeutische Chemie, Marburg

Universität Osnabrück, Institut für Anorganische Chemie, Osnabrück

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

Universität Rostock, Universitätsmedizin Rostock, Rostock

Universitätsklinikum Düsseldorf

Universitätsklinikum Erlangen, Augenklinik, Erlangen

Universität Regensburg, Zentrum für Plastische, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Regensburg

Universitätsmedizin Rostock, Urologische Klinik und Poliklinik, Rostock

Universität Stuttgart, Institut für Technische Optik, Institut für Halbleitertechnik und Funktionelle Grenzflächen, Institut für Großflächige Mikroelektronik, Institut für Organische Chemie, Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme, Lehrstuhl für Struktur und Eigenschaften Polymerer Materialien, Stuttgart

### 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)

Chinese Academy of Sciences, CAS, Institute of Chemistry, Beijing (China)

Chinese University of Hong Kong (CUHK), Institute for Tissue Engineering and Regenerative Medicine (ITERM), Hong Kong SAR (China)

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

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

Dalhousie University, Department of Anesthesia, Pain Management & Perioperative Medicine, Halifax, Nova Scotia (Canada)

École Nationale Supérieure de Chimie de Lille, Villeneuve d'Ascq Cedex (France)

École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier, Montpellier (France)

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, São Paulo (Brazil)

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

Newcastle University, School of Natural and Environmental Sciences, Newcastle upon Tyne (UK)

Technische Universität Graz, Institut für Chemische Technologie von Materialien, Institut für Molekulare Biotechnologie, 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)

Université catholique de Louvain, Chemie, École Polytechnique de Louvain (Belgium)

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

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

The University of Texas, MD Anderson Cancer Center, Houston (USA)

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

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

Universidad de Sevilla, Facultad de Química, Sevilla (Spain)

Université Louis Pasteur Strasbourg, Faculté de chimie, Strasbourg (France)

Universitatea Transilvania din Braşov, Departamentul de Autovehicule și Transporturi, Braşov (Romania)

Universitat Politècnica de Catalunya, Chemical Engineering, Group of Molecular and Industrial Biotechnology, Barcelona (Spain)

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

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

University of Connecticut, Department of Chemistry, Hartford (USA)

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

University of Durham, Durham (UK)

University of Electro-Communications, Department of Engineering Science, Tokyo (Japan)

University of Graz, Institut für Chemie, Graz (Austria)

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

Universitas Indonesia, Fakultas of Chemistry, Depok (Indonesia)

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 Southern Denmark, SDU, Odense (Denmark)

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

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

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

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

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



## Andere Forschungseinrichtungen

Other research institutions

Acondicionamiento Tarrasense Asociación, Barcelona (Spain)	CIDETEC IK4, San Sebastian (Spain)	Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen gGmbH, FILK, Freiberg	Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH, Dresden
Acreeo Swedish ICT AB, Norrköping (Sweden)	CNPEM Brazilian Center for Research in Energy and Materials Campinas, São Paulo (Brazil)	Forschungszentrum Jülich, Jülich	Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, IVW, Kaiserslautern
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V., AIF, Köln	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Grenoble (France)	GEOMAR – Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel	Instituto de Investigação da Floresta e Papel, RAIZ, Eixo (Portugal)
Austrian Institute of Technology GmbH, Energy Department, Wien (Austria)	Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per lo Studio delle Macromolecole, CNR-ISMAR, Mailand (Italy)	Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V., Freiburg	Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Polimeros, Sao Leopoldo (Brazil)
Bundesanstalt für Material- forschung und -prüfung, BAM, Berlin	Cori Coatings Research Institute, Ottignies-Louvain-la-Neuve (Belgium)	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Berlin	Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, IMPiB, Toruń (Poland)
Center for Material Forming, MINES ParisTech, Sophia Antipolis Cedex (France)	Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig	JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Graz (Austria)
Centre for Nanotechnology and Smart Materials CeNTi, Vila Nova de Famalicão (Portugal)	DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien e.V., Aachen	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenfor- schung GmbH, Geesthacht Institut für Biomaterialfor- schung, Teltow	Karlsruher Institut für Technologie, KIT, Karlsruhe
Centre Nationale de la Recherche Scientifique, CNRS, Palaiseau (France)	Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchst- frequenztechnik, Berlin	IHP – Innovations for High Performance Microelectronics, Frankfurt (Oder)	Kompetenzzentrum Holz GmbH, Wood K plus, Wien (Austria)
Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, Polskiej Akademii Nauk, Zabrze (Poland)	Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., FGW, Remscheid	INI Research, Hamburg	Laser Zentrum Hannover e.V., Hannover
Champalimaud Centre for the Unknown, Lissabon (Portugal)	Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe – Glas/Keramik – GmbH, Hoehr-Grenzhausen	Institute of Macromolecular Chemistry Petru Poni, Iasi (Romania)	Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., ATB, Potsdam
Chinese Academy of Sciences, Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, CAS FJIRSM, Fuzhou (China)		Institut für Dünnschichttechno- logie und Mikrosensorik e.V., Teltow	Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau e.V., IGZ, Großbeeren
			Leibniz-Institut für interaktive Materialien, Aachen

## Firmenkooperationen

Cooperations with companies

Leibniz-Institut für Polymer- forschung e.V., IPF, Dresden	Technion, Haifa (Israel)	acCELLerate GmbH, Hamburg	ARKEMA FRANCE SA, Grenoble (France)
Leibniz-Zentrum für Agrar- landschaftsforschung e.V., ZALF, Münchberg	Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz	ACCIONA Infraestructuras SA, Madrid (Spain)	Attomol GmbH, Bronkow
MateriaNova, Mons-Bergen (Belgium)	The Institute of Photonic Sciences, Barcelona (Spain)	Adler Plastic S.P.A., Villastellone (Italy)	Aunde S.A., Barcelona (Spain)
Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam	Thünen-Institut, Großhansdorf	Advent, Patras (Greece)	AVEBE, Veendam (The Netherlands)
Max-Rubner-Institut, MRI, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Detmold	Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V., Rudolstadt	AEP Polymers S.r.l., Triest (Italy)	B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Berlin
NanoTecCenter Weiz, Graz (Austria)	Ukraine Academy of Science, Institute of Physics, Kiev (Ukraine)	aevotis GmbH, Potsdam	Barron Biomedical, Berlin
Papiertechnische Stiftung, PTS, Heidenau	Weizmann Institute of Science, Rehovot (Israel)	Agrana Research & Innovation Center GmbH, Tulln (Austria)	BASF Polyurethanes GmbH, Lemförde
Polish Academy of Sciences, Center of Polymer and Carbon Materials, Zabrze, Gliwice (Poland)		Aixtron, Aachen	BASF Schwarzheide GmbH, Schwarzheide
Sirris, Hasselt (Belgium)		Albis Plastic GmbH, Hamburg	BASF SE, Ludwigshafen
Stiftelsen SINTEF, Trondheim (Norway)		Allnex Germany GmbH, Wiesbaden	Bayer CropScience AG, Monheim
Sächsisches Textilforschungs- institut e.V., STFI, Chemnitz		Allresist GmbH, Strausberg	Beiersdorf AG, Hamburg
Süddeutsches Kunststoff- Zentrum Würzburg, SKZ, Würzburg		altona Diagnostics GmbH, Hamburg	Bernhardt Kunststoff- verarbeitungs GmbH, Berlin
		AMSilk GmbH, Martinsried	BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Weiherhammer
		amynova polymers GmbH, Bitterfeld-Wolfen	Biobase Europe Pilot plant, Gent (Belgium)
		Andreas Junghans – Anlagen- bau und Edelstahlbearbeitung GmbH & Co. KG, Frankenberg	BioLog Biotechnologie GmbH, Queist
		APK AG, Merseburg	Biomer, Krailling
		AquaBioTech Limited, Mosta (Malta)	

BioNucleo GmbH, Berlin	Chemopur H. Brand GmbH Chemische Fabrik, Herne	C-Tech Innovation Limited, Capenhurst (UK)	evoxx technologies GmbH, Monheim am Rhein	Grafe Advanced Polymers GmbH, Blankenhain	Horiba Jobin Yvon SAS, Palaiseau (France)	j-fiber GmbH, Jena	Lanxess Deutschland GmbH, Leverkusen, Bitterfeld-Wolfen
BIOTEC GmbH & Co. KG, Emmerich	CHT Beitlich GmbH, Tübingen	Cynora GmbH, Karlsruhe	EyeYon Medical, Nes Ziona (Israel)	Greibo-Chemie GmbH, Velten	Hueck Rheinische GmbH, Stolberg (Rheinland)	Jos. Schneider Optische Werke GmbH, Bad Kreuznach	Largentec Vertriebs GmbH, Berlin
BIOTECON Diagnostics GmbH, Potsdam	Clariant Plastics & Coatings GmbH, Frankfurt am Main	Cyramid AG, Güster	Festo AG & Co. KG, Esslingen	Gremolith AG, Bazenheid (Switzerland)	Huhtamaki Flexible Packaging Germany GmbH & Co. KG, Ronsberg	Jotun AS, Sandefjord (Norway)	Laufenberg GmbH, Krefeld
Blücher GmbH, Premnitz	CNA Diagnostics Inc., Calgary (Canada)	Delta Engineering & Chemistry GmbH, Berlin	FIAT SpA, Turin (Italy)	Hua An Tang Biotech Group Co., Ltd., Guangzhou (China)	Huntsman Advanced Materials (Switzerland) GmbH, Basel (Switzerland)	Jowat AG, Detmold	Leipa Georg Leinfelder GmbH, Schwedt
BMW Group, München	Coatema, Coating Machinery GmbH, Dormagen	DendroPharm GmbH, Berlin	FiberLean Technologies, Cornwall (UK)	Gundlach Verpackungen GmbH, Oerlinghausen	IBF Electronic GmbH & Co. KG, Ober-Ramstadt	Kao Germany GmbH, Darmstadt	Lenzing AG, Lenzing (Austria)
Bode Chemie GmbH, Hamburg	Coltène/Whaledent AG, Altstätten (Switzerland)	DuPont, Delaware (USA)	First Sensor AG, Berlin	Gustav Scharnau GmbH, Werneuchen	ifn Anwenderzentrum GmbH, Lauchhammer	KARL WEISS Technologies GmbH, Berlin	Leuna-Harze GmbH, Leuna
Borchers GmbH, Langenfeld	Compliance Advice and Services in Microbiology GmbH, Köln	Eastman, Kingsport (USA)	Folex AG, Seewen (Switzerland)	H. Hiendl GmbH & Co. KG, Bogen-Furth	ImaBiotech, Lille (France)	Koehler Innovative Solutions, Oberkirch	Linotech GmbH & Co. KG, Forst
Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH, Leipzig	Compraxx GmbH, Brehna	Eckert & Ziegler BEBIG GmbH, Berlin	Fujifilm Manufacturing Europe B.V., Tilburg (The Netherlands)	Haase Tank GmbH, Neugersdorf	Ineos Melamines GmbH, Frankfurt am Main	Koenen GmbH, Ottobrunn-Riemerling	LIST AG, Arisdorf (Switzerland)
Bundesdruckerei GmbH, Berlin	Compucon, Thessaloniki (Greece)	Emsland-Stärke GmbH, Emlichheim	Fumatech BWT GmbH, Bittigheim-Bissingen	Haindl Kunststoffverarbeitung GmbH, Bremen	InnoMat GmbH, Teltow	Kolon Plastics Inc., Gimcheon (South Korea)	Loewe Technology GmbH, Kronach
BYK-Chemie GmbH, Wesel	COMSA EMTE, Barcelona (Spain)	Enviral Oberflächenveredelung GmbH, Niemegek	Gebrüder Munzert GmbH & Co. KG, Naila	HAUTE INNOVATION, Berlin	International Paper Co., Federal Way (USA)	Konarka Technologies, Linz (Austria)	Logstor AS, Løgstør (Denmark)
Cargill Deutschland GmbH, Krefeld	Constantia GmbH, Weinburg (Austria)	Eppendorf Polymere GmbH, Hamburg	Gemalto, Gémenos (France)	Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf	Interstarch GmbH Altröglitz, Elsteraue	Korea Electronics Technology Institute, KETI, Bundang-gu Seongnam (South Korea)	Lonza AG, Visp, Basel (Switzerland)
Carmel Olefins, Haifa (Israel)	Continental AG, Hannover	Erbslöh Geisenheim AG, Geisenheim	Gen-IAL GmbH, Troisdorf	Hermann Römmeler Kunst- stofftechnik GmbH & Co. KG, Strausberg	Intrinsic Materials Ltd., Farnborough (UK)	KRD Coatings GmbH, Bardowick	LTB Lasertechnik Berlin GmbH, Berlin
CCORE, Wien (Österreich)	Cordenka GmbH & Co. KG, Obernburg	ESE GmbH, Neuruppin	Givaudan S.A., Paris (France)	hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde	Isovoltaic AG, Lebring (Austria)	Kronoply GmbH, Heiligengrabe	Lüth & Dümchen, Berlin
Ceapro Inc., Edmonton (Canada)	Covestro Deutschland AG, Leverkusen	esseCI, Narni (Italy)	Glatfelter Falkenhagen GmbH, Pritzwalk	Hexcel Composites Ltd., Duxford (UK)	Jäckering Mühlen – Nähr- mittelwerke GmbH, Hamm	Kroppenstedter Ölmühle Walter Döpelheuer GmbH, Kroppenstedt	LXP Group, Berlin
Centro Ricerche Fiat (CRF), Turin - Orbassano (Italy)	crystalsol GmbH, Wien (Austria)	Evonik Industries AG, Essen, Marl	GMT Membrantechnik GmbH, Rheinfelden	Hobum Oleochemicals GmbH, Hamburg	Jena Bioscience, Jena	KSG Leiterplatten GmbH, Gornsdorf	made of air GmbH, Berlin
Ceresan Erfurt GmbH, Markranstädt			Goeckener GmbH, Ahaus				Magna Closures/Magna Mirrors/Magna Lighting, Newmarket (Canada)
Chemische Fabrik Wocklum Gebr. Hertin GmbH & Co. KG, Balve							Mankiewicz Gebr. & Co. (GmbH & Co. KG), Hamburg



Marintek, Trondheim (Norway)	Navigator Company, Setubal (Portugal)	PolyAn GmbH, Berlin	Rockwood Lithium GmbH, Frankfurt	SG Austria Pte. Ltd., Singapore (Singapore)	SYNTHON Chemicals GmbH & Co. KG, Wolfen	Vertec, Nizza (France)
MateriaNova, Mons-Bergen (Belgium)	NCA, Navara (Spain)	Polyblend GmbH, Bad Sobernheim	Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG, Blankenfelde-Mahlow	Siemens AG, Berlin	Synthopol Chemie, Buxtehude	Viscofan S.A., Navada (Spain)
Mbraun Inertgas-Systeme GmbH, Garching	Nematel GmbH & Co. KG, Mainz	Polygal AG Schweiz, Märstetten (Switzerland)	Rotorworks GmbH, Berlin	Sika Technology AG, Zürich (Switzerland)	System 180 GmbH, Berlin	Volkswagen AG, Wolfsburg
Merck KG, Darmstadt	Neotech AMT GmbH, Nürnberg	Polystal Composites GmbH, Haldensleben	ROWA Masterbatch GmbH, Pinneberg	Sikoplast Maschinenbau GmbH, Siegburg	Technip Zimmer GmbH, Frankfurt am Main	VON-ARDENNE GmbH, Dresden
micro resist technology GmbH, Berlin	Nestaan Holland B. V., Tholen (The Netherlands)	Polyterra Innovations GmbH, Berlin	Sapemus Chemie GmbH, Springe	Silcart S.p.A., Mignagola (Italy)	TechnoCompound GmbH, Bad Sobernheim	W. L. Gore & Associates Inc., Elkdon (USA)
Microdyn-Nadir GmbH, Wiesbaden	Netafim, Chazerim (Israel)	PRA Trading Ltd., London (UK)	Sappi Europe, Maastricht (The Netherlands)	Sirigen Inc., San Diego (USA)	Tecnaro GmbH, Ilsfeld-Auenstein	Wacker Chemie AG, Burghausen
MilliporeSigma/Sigma-Aldrich Manufacturing LLC, Saint Louis (USA)	Notion Systems GmbH, Schwetzingen	Pracht Lichttechnik GmbH, Dautphetal	Sartorius Stedim Biotech GmbH, Göttingen	Smallmatek, Aveiro (Portugal)	TES Frontdesign GmbH, Neuruppin	WESSLING GmbH, Altenberge
MILTON ESSEX S.A., Warschau (Poland)	Nouryon, Stenungsund (Sweden)	Precision Varionic International LTD, Swindon (UK)	Saueressig GmbH & CO. KG, Vreden	Smurfit Kappa Hoya Papier und Karton GmbH, Hoya	tesa SE, Hamburg, Norderstedt	Xetos AG, Hohenbrunn
MiNaCon GmbH, Düsseldorf	Novalad, Dresden	PSS Polymer Standards Service GmbH, Mainz	Schill + Seilacher GmbH, Böblingen	Solardynamik, Berlin	TFI Aachen GmbH, Aachen	Zellstoff Stendal GmbH, Arneburg
Mitsubishi HI Tec Paper Europe GmbH, Bielefeld	orfix International GmbH, Radbruch	qpa bioanalytics GmbH, Potsdam	Schoeller Technocell GmbH & Co. KG, Osnabrück	Specific Polymers, Montpellier (France)	Tilse GmbH, Liepe	Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal GmbH, Blankenstein
MJR PharmJet GmbH, Überherrn	OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Regensburg	Raab-Photonik GmbH, Potsdam	SE Tylose GmbH & Co. KG, Wiesbaden	Specs Surface Nano Technology GmbH, Berlin	TOPAS Therapeutics GmbH, Hamburg	Zentrum für Angewandte Luftfahrt GmbH, Hamburg
Model AG, Weinfelden (Switzerland)	Oxford Lasers Inc., Oxford-Oxon (UK)	Reifenhäuser REICOFIL GmbH & Co. KG, Troisdorf	Seaborough Research BV, Amsterdam (The Netherlands)	Stadler Pankow GmbH, Berlin	Trespa International BV, Weert (The Netherlands)	Zeppelin Reimelt GmbH, Kassel
Moritz J. Weig GmbH & Co. KG, Mayen	PanEuro, Cork (Ireland)	Rent-a-Scientist, Regensburg Rhenotherm Kunststoffbeschichtungs GmbH, Kempen	SeeReal Technologies GmbH, Dresden	Styrolution Schwarzheide GmbH, Schwarzheide	Trinseo Deutschland GmbH, Schkopau	
Nanograde Ltd., Staefa (Switzerland)	Papierfabrik Palm GmbH, Schwepnitz	Ritols, Riga (Latvia)	Selektis GmbH, Berlin	Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt, Obrigheim	Troy Chemie GmbH, Hannover	
	PDW Analytics GmbH, Potsdam	Robert Bosch Battery Systems GmbH, Stuttgart	sfc energy AG, München	Surflay Nanotec GmbH, Berlin	TTP plc, Royston (UK)	
	PLAton GmbH, Hamburg			SWL Tischlerplatten Betriebs-GmbH, Langenberg	UBC GmbH, Murr	
				Symrise AG, Holzminden	Uhde Inventa-Fischer GmbH & Co. KG, Berlin	

## Netzwerke und Verbände

Networks and associations

### Das Fraunhofer IAP war 2018 Mitglied in folgenden Netzwerken, Vereinen bzw. Arbeitsgemeinschaften:

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, AiF

Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e.V., AGEF

Brandenburg, LAUF e.V.

Berlin-Brandenburgischer Verband für Polymerforschung

Clinical Hemorheology and Microcirculation, Associate Editor

Cluster Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland

Deutsche Gesellschaft für klinische Mikrozirkulation und Hämorheologie (DGKMH), Beirat

Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., DGM, Fachausschuss Polymerwerkstoffe

Deutsches Flachdisplayforum, DFF

European Polysaccharide Network of Excellence, EPNOE

Fachverband der Stärke-Industrie e.V.

Forschungsvereinigung Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V., WNR

Fraunhofer-Forschungsallianz Kulturerbe

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 Außer-universitärer Forschung Microcirculation Diagnostics and Applied Studies, MiDAS, Halifax, Nova Scotia (Canada)

Netzwerk für innovative Zulieferer in der Medizintechnik, NeZuMed

pearls-Potsdam Research Network

Photonik BB e.V.

Society for Information Display-Mid Europe Chapter, SID-MEC

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.

Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH, WFBB

Fraunhofer-Allianz NANOTECH

Fraunhofer-Allianz POLO®

Fraunhofer-Allianz Textil

Fraunhofer-Exzellenzcluster »Circular Plastics Economy«

Fraunhofer-Exzellenzcluster »Programmierbare Materialien für Funktionsintegrierte Systeme der Zukunft«

Innovative Hochschule, Initiative »GO:UP«

Innovative Hochschule, Initiative »Innovation Hub 13«

Kompetenzzentrum für energie- und ressourcen-effizienten Leichtbau

Leibniz-Kolleg Potsdam e.V.

Leistungszentrum »Integration biologischer und physikalisch-chemischer Materialfunktionen«

Organic and Printed Electronics Association, oe-a

ProWissen Potsdam e.V.

Spitzencluster BioEconomy

Wissenschaftspark Potsdam-Golm

### 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  
– International Advisory Board von Macromolecular Chemistry & Physics (Wiley-VCH)  
– Reimund Stadler Minerva Center for Mesoscale Macromolecular Engineering  
– Vorsitzender im Beirat der Standortmanagement Golm GmbH  
– Vorstandsmitglied LAUF e.V.

### Dr. C. Boeffel

– DKE/GUK 681.2, Gedruckte Elektronik

### Dr. J. Buller

– Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V., Stärke-Fachausschuss

### Dipl.-Ing. T. Büsse

– Kunststoff-Verbund Brandenburg Berlin e.V. (KuVBB)  
– BCM BioEconomy Cluster Management GmbH

### Prof. Dr. C. Dreyer

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

### Dr. K. Hettrich

– DIN Arbeitsausschuss Partikelmesstechnik, Oberflächenmessverfahren

### Prof. Dr. D. Hofmann

– Berlin-Brandenburgischer Verband für Polymerforschung  
– Verantwortlicher Handlungsfeld Biopolymere/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 Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e.V., AGEF

### Dr. H. Krüger

– Smart<sup>3</sup> 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.

– Editorial Board von Polymers, MDPI

### Dr. T. Pretsch

– Verband »3D-Druck« e.V.

### Dr. R.R. Rosencrantz

– glyconet Berlin Brandenburg e.V.

### Dr. C. Schmidt

– The American Society for Biochemistry 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-Fachgruppe »Makromolekulare Chemie«  
– Leitung der Arbeitsgruppe »Materialien für medizinische Anwendungen« in der »Regenerativen Medizin Initiative Berlin-Brandenburg«, RMIB

– SEPAWA e.V.  
– Société Suisse Des Chimistes-Cosméticiens, SWISS SCC (Switzerland)

### Dr. S. Steffen

– Zwanzig20, C<sup>3</sup>-Carbon Concrete Composites-Konsortium, BMBF

### Dr. B. Volkert

– Zellcheming Cellulosefachausschuss

### Dr. J. Wagner

– OpTecBB e.V.

### Dr. A. Wedel

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

### Dr. M. Wegener

– VDI/GMA-Fachausschuss 4.16 »Funktionsmaterialien für Mechatronische Systeme«  
– Vorstandsmitglied Smart<sup>3</sup> e.V.



## Lehrveranstaltungen

Lecturing activities

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

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

### Prof. Dr. Alexander Böker

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

### Dipl.-Ing. Thomas Büsse

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

### Prof. Dr. Christian Dreyer; Dr. Mathias Köhler

- Praktikum: *Alternative Härtungsmethoden*, Technische Hochschule Wildau
- Praktikum: *Konzept zur Umrüstung einer horizontalen Prepreganlage von thermischer Härtung auf UV-Härtung zur Herstellung von UV-härtbaren Prepregs*, Technische Hochschule Wildau (FH)

### Prof. Dr. Johannes Ganster

- Vorlesung: *Biobasierte Polymerwerkstoffe I*, BTU Cottbus-Senftenberg
- Vorlesung: *Biobasierte Polymerwerkstoffe II*, BTU Cottbus-Senftenberg
- Vorlesung: *Strukturcharakterisierung von biobasierten Polymerwerkstoffen*, Universität Kassel
- Kompaktpraktikum: *Methoden der Strukturcharakterisierung im IAP*, Universität Kassel

### Prof. Dr. Dieter Hofmann

- Vorlesung: *Physikalisch – Chemische Eigenschaften der Werkstoffe*: PEW organisch, Technische Universität Berlin

### Priv.-Doz. Dr.Silvia Janietz

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

### Prof. Dr. André Laschewsky

- Vorlesung: *Functional Polymers (Design, Synthesis and Properties of Hydrogels)*, Universität Potsdam
- Vorlesung: *Polymeric Hydrogels*, Universität Potsdam
- Vorlesung: *Polymerchemie (Wahlfach B.Sc.)*, Universität Potsdam
- Vorlesung: *Protecting Group Strategies (in Organic and Polymer Synthesis)*, Universität Potsdam, Potsdam
- Vorlesung: *Technische Chemie*, Universität Potsdam
- Praktikum: *Polymerchemie*, Universität Potsdam
- Praktikum: *Polymerchemie II*, Universität Potsdam
- Praktikum und Seminar: *Vertiefungsfach Polymerchemie*, Universität Potsdam
- Seminar: *Seminar für Doktoranden, Masterstudenten und Mitarbeiter der Kolloidchemie und Polymerchemie*, Universität Potsdam

### Dr. Rainer Rihm

- Vorlesung: *Werkstoffkunde für Mechatronik und Elektrotechnik*, Beuth Hochschule für Technik Berlin

### Dr. Joachim Storsberg

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

### Dr. Ulrich Wendler

- Makromolekulare Chemie, Hochschule Merseburg (FH)

### Prof. Dr. Horst Weller

- Vorlesung: *Physikalische Chemie 2*, Universität Hamburg, Hamburg
- Praktikum: *Chemiepraktikum für Nanowissenschaftler*, Universität Hamburg, Hamburg
- Praktikum: *Vertiefungspraktikum Physikalische Chemie*, Universität Hamburg, Hamburg
- Seminar: *Seminar zu speziellen Themen der Nanochemie*, Universität Hamburg, Hamburg

## Auszeichnungen

Awards

### Prof. Dr. Horst Weller

- ECIS Solvay-Prize 2018

### Prof. Dr. Hans-Peter Fink

- Sophie-Henschel-Medaille für langjährige Verdienste in der Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstofftechnik der Universität Kassel

# PATENTE PATENTS

## Offengelegte Patente 2018: 19

Published patents in 2018: 19

**F. Börner**, G. Engelmann: *Biopolymer-Partikel enthaltender Aminoharzschäumstoff*  
DE 10 2016 212 418 A1

**H. Charan**, U. Glebe, A. Böker, M. Tutus, U. Schwaneberg, T. Mirzaeigarakani, L. Zhu, M. Bocola, J. Kinzel, D. Anand: *Poröse Dünnschichtmembran, Verfahren zu ihrer Herstellung sowie Verwendungsmöglichkeiten*  
CN 109 070 015 A

**C. Dreyer**, K. Becker, A. Bauer, A. Bernaschek, R. Borges: *Rollo aus einem Flächenmaterial mit Sandwich-Struktur*  
DE 10 2017 104 828 A1  
EP 18 159 484.7 (CH, FR, GB)

**C. Dreyer**, J. R. Jagodzinska, K. Pietsch, A. Glaser, P. Rotsch, M. Weizman: *Verfahren und Vorrichtung zur UV-Härtung einer lichthärtbaren Substanz*  
DE 10 2017 107 041 A1

**C. Dreyer**: *Verbundanker*  
EP 2016/081 450 (WE, US)

**J. Erdmann**, J. Ganster: *Kontinuierliches Verfahren zur Herstellung eines thermisch stabilisierten Multifilamentgarns, Multifilamentgarn und Faser*  
EP 2017/050 404

**J. Ganster**, A. Lehmann, R. Protz, J. Erdmann: *Nassspinnverfahren zur Herstellung einer ligninhaltigen Faser als Precursor für eine Kohlenstofffaser*  
EP 2016/051 589 (WE, JP, US)

**S. Janietz**, T. Egorov-Brening, H. Krüger: *Verfahren zur Herstellung von Blockcopolychinoxalinen mit Sulfon- oder Phosphonsäure-Gruppen und deren Einsatz als protonenleitende Membran*  
DE 10 2017 208 805 A1

**M. Knoop**, A. Lieske, M. Hahn: *Verfahren zur Herstellung von thermisch stabilen schmelzspinnbaren PAN-Copolymeren, PAN-Copolymere, hieraus gebildete Formkörper sowie Verfahren zur Herstellung dieser Formkörper*  
EP 2016/075 950

**A. Lehmann**, H. Ebeling, H.-P. Fink: *Verfahren zur Herstellung ligninhaltiger Precursorfasern sowie Carbonfasern*  
JP 24 971 A

**A. Lehmann**, R. Protz, G. Weidel: *Spinnlösung enthaltend Cellulosecarbamat und Cellulosexanthogenat, Verfahren zur Herstellung von Formkörpern und entsprechend hergestellte Formkörper*  
WO 2018/137 757 A1

**S. Reinicke**, A. Böker: *Verfahren zur Herstellung eines Protein-funktionalisierten Films sowie Protein-funktionalisierter Film*  
EP 16 184 020.2

**H. Schlicke**, M. Behrens, S. Bittinger, T. Vossmeier: *Method for detecting an analyte based on the detection of a change of the mechanical properties of a freestanding nanoparticle composite material*  
GB 2 560 767 A  
DE 10 2017 101 057 A1

**T. Schotten**, M. Steuter, J.-P. Merkl, H. Weller, A. Fischer, J. Heeren: *Zwitterionische Nanopartikel*  
DE 10 2017 101 057 A1  
WO 2018/134 342 A1

**A. Seeboth**, V. Eberhardt, L. Pabel: *Elektrochromes Gießharzverbundglas und Verfahren zu dessen Herstellung*  
DE 10 2016 107 791 607 A  
EP 3 290 202 A1  
(CN, JP, KR, EP, AT, BE, CH, DE, ES, FR, GB, IT, NL, SE)

**D. Söthje**, C. Dreyer, M. Bauer: *Verfahren zum Recycling benzoxazinharzhaltiger Materialien, insbesondere von benzoxazinharzhaltigen Faserverbundkunststoffen*  
CN 107 849 289 A  
US 2018/0 208 737 A1

**D. Söthje**, C. Dreyer, M. Bauer, R. Fischer: *Anordnung zur Behandlung von Materialien mit Mikrowellen*  
CN 108 141 931 A  
WO 2017/008 986 (IN)

**D. Söthje**, C. Dreyer, M. Bauer, J. Lang: *Verfahren zum Recycling von phenolharzhaltigen Materialien, insbesondere phenolharzbasierten Faserverbundkunststoffen*  
CN 108 350 209 A

**M. Vater**, U. Wendler, M. Bartke: *Bulkpolymerisation Process for the Preparation of Polydienes*  
WO 2018/002 256  
(WE, BR, CA, CN, IN, JP, KR, MX, MY, RU, SA, SG, TH, US)



## Erteilte Patente 2018: 20

Granted patents in 2018: 20

**M. Bauer**, D. Decker, G. Motz: *Acrylnitril-Silazan-Copolymere, insbesondere in Faserform, Verfahren zu deren Herstellung und ihre Verwendung*  
IN 301 750

**M. Bauer**, L. Hartmann, F. Kuschel, W. Weissflog: *Substituierte Amioalkohole als chirale Dotanden*  
EP 2 766 450 8 (CH, DE, FR, GB, IT)

**M. Bauer**, D. Söthje, C. Dreyer: *Verfahren zur Wiederverwertung von recycelten polycyanurathaltigen Materialien in neuen polymeren*  
DE 10 2012 112 254 A1

**M. Bauer**, C. Dreyer, K. Becker, G. Brenner, J. Nachtrab, F. Beuscher: *Thermoelektrisches Element aus »Leonischen Waren« und seine Herstellung*  
DE 10 2013 110 254 A1

**C. Boeffel**, A. Laschewsky, E. Wischerhoff, A. Enzenberg: *Zusammensetzung mit FRET-Paar in definierter Geometrie*  
DE 10 2014 203 266 A1

**F. Börner**, M. Jobmann, M. Hahn: *Formaldehyd-freie Harze basierend auf Hydroxyaldehyden*  
EP 3 080 178 B1 (DE)

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

**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*  
KR 10 2013 0 083 378 A

**G. Engelmann**, J. Ganster: *Lösungsmittelfreie Epoxidharzmischung, Verfahren zu deren Herstellung sowie deren Verwendung*  
DE 10 2011 016 918 A1

**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*  
EP 3 201 248 A0 (DE, FR, GB)

**M. Knoop**, A. Lieske, M. Hahn: *Verfahren zur thermischen Stabilisierung von Fasern sowie derart stabilisierte Fasern*  
EP 3 201 375 A0 (DE, FR, GB)  
JP 2015 533 630 A  
US 2015/0214 433 A1

**H. Krüger**, B. Kussmaul, G. Kofod, S. Risse: *Dielektrische Polymere mit erhöhter Permittivität, Verfahren zu deren Herstellung sowie Verwendungszwecke hiervon*  
EP 2 619 250 B1 (AT, BE, CH, DE, DK, FR, GB, NL)

**A. Lehmann**, H. Ebeling, H.-P. Fink: *Verfahren zur Herstellung ligninhaltiger Precursorfasern sowie Carbonfasern*  
JP 2018 24 971 A

**A. Laschewsky**, E. Wischerhoff, M. Päch: *Die Primärwaschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe I*  
EP 2 931 863 B1 (DE, FR, GB, IT, PL)

**A. Laschewsky**, E. Wischerhoff, M. Päch: *Die Primärwaschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe II*  
EP 2 931 769 (DE, FR, GB, IT, PL)

**A. Laschewsky**, E. Wischerhoff, M. Päch, H. Hellmuth, N. Plath, N. Bode, T. Weber, I. Vockenroth, B. Laufs: *Stabilisierung von Enzymen in tensidhaltigen wässrigen Systemen*  
EP 2014 071 611 (AU)

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

**R. Lorenz**, M. Bauer, S. Steffen: *Hochzähe Werkstoffe auf Basis ungesättigter Polyester*  
EP 2 864 390 (CH, CZ, DE, DK, ES, FR, GB, IT, NL, NO, PL, TR)

**A. Seebboth**, R. Ruhmann, D. Löttsch (+): *Thermochromes Material, dieses enthaltende Formkörper und deren Verwendung*  
EP 2 898 041 (CH, DE, FR, GB, NL, PL)

# PUBLIKATIONEN

## PUBLICATIONS

### Graduierungsarbeiten

Theses

**Optimierung eines Kontaktlinsenmaterials als Trägersystem für plasmaaktiviertes Wasser zur Behandlung von mykotischer Keratitis**  
Susan Bahloul | Master thesis, Hochschule Osnabrück

**Enzymatische und chemische Modifikation von hoch-amyloisigen Stärken für die Anwendung in Beschichtungen**  
Sonja Bläsing | Bachelor thesis, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

**Herstellung, Untersuchung und Bewertung der mikrobiellen Belastbarkeit von tensidstabilisierten kosmetischen Formulierungen**  
Silva Mariko Rosa Bonnowitz | Bachelor thesis, Beuth Hochschule für Technik Berlin

**Mechanische Eigenschaften und Materialverhalten additiv gefertigter hochdichter Bauteile aus Celluloseacetat**  
Stefan Böhler | Master thesis, BTU Cottbus - Senftenberg

**Optimization of poly(1,4-butylene adipate) synthesis using different catalysts and utilization for shape-memory polyurethane synthesis**  
Yin Yam Chan | Master thesis, Hochschule Aalen

**Photochemische Funktionalisierung exosomaler Membranen mithilfe von Photoaffinitäts-Labeln**  
Oliver Dabrowski | Dissertation, Universität Hamburg

**Synthesis of Artificial Building Blocks for Sortase-Mediated Ligation and Their Enzymatic Linkage**  
Xiaolin Dai | Dissertation, Universität Potsdam

**Entwicklung Galaktose-basierter Vinylidenmonomere**  
Kai Deitel | Bachelor thesis, Universität Potsdam

**Kinetische Untersuchung an magischen Cadmiumselenid-clustern und Kationaustauschprozesse an sphärischen Bleiselenidnanopartikeln im kontinuierlichen Flussreaktor**  
Marcel Dohrmann | Master thesis, Universität Hamburg

**Temperature Controlled Switching of Enzyme Activity via Thermoresponsive Polymers**  
Thilo Fischer | Bachelor thesis, Freie Universität Berlin

**Untersuchung zwitterionischer Polymere als Antifoulingmaterialien**  
Celine Fröhlich | Bachelor thesis, Universität Potsdam

**Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Herstellung kosmetischer Nanoemulsionen**  
Martin Geyer | Master thesis, Beuth Hochschule für Technik Berlin

**Motion manipulation and broadband microwave spectroscopic studies of molecules with a large dipole moment**  
Jack Graneek | Dissertation, Universität Hamburg

**Mikrobiologische, toxikologische und dermale Sicherheitsbewertung kosmetischer Mittel am Beispiel von Prostaglandin- sowie Tensid-stabilisierten Wimpernseren**  
Güleser Gözüacik | Bachelor thesis, Beuth Hochschule für Technik Berlin

**Synthese und Charakterisierung von Silbernanopartikeln als antimikrobieller Wirkstoff mittels in-vitro-Untersuchungen**  
Kübra Kayan | Bachelor thesis, Beuth Hochschule für Technik Berlin

**Kinetic investigation of different supported catalysts for the polymerization of propylene under industrially relevant conditions**  
Joana Kettner | Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Design of High Performance Indium Phosphide (InP) – based Quantum Dot Light Emitting Diodes (QLEDs)**  
Yohan Kim | Dissertation, Technische Universität Berlin

**Synthese von multidimensionalen CdSe/CdS Kern/Schale Systemen und deren optische Charakterisierung**  
Sonja Krohn | Master thesis, Universität Hamburg

**Investigation and Characterisation of Modern Biomaterials**  
Bernd Liebeck | Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

**Der Einfluss von Scherfeldern auf die Kristallisation des Copolymers Polybutylensuccinatadipat**  
Christian Neubert | Master thesis, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

**Synthesis of polystyrene microparticles via radical polymerization for the controlled delivery of active components**  
Christian Neumann | Master thesis, Freie Universität Berlin

**Thermoresponsive Block Copolymers with UCST-Behavior Aimed at Biomedical Environments**  
Noverra Marthadillah Nizaro | Dissertation, Universität Potsdam

**Purification and chemical Modification of a Hydrophobin recombinant Fusion Protein Dew A-PdxS**  
Masiar Novine | Bachelor thesis, Freie Universität Berlin

**High Impact Polypropylene – Structure Evolution and Impact on Reaction**  
Miguel Plata | Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Neue Therapiemöglichkeit der Acanthamöbenkeratitis mit Hydrogelkontaktlinsen als Trägersystem**  
Christopher Plog | Bachelor thesis, Beuth Hochschule für Technik Berlin

**Employment of Block Copolymers for Two-Dimensional Assembly of Nanoparticles and Nanorods**  
Elina Ploshnik | Dissertation, The Hebrew University of Jerusalem

**Untersuchungen zum Löseverhalten und zur Spinnbarkeit von Lignocellulosen in unterschiedlichen Lösungsmittelsystemen**  
Robert Protz | Dissertation, Technische Universität Berlin

**Untersuchung und Bewertung eines Verfahrens zur Herstellung von Packmitteln aus Algen**  
Ludwig Schmidtchen | Diploma thesis, Technische Universität Dresden

**Stabilität von Polymeren mit Antifouling-Wirkung in wässriger Lösung**  
Eric Schönemann | Master thesis, Universität Potsdam

**Neuartige Formgedächtnispolymermaterialien für Membrananwendungen**  
Dennis Schönfeld | Master thesis, Technische Universität Berlin

**Preparation of secondary latices from starch esters**  
Elyes Soudani | Master thesis, Universität Freiburg

**Synthesis, assembly and thermo-responsivity of polymer-functionalized magnetic cobalt nanoparticles**  
Li Tan | Dissertation, Universität Potsdam

**Structure of complex fluids under shear flows**  
Joana Rita Ripado Valerio | Dissertation, Universität Hamburg

**Design, Fabrication and Application of Responsive Hydrogel Micropatterns**  
Patrick Wünnemann | Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

**Development of Starch Based Flame Retardants, Modified with Phosphorous-Nitrogen Synergy Systems in Bioplastics**  
Neha Yadav | Master thesis, Hochschule Aalen

**Direkte Arylierung: Eine alternative Synthesemethode zur Herstellung von Absorberpolymeren für die organische Photovoltaik**  
Diana Zimmermann | Dissertation, Universität Potsdam



## Vorträge

### Lectures

**A. Böker:** *Biologisierung von Werkstoffen: Integration von biologischen Funktionalitäten in Polymere*, BMBF »Materialinnovationen 2018«, München, 4.–6. 6. 2018

**A. Böker:** *Fraunhofer in der Lausitz*, Lausitz-Konferenz, Cottbus, 24. 9. 2018

**A. Böker:** *From Biopolymers to Nanoparticles: New Developments for Cosmetics at Fraunhofer IAP*, Kao Europe Research Lab Symposium, Darmstadt, 18. 9. 2018

**A. Böker:** *Functional Colloids: From Protein-Polymer-Conjugates to Patchy Particles*, Deutsch-Chinesisches Symposium, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz, 9. 11. 2018

**A. Böker:** *Incorporation of Biological Functions into Polymer Materials: The Use of Protein-Polymer-Conjugates*, ACS Colloids 2018, State College (USA), 10.–13. 6. 2018

**A. Böker:** *Incorporation of Biological Functions into Polymer Materials: The Use of Protein-Polymer-Conjugates*, ACS-Meeting, Boston (USA), 21. 8. 2018

**A. Böker:** *Incorporation of Biological Functions into Polymer Materials: The Use of Protein-Polymer-Conjugates*, European Materials Research Society, Symposium W, Strasbourg (France), 18.–22. 6. 2018

**A. Böker:** *Incorporation of Biological Functions into Polymer Materials: The Use of Sugar- or Protein-Polymer Conjugates*, Reimund Stadler Symposium, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz, 15. 10. 2018

**A. Böker:** *Incorporation of Biological Functions into Polymer Materials: The Use of Protein-Polymer-Conjugates*, GDCh-Division of Macromolecular Chemistry, Karlsruhe, 25. 9. 2018

**A. Böker:** *Leistungsfähige Funktionswerkstoffe aus dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP*, Internationale Luft- und Raumfahrttausstellung Berlin »Kunststoff trifft Luftfahrt«, Berlin, 26. 4. 2018

**A. Böker:** *Photoresponsive Materials Self-Assembled from Anisotropic Microparticles*, 4th Statussymposium on Functional Macroscopic Systems, Hannover, 8.–9. 10. 2018

**J. Buller,** C. Gabriel, A. Schaefer, B. Volkert, W. Vorwerg: *Biobased wood adhesives by modification of starch and cellulose*, ZELLCHEMING-Expo 2018, Frankfurt am Main, 26. 6. 2018

**J. Buller:** *New applications and trends for modified starch, International Conference "Deep processing of grain: Shaping the value chain"*, Moscow, (Russia) 14. 3. 2018

**J. Buller:** *Potato starch as a biobased solution for paints, coatings & varnishes*, 3rd Starch World Middle East, Dubai, (ARE) 18. 9. 2018

**J. Buller,** C. Gabriel, J. Kolbe, W. Vorwerg: *Starch-based wood adhesives*, Starch Convention, Detmold, 10.–11. 4. 2018,

**N. Esmaeili:** *Bio-based thermosetting epoxy foam: Wastewater remediation & thermal insulator*, 8th World Congress on BioPolymers, Berlin, 28.–30. 6. 2018

**U. Glebe:** *Mimicking natural membranes utilizing transmembrane protein-polymer conjugates*, First International Conference PDFa, Polymers: Design, Function and Application, Barcelona (Spain), 22.–23. 3. 2018

**A. Holländer,** P. Cosemans: *Oberflächen und Beschichtung additiv gefertigter Polymerteile*, 26. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium 2018, Dresden, 17.–18. 10. 2018

**A. Holländer,** P. Cosemans: *Surface technology for additive manufacturing with polymers*, 16th International Conference on Plasma Surface Engineering, PSE 2018, Garmisch-Partenkirchen, 17.–21. 9. 2018

**V. Hryn,** O. Sakhno, A. Bendziak, V. Fito, T. Smirnova: *Development of the waveguide photonic crystal structures formed by a distribution of nanoparticles in polymer matrix*, 6th International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials", NANO 2018, Kiyv (Ukraine), 27.–30. 8. 2018

**A. Laschewsky:** *Designing Low-fouling Coatings via Crosslinked Polyzwitterion Hydrogels*, Biennial Meeting of the GDCh Division of Macromolecular Chemistry, Karlsruhe, 24.–27. 9. 2018

**A. Laschewsky:** *Designing Low-fouling Coatings from Polyzwitterions*, Mainz-Kyushu Joint Chemistry Symposium on Nanomaterials, Polymers, and Self-Assembly, Mainz, 4.–5. 11. 2018

**A. Laschewsky:** *Strategies to Control the Adhesion to Solid Surfaces Using Polyzwitterions*, 14th European Detergency Conference (EDC), 65th SEPAWA Congress, Berlin, 10.–12. 10. 2018

**A. Laschewsky:** *Strategies to Control the Fouling of Solid Surfaces Using Zwitterionic Coatings*, Workshop "Functional Polymers and Polymer Colloids" of Marie Curie European Training Network TRACKWAY, Ludwigshafen, 4. 12. 2018

**A. Lehmann,** A. Lieske, J. Erdmann, J. Ganster: *ComCarbon® technology – melt spinning of a new class of PAN copolymers for carbon fibers*, CW 2018, Conference on Carbon Fiber, La Jolla (USA), 4.–6. 12. 2018

**A. Lieske,** R. Hass: *Online monitoring of polymer nanoparticle growth as valuable tool in the development of paint and adhesive dispersions*, ATIPIC/BPG Workshop, Leuven, 22. 2. 2018

**M. Mathieu:** *Transmembrane protein-polymer conjugates for the generation of nano-thin membranes*, 7. Berliner Chemie Symposium, BCS 2018, Berlin, 5.–6. 4. 2018

**N. M. Nizado:** *"Smart" Zwitterionic Block Copolymers with Upper Critical Solution Temperature Behavior for Controlled Release Purpose*, 47th IUPAC World Polymer Congress MACRO 2018, Cairns (Australia), 1.–5. 7. 2018

**O. Sakhno,** J. Stumpe: *Diffraction optical elements for 3D display architectures: Materials and processing*, Huawei Material and Processing Summit 2018, München, 15.–16. 10. 2018

**O. Sakhno,** Y. Gritsai, H. Sahn, J. Stumpe, M. Wegener: *Bragg polarization gratings used as switchable elements in AR/VR holographic displays*, in B. C. Kress: *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers -SPIE-*, Bellingham/Wash.: *Digital Optics for Immersive Displays*, Strasbourg (France), 24.–25. 4. 2018  
Bellingham, WA: *SPIE*, Paper 106760F, p. 17 (2018)  
DOI: 10.1117/12.2309788

**J. Storsberg,** O. Mauger: *Wie Blinde wieder sehen können – Forschung für neue Lebensqualität*, Rotary Club Alzey und Elisabeth-Langgässer-Gymnasium, Alzey, 25. 10. 2018

## Poster

### Posters

**J. M. Hechenbichler,** C. Henschel, C. Herfurth, A. Laschewsky, B. von Lospichl, M. Gradzielski: *Thermoresponsive Block Copolymers from One-Pot Sequential RAFT Polymerizations and their Self-Assembly in Aqueous Solution*, 14th European Detergency Conference EDC, Berlin, 10. 10. 2018

**C. Herfurth,** N. Shah, A. Lieske: *Isocyanate-free polyurethanes – approaching industrial feasibility*, Annual Meeting on Reaction Engineering, Würzburg, 7.–9. 5. 2018

**S. Janietz,** S. R. Veintimilla, T. Egorov-Brening, W. Meyer: *Coatable, fully amorphous PEG based polymer electrolyte for lithium ion battery with adapted adhesion properties for electrode materials*, Third Bunsen Colloquium on Solid-State Batteries, Frankfurt am Main, 14.–16. 11. 2018

**S. Janietz,** H. Krüger: *Proton-conductive block copolyphenylquinoxalines ionomers for fuel cells and electrolysis*, 233rd ECS Meeting, Seattle (USA), 13.–17. 5. 2018

**S. Janietz,** H. Krüger, T. Egorov-Brening: *Proton-conductive block copolyphenylquinoxalines ionomers for fuel cells and electrolysis*, Ion Exchange Membranes for Energy Applications, EMEA, Bad Zwischenhahn, 26.–28. 6. 2018

**C.-H. Ko,** K.-L. Claude, D. Schanzenbach, B.-J. Niebuur, X. Zhang, H. Frielinghaus, L. Barnsley, V. Pipich, B. Wu, A. Schulte, P. Müller-Buschbaum, A. Laschewsky, C.M. Papadakis: *Structural and dynamic behavior of the thermoresponsive polymer poly(N-isopropylmethacrylamide)*, 32nd Conference of The European Colloid and Interface Society (ECIS), Ljubljana (Slovenia), 2.–7. 9. 2018

**J. Koc,** E. Schönemann, J.A. Finlay, A.S. Clare, A. Laschewsky, A. Rosenhahn: *Photocrosslinked polyzwitterionic polymers as ultralow fouling coatings*, Biointerfaces International 2018, Zürich (Switzerland), 14.–16. 8. 2018

**J. Koc,** E. Schönemann, A. Laschewsky, A. Rosenhahn: *Photocrosslinked polyzwitterionic polymers as ultralow fouling coatings*, 19th International Congress on Marine Corrosion and Fouling ICMCF2018, Melbourne (FL, USA), 24.–29. 6. 2018

## Publikationen

### Publications

**O. Mauger:** *Biomaterialien für die Medizintechnik*, 1. Fraunhofer-Offenes Clustertreffen, Fraunhofer IWM, Freiburg, 12. 7. 2018

**E. Schönemann,** A. Laschewsky, J. Koc, A. Rosenhahn: *Thin Polymer Hydrogel Films with Efficient Antifouling Performance*, Makromolekulares Kolloquium Freiburg, Freiburg, 21. – 23. 2. 2018

**M. Schwieters,** M. Mathieu, L. Al-Shok, H. Charan, M. Tutus, U. Glebe, A. Böker: *Chiral membranes*, Annual Congress »Biotechnologie 2020+«, Fraunhofer-Forum, Berlin, 4. 10. 2018

**D. Aravopoulou,** K. Kyriakos, A. Miasnikova, A. Laschewsky, C. M. Papadakis, A. Kyritsis: *Comparative investigation of the thermoresponsive behavior of two diblock copolymers comprising PNIPAM and PMDEGA blocks*, Journal of physical chemistry B 122, N° 9, pp. 2655–2668 (2018)  
DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b09647

**M. Bartke:** *Reaktoren für spezielle technisch-chemische Prozesse: Polymerisationsreaktoren*, in W. Reschetilowski: *Handbuch Chemische Reaktoren: Grundlagen und Anwendungen der Chemischen Reaktionstechnik*, Springer, Berlin, p. 28 (2018)  
DOI: 10.1007/978-3-662-56444-8\_36-1

**X. Dai,** D. M. Mate, U. Glebe, T. M. Garakani, A. Körner, U. Schwaneberg, A. Böker: *Sortase-mediated ligation of purely artificial building blocks*, Polymers 10, N° 2, Art. 151, p. 13 (2018)  
DOI: 10.3390/polym10020151

**D. Dietz,** F. Körner, F. Wollny: *Biodiesel from lignocellulose by metabolic engineering of a basidiomycete*, Chemie-Ingenieur-Technik 90, N° 9, p. 1147 (2018)  
DOI: 10.1002/cite.201855033

**N. Esmaeili,** A. Salimi, M. J. Zohuriaan-Mehr, M. Vafayanb, W. Meyer: *Bio-based thermosetting epoxy foam: Tannic acid valorization toward dye-decontaminating and thermo-protecting applications*, Journal of hazardous materials 357, pp. 30–39 (2018)  
DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.05.045

**N. Esmaeili,** M. J. Zohuriaan-Mehr, A. Salimi, M. Vafayan, W. Meyer: *Tannic acid derived non-isocyanate polyurethane networks: Synthesis, curing kinetics, antioxidizing activity and cell viability*, Thermochemica acta 664, pp. 64–72 (2018)  
DOI: 10.1016/j.tca.2018.04.013

**J. Fuchs,** M. Feldmann, C. Aßmann, W. Vorwerg, H.-P. Heim: *Cross-Linked Hydrophobic Starch Granules in Blends with PLA*, International polymer processing 33, N° 1, pp. 89-95 (2018)  
DOI: 10.3139/217.3407

**E. Georgiou,** C. Choulis, A. Stelios, F. Hermerschidt, S. M. Pozov, I. Burgés-Ceballos, C. Christodoulou, G. Schider, S. Kreissl, R. Ward, E. J. W. List-Kratochvil, C. Boeffel: *Printed copper nanoparticle metal grids for cost-effective ITO-free solution processed solar cells*, Solar RRL 2, N° 3, Art. 1700192, p. 8 (2018)  
DOI: 10.1002/solr.201700192

**U. Gerke,** R. P. Franke, A. Krüger-Genge, F. Jung: *Acute effects of Iodixanol on renal function after intra-arterial administration in patients with end-stage kidney disease*, Clinical hemorheology and microcirculation 70, N° 4, pp. 391–398 (2018)  
DOI: 10.3233/CH-189304

**X. Han,** J. Courseaus, J. Khamassi, N. Nottrodt, S. Engelhardt, F. Jacobsen, C. Bierwisch, W. Meyer, T. Walter, J. Weisser, R. Jaeger, R. Bibb, R. Harris: *Optimized vascular network by stereolithography for tissue engineered skin*, International journal of bioprinting 4, N° 2, Art. 134, p. 17 (2018)  
DOI: 10.18063/ijb.v4i2.134

**K.-H. Haas,** G. Tovar: *Angewandte Nanotechnologie*, Fraunhofer Verlag, Stuttgart, pp. 198–222 (2018)  
J. Diemert, A. Hartwig, A. Laschewsky: *Polymerbasierte Nanokomposite*, Chapter 10 K. Borchers, P. Kluge, G. E. M. Tovar, A. Wenz, E. Wischerhoff: *Nanobiotechnologische Materialien und Beschichtungen für die Medizintechnik*, Chapter 14 ISBN 978-3-8396-0918-7

**S. Haufe,** J. Bohrisch, S. Y. Bratskaya, S. Schwarz: *Vergleich von herkömmlichen und reacylierten Chitosanen hinsichtlich ihrer Flockungseigenschaften*, Chemie-Ingenieur-Technik 90, N° 3, pp. 324–332 (2018)  
DOI: 10.1002/cite.201700014

**D. Hennecke,** A. Bauer, M. Herrchen, E. Wischerhoff, F. Gores: *Cationic polyacrylamide copolymers (PAMs): Environmental half life determination in sludge-treated soil*, Environmental Sciences Europe: ESEU 30, Art. 16, p. 13 (2018)  
DOI: 10.1186/s12302-018-0143-3

**M. Hiebel,** D. Maga, S. Kabasci, A. Lieske, K. Jesse, C. Westphalen, J. Bauer, L. Kroll, R. Rinberg, T. Hartmann, H.-J. Endres, A. Siebert-Raths, D. Bellusova, S. Mauer, L. Mundzeck, S. Kötter-Gribbe, A. Mäurer, T. Fell, A. Dörgens: *PLA-Abfälle im Abfallstrom*, Müll und Abfall 50, N° 4, pp. 200–202 (2018)

**D. John,** M. Zimmermann, A. Böker: *Generation of 3-dimensional multi-patches on silica particles via printing with wrinkled stamps*, Soft matter 14, N° 16, pp. 3057–3062 (2018)  
DOI: 10.1039/c8sm00224j

**Y. Kim,** B. Heyne, A. Abouserie, C. Pries, C. Ippen, C. Günter, A. Taubert, A. Wedel: *CuS nanoplates from ionic liquid precursors: Application in organic photovoltaic cells*, The Journal of chemical physics 148, N° 19, Art. 193818, p. 11 (2018)  
DOI: 10.1063/1.4991622

**Y. Kim,** B. Heyne, A. Geßner, Y. Park, M. Kang, S. Ahn, B. Lee, A. Wedel: *P-110: Efficient InP-based quantum dot light emitting diodes utilizing a crosslinkable hole transport layer*, Society for Information Display, SID Symposium Digest of Technical Papers 49, N° 1, pp. 1625–1628 (2018)  
DOI: 10.1002/sdtp.12293

**A. J. Koivisto,** A. B. Bluhme, K. I. Kling, A. S. Fonseca, E. Redant, F. Andrade, K. S. Hougaard, M. Krepker, O. S. Prinz, E. Segal, A. Holländer, K. A. Jensen, U. Vogel, I. K. Koponen: *Occupational exposure during handling and loading of halloysite nanotubes – a case study of counting nanofibers*, NanolImpact 10, pp. 153–160 (2018)  
DOI: 10.1016/j.im-pact.2018.04.003

**A. Krüger-Genge,** F. Jung, J. H. Küpper, C. Lehmann, R. P. Franke: *Actin type and distribution in erythrocytes*, Journal of Cellular Biotechnology 3, N° 2, pp. 81–83 (2018)  
DOI: 10.3233/JCB-179014

**J. Kurpiers,** T. Ferron, S. Roland, M. Jakoby, T. Thiede, F. Jaiser, S. Albrecht, S. Janietz, B. A. Collins, I. A. Howard, D. Neher: *Probing the pathways of free charge generation in organic bulk heterojunction solar cells*, Nature Communications 9, Art. 2038, p. 11 (2018)  
DOI: 10.1038/s41467-018-04386-3

**M. T. Leiendecker,** C. J. Licht, J. Borghs, D. J. Mooney, M. Zimmermann, A. Böker: *Physical Polyurethane Hydrogels via Charge Shielding through Acids or Salts*, Macromolecular rapid communications 39, N° 7, Art. 1700711, p. 5 (2018)  
DOI: 10.1002/marc.201700711

**C. G. Lopez,** A. Manova, C. Hoppe, M. Dreja, P. Schmiedel, M. Job, W. Richtering, A. Böker, L. A. Tsarkova: *Combined UV-Vis-absorbance and reflectance spectroscopy study of dye transfer kinetics in aqueous mixtures of surfactants*, Colloids and surfaces A 550, p. 74–81 (2018)  
DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.04.024

**B.-J. Niebuur,** J. Puchmayr, C. Herold, L. P. Kreuzer, V. Hildebrand, P. Müller-Buschbaum, A. Laschewsky, C. M. Papadakis: *Polysulfobetaines in Aqueous Solution and in Thin Film Geometry*, Materials 11, N° 5, Art. 850, p. 11 (2018)  
DOI: 10.3390/ma11050850

**J. S. Niehaus:** *11-5: Late-News Paper: Quantum rods – smart choice for future display generations*, Society for Information Display, SID Symposium Digest of Technical Papers 49, N° 1, pp. 115–116 (2018)  
DOI: 10.1002/sdtp.12496

**N. M. Nizardo,** D. Schanzenschach, E. Schönemann, A. Laschewsky: *Exploring poly(ethylene glycol)-polyzwitterion diblock copolymers as biocompatible smart macrosurfactants featuring UCST-phase behavior in normal saline solution*, Polymers 10, N° 3, Art. 325, p. 22 (2018)  
DOI: 10.3390/polym10030325

**R. Protz,** G. Weidel, A. Lehmann: *Man-made cellulosic fibers via the viscose process – new opportunities by cellulose carbamate*, Lenzinger Berichte 94, pp. 77–84 (2018)



**R. D. Rykhus**, Z. V. Shepard, A. Young, H. Frisby, K. A. Calder, C. M. Coon, J. A. Falk, S. R. McAndrews, A. Turner, C. Chang, J. Michelsohn, R. Petch, S. M. Dieker, B. H. Markworth, K. Alamo-Perez, A. J. Hosack, J. M. Berg, C. Schmidt, J. Storsberg, M. A. Brown: *Facilitating a more efficient commercial review process for pediatric drugs and biologics*, Diseases 6, N° 1, Art. 2, p. 5  
DOI: 10.3390/diseases6010002

**O. Sakhno**, Y. Gritsai, H. Sahm, J. Stumpe: *Fabrication and performance of efficient thin circular polarization gratings with Bragg properties using bulk photo-alignment of a liquid crystalline polymer*, Applied Physics B 124, N° 3, Art. 52, p. 10 (2018)  
DOI: 10.1007/s00340-018-6920-2

**E. Schönemann**, A. Laschewsky, A. Rosenhahn: *Exploring the Long-Term Hydrolytic Behavior of Zwitterionic Polymethacrylates and Polymethacrylamides*, Polymers 10, N° 6, Art. 639, p. 23 (2018)  
DOI: 10.3390/polym10060639

**J. Storsberg**, M. K. Volkert, O. Mauger, M. A. Brown, C. Schmidt: *Fälschungssichere Markierung von Brustimplantaten mittels verkapselter DNA*, Plastische Chirurgie, N° 2, pp. 84–86 (2018)

**Z. Sun**, U. Glebe, H. Charan, A. Böker, C. Wu: *Enzyme-polymer conjugates as robust pickering interfacial biocatalysts for efficient biotransformations and one-pot cascade reactions*, Angewandte Chemie, International edition 57, N° 42, pp. 13810–13814 (2018)  
DOI: 10.1002/anie.201806049

**L. Tan**, B. Liu, K. Siemensmeyer, U. Glebe, A. Böker: *Synthesis of thermo-responsive nanocomposites of superparamagnetic cobalt nanoparticles/poly(N-isopropylacrylamide)*, Journal of colloid and interface science 526, pp. 124–134 (2018)  
DOI: 10.1016/j.jcis.2018.04.074

**L. Tan**, B. Liu, K. Siemensmeyer, U. Glebe, A. Böker: *Synthesis of polystyrene-coated superparamagnetic and ferromagnetic cobalt nanoparticles*, Polymers 10, N° 10, Art. 1053, p. 18 (2018)  
DOI: 10.3390/polym10101053

**L. Tan**, B. Liu, U. Glebe, A. Böker: *Magnetic field-induced assembly of superparamagnetic cobalt nanoparticles on substrates and at liquid-air interface*, Langmuir 34, N° 46, pp. 13993–14002 (2018)  
DOI: 10.1021/acs.langmuir.8b02673

**C. Uhlig**, M. Bauer, J. Bauer, O. Kahle, A. C. Taylor, A. J. Kinloch: *Influence of backbone structure, conversion and phenolic co-curing of cyanate esters on side relaxations, fracture toughness, flammability properties and water uptake and toughening with low molecular weight polyethersulphones*, Reactive & functional polymers 129, pp. 2–22 (2018)  
DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2017.10.004

**N. S. Vishnevetskaya**, V. Hildebrand, M. A. Dyakonova, B.-J. Niebuur, K. Kyriakos, K. N. Raftopoulos, Z. Di, P. Müller-Buschbaum, A. Laschewsky, C. M. Papadakis: *Dual orthogonal switching of the "schizophrenic" self-assembly of diblock copolymers*, Macromolecules 51, N° 7, pp. 2604–2614 (2018)  
DOI: 10.1021/acs.macromol.8b00096

**L. Vogel**, D. Janietz, M. Prehm, C. Tschierske: *Hydrogen-bonded mesomorphic complexes combining hydrophilic and fluorophilic molecular segments*, Soft matter 14, N° 5, pp. 806–816 (2018)  
DOI: 10.1039/c7sm01801k

**D. Weber**, S. Knaak, K. Hettrich, M. Andrulis, F. Momburg, M. Quade, M. Gelinsky, R. Schwartz-Albiez: *Influence of regioselectively sulfated cellulose on in vitro vascularization of biomimetic bone matrices*, Biomacromolecules 19, N° 11, pp. 4228–4238 (2018)  
DOI: 10.1021/acs.biomac.8b01004

**F. Yokaichiya**, C. Schmidt, J. Storsberg, M. Kumpugdee Vollrath, D. Ribeiro de Araujo, B. Kent, D. Clemens, F. Wingert, M. K. K. D. Franco: *Effects of doxorubicin on the structural and morphological characterization of solid lipid nanoparticles (SLN) using small angle neutron scattering (SANS) and small angle X-ray scattering (SAXS)*, Physica B 551, pp. 191–196 (2018)  
DOI: 10.1016/j.physb.2017.12.036

**M. Zellmeier**, T. J. K. Brenner, S. Janietz, N. H. Nickel, J. Rappich: *Polythiophenes as emitter layers for crystalline silicon solar cells: Parasitic absorption, interface passivation, and open circuit voltage*, Journal of applied physics 123, N° 3, Art. 033102, p. 6 (2018)  
DOI: 10.1063/1.5006625

**S. Zhang**, C. Bisterfeld, J. Bramski, N. Vanparijs, B. G. de Geest, J. Pietruszka, A. Böker, S. Reinicke: *Biocatalytically active thin films via self-assembly of 2-deoxy-D-ribose-5-phosphate aldolase-Poly(N-isopropylacrylamide) conjugates*, Bioconjugate Chemistry 29, N° 1, pp. 104–116 (2018)  
DOI: 10.1021/acs.bioconjchem.7b00645

**Q. Zhong**, L. Mi, E. Metwalli, L. Bießmann, M. Philipp, A. Miasnikova, A. Laschewsky, C. M. Papadakis, R. Cubitt, M. Schwartzkopf, S. V. Roth, J. Wang, P. Müller-Buschbaum: *Effect of chain architecture on the swelling and thermal response of star-shaped thermo-responsive (poly(methoxy diethylene glycol acrylate)-block-polystyrene)<sup>3</sup> block copolymer films*, Soft matter 14, N° 31, pp. 6582–6594 (2018)  
DOI: 10.1039/c8sm00965a

**D. Zimmermann**, C. Sprau, J. Schröder, G. Gregoriou, G. Vasilis, A. Avgeropoulos, C. L. Chochos, A. Colmann, S. Janietz, H. Krüger: *Synthesis of D-π-A-π type benzodithiophene-quinoxaline copolymers by direct arylation and their application in organic solar cells*, Journal of polymer science A, polymer chemistry 56, N° 13, pp. 1457–1467 (2018)  
DOI: 10.1002/pola.29027

**M. Zimmermann**, D. Grigoriev, N. Puretskiy, A. Böker: *Characteristics of microcontact printing with polyelectrolyte ink for the precise preparation of patches on silica particles*, RSC Advances 8, N° 69, pp. 39241–39247 (2018)  
DOI: 10.1039/c8ra07955b

**M. Zimmermann**, D. John, D. Grigoriev, N. Puretskiy, A. Böker: *From 2D to 3D patches on multifunctional particles: How microcontact printing creates a new dimension of functionality*, Soft matter 14, N° 12, pp. 2301–2309 (2018)  
DOI: 10.1039/c8sm00163d

**C. Dreyer**: *UV LED curable thermosetting resins and composites thereof – applications from micrometer to meter scale*, Thermosetting Resins 2018 Conference, Proceedings, CD-ROM, Teltow InnoMat, Berlin, 25.–27.9.2018

**L. Hartmann**: *Microwave-assisted curing of fiber reinforced plastics – electromagnetic simulation*, Thermosetting Resins 2018 Conference, Proceedings, CD-ROM, Teltow InnoMat, Berlin, 25.–27.9.2018

**K. Klauke**, N. Gerber, C. Dreyer: *UV curable nanopores as core material for lightweight applications*, in: M. Kneissl: *International Ultraviolet Association -IUA-*, Joint International Conference on UV LED Technologies & Applications, ICULTA, p. 57, Berlin, 22.–25.4.2018

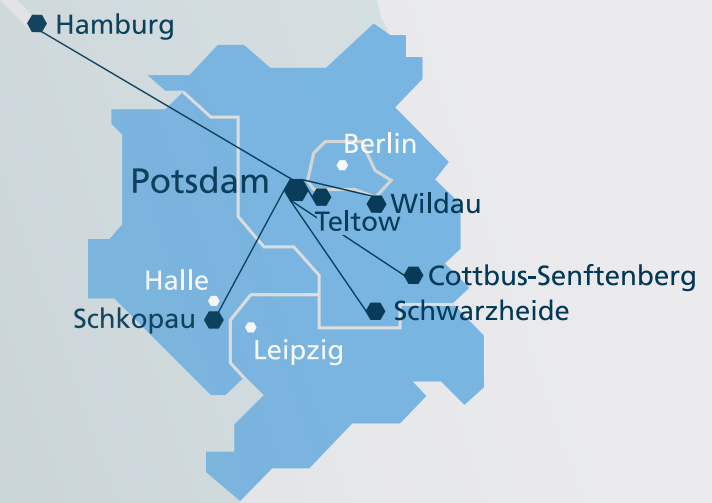
**M. Köhler**, C. Dreyer, J. Rosenkranz: *Innovative UV LED Curable Resins for Optical Coatings for Medical Applications and Materials Processing*, in: M. Kneissl: *International Ultraviolet Association -IUA-*, Joint International Conference on UV LED Technologies & Applications, ICULTA, p. 61, Berlin, 22.–25.4.2018

**M. Köhler**, C. Herfurth, C. Uhlig, A. Lieske: *Integration of tunable low Tg thermoplastic polymers in thermosetting resins as toughening and damping modifiers*, Thermosetting Resins 2018 Conference, Proceedings, CD-ROM, Teltow InnoMat, Berlin, 25.–27.9.2018

**C. Uhlig**: *The relationship between thermoset resin compressive yielding behavior and toughenability in addition curing resins*, in: M. Bauer: *Thermosetting Resins 2018 Conference*, Proceedings, CD-ROM, Teltow InnoMat, Berlin, 25.–27.9.2018

# ANFAHRT HOW TO REACH US

# STANDORTE LOCATIONS



## 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, 606 oder 612 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 Central 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, 606 or 612 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 im Kreisverkehr rechts abbiegen in Richtung Golm, am nächsten Kreisverkehr geradeaus

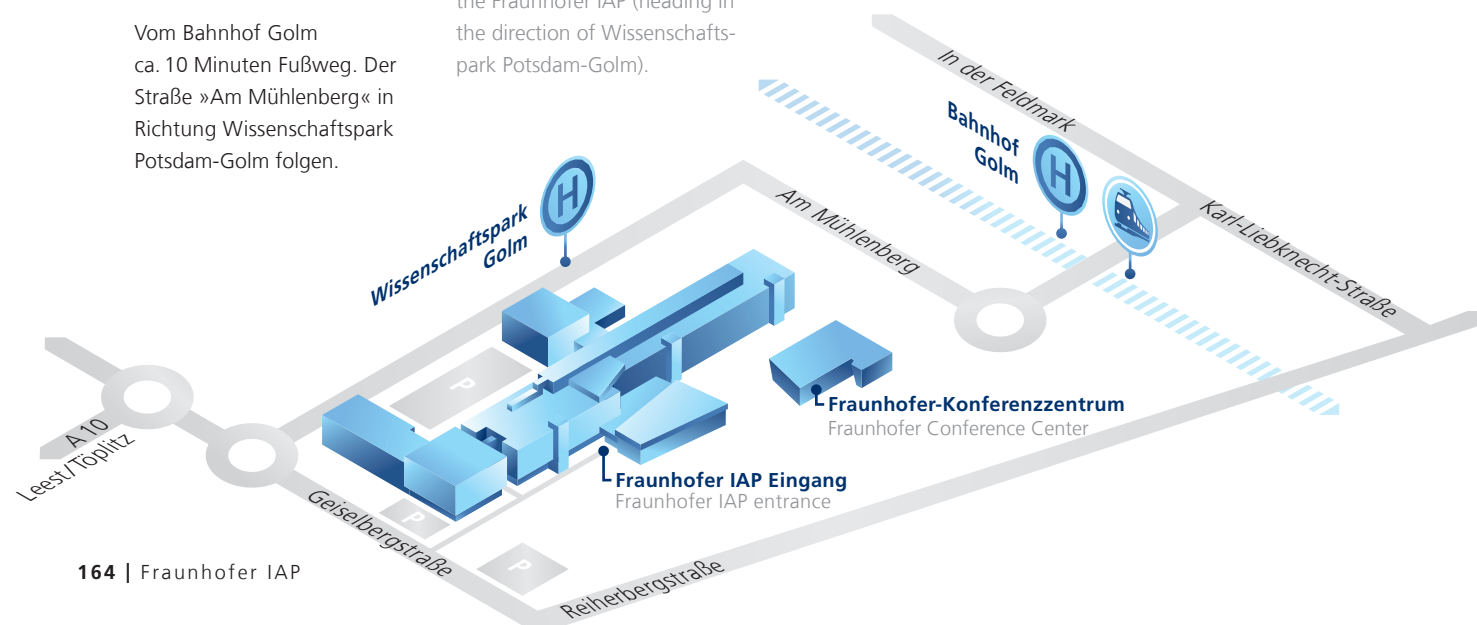
- Parkplätze des Fraunhofer IAP an der ersten Einfahrt links

## 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 at the roundabout right towards Golm, drive straight on at the next roundabout

- the parking lots of the Fraunhofer IAP are the first driveway on the left



### 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

Schipkauerstr. 1 | BASF A 754  
01987 Schwarzheide

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



### Polymermaterialien und Composite PYCO, Teltow

Polymeric Materials and  
Composites PYCO, Teltow

Kantstr. 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 | Freiheitstr. 124-126  
Technikum 2 | Schmiedestr. 5  
15745 Wildau

Telefon +49 3375 528 823-00



### Zentrum für Angewandte Nanotechnologie CAN, Hamburg

Center for Applied  
Nanotechnology CAN, Hamburg

Grindelallee 117  
20146 Hamburg

Telefon +49 40 42838-4983



# IMPRESSUM

## EDITORIAL NOTES

### 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](mailto:info@iap.fraunhofer.de)  
Internet [www.iap.fraunhofer.de](http://www.iap.fraunhofer.de)

#### Redaktion

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber

#### Übersetzung

able Sprachschule GbR

#### Satz und Gestaltung

Dipl.-Komm.-Designerin Jadwiga Galties, Sophie Läuter

#### Covergestaltung

Dipl.-Komm.-Designerin Jadwiga Galties

#### Druck

Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft  
Potsdam mbh

#### Bildquellen

Alexander Krause	S. 165 oben Mitte
Björn Speckmann	S. 65
Katja Schulz	S. 90
Michael Moser	S. 8
Steffen Rasche	S. 165 oben rechts
Till Budde	S. 13, 30 (Juni), 31 (März: 3. Bild, Juni: 2. Bild), 39, 41, 48, 53, 55, 67, 69, 81, 83, 90, 95, 97, 101, 103, 105, 107, 117, 119, 165 oben links

#### Portraitfotos

Foto Reinhard	S. 25, Dr. Wendler
Manuela Zydor	S. 5, 24, 25, 45, 49, 59, 63, 65, 71, 77, 79, 87, 91, 93, 113, 115
Till Budde	S. 24, 25, 27, 123, 125, 127
studioline photography	S. 15, 24, 111, Dr. Dreyer

#### 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](mailto:info@iap.fraunhofer.de)  
Internet [www.iap.fraunhofer.com](http://www.iap.fraunhofer.com)

#### Editorial team

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber

#### Translation

able Sprachschule GbR

#### Layout

Dipl.-Komm.-Designerin Jadwiga Galties, Sophie Läuter

#### Cover design

Dipl.-Komm.-Designerin Jadwiga Galties

#### Printing house

Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft  
Potsdam mbh

#### Photo acknowledgements

Alexander Krause	p. 165 top center
Björn Speckmann	p. 65
Katja Schulz	p. 90
Michael Moser	p. 8
Steffen Rasche	p. 165 top right
Till Budde	p. 13, 30 (June), 31 (March: picture 3, June: picture 2), 39, 41, 48, 53, 55, 67, 69, 81, 83, 90, 95, 97, 101, 103, 105, 107, 117, 119, 165 top left

#### Portrait photos

Foto Reinhard	p. 25, Dr. Wendler
Manuela Zydor	p. 5, 24, 25, 45, 49, 59, 63, 65, 71, 77, 79, 87, 91, 93, 113, 115
Till Budde	p. 24, 25, 27, 123, 125, 127
studioline photography	p. 15, 24, 111, Dr. Dreyer

#### Cover photos by

Till Budde

Photos by Fraunhofer IAP unless otherwise indicated.