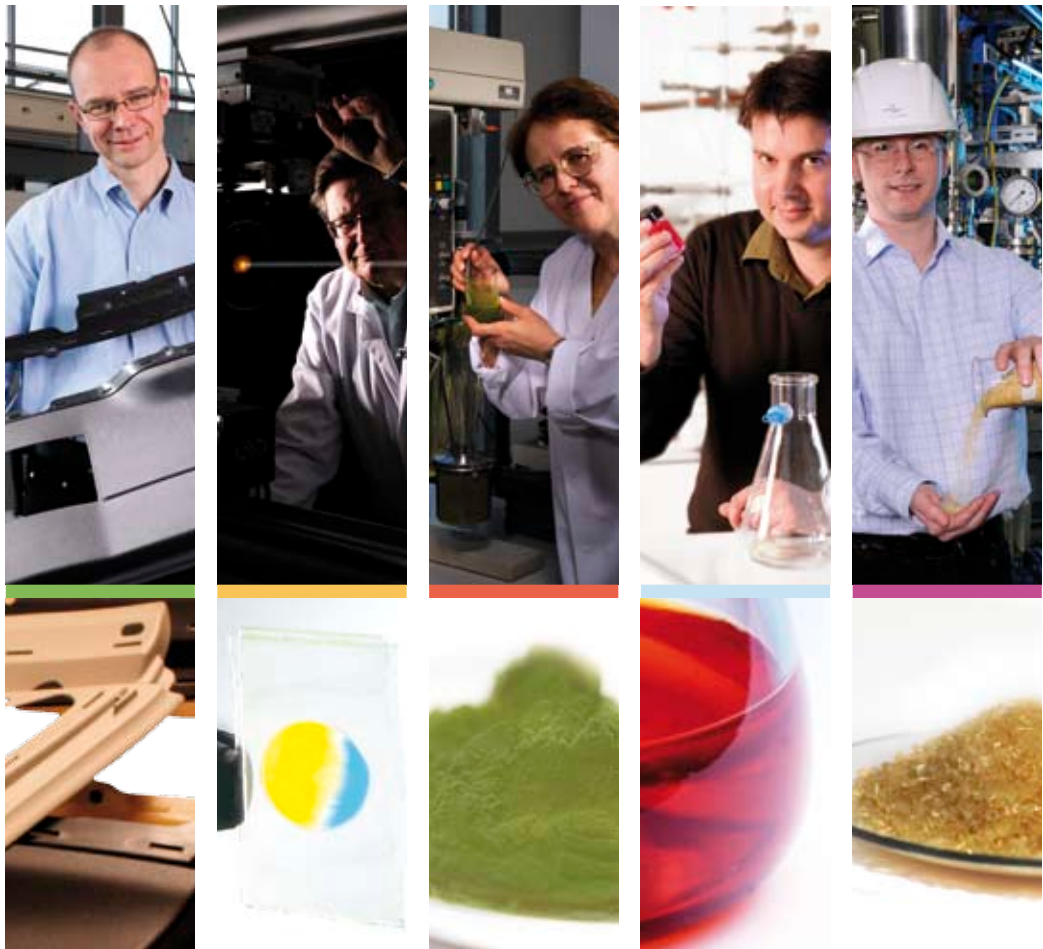


Viel mehr als Kunststoff ■ *Much more than plastics*



Institut für Angewandte Polymerforschung
Institute for Applied Polymer Research

Jahresbericht
Annual Report **2008**

Impressum

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Angewandte
Polymerforschung IAP
PR & Marketing
Wissenschaftspark Golm
Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam-Golm
Germany
Telefon +49 331 568-1151
Fax +49 331 568-2551
E-Mail info@iap.fraunhofer.de
Internet www.iap.fraunhofer.de

Redaktion

Dr. Sandra Mehlhase
Anett Koch
Nadine Gruber

Übersetzung

able Sprachschule Miller King Bird GbR

Satz und Gestaltung

Nadine Gruber

Druck

Brandenburgische Universitätsdruckerei und
Verlagsgesellschaft Potsdam mbH

Bildverzeichnis

Seite 8

Kai Royer

Seiten 21, 39, 59, 71, 87 (jeweils oben)

ftb Werbefotografie

Seiten 33, 59 (jeweils unten)

Alexander Krause

Seite 66 (unten)

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen

Seite 78 (mitte)

Hochschule München

Portraitfotos

Seiten 11, 14, 51, 65: Michael Kompe

Seite 57: Armin Okulla

Seite 81: Michael Lüder

Alle weiteren: Manuela Zydor

Fotos, wenn nicht anders angegeben,
vom Fraunhofer IAP.

Editorial notes

Address of the editorial office

Fraunhofer Institute for Applied
Polymer Research IAP
PR & Marketing
Wissenschaftspark Golm
Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam-Golm
Germany
Fon +49 331 568-1151
Fax +49 331 568-2551
E-mail info@iap.fraunhofer.de
Internet www.iap.fraunhofer.com

Editorial team

Dr. Sandra Mehlhase
Anett Koch
Nadine Gruber

Translation

able Sprachschule Miller King Bird GbR

Layout

Nadine Gruber

Printing house

Brandenburgische Universitätsdruckerei und
Verlagsgesellschaft Potsdam mbH

Photo acknowledgments

Page 8

Kai Royer

Page 21, 39, 59, 71, 87 (each top)

ftb werbefotografie

Pages 33, 59 (each bottom)

Alexander Krause

Page 66 (bottom)

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT,
Aachen

Page 78 (middle)

University of Applied Science Munich

Portrait photos

Pages 11, 14, 51, 65: Michael Kompe

Page 57: Armin Okulla

Page 81: Michael Lüder

The others: Manuela Zydor

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

Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP
Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP

pioneers in polymers

Inhaltsverzeichnis

Contents

	Vorwort	4
	<i>Preface</i>	4
■	Das Institut	
	<i>The Institute</i>	6
	Das Fraunhofer IAP im Überblick	
	<i>The Fraunhofer IAP at a glance</i>	8
	Kuratorium	
	<i>Advisory Board</i>	10
	Das Institut in Zahlen	
	<i>The Institute in figures</i>	11
	Organigramm	
	<i>Organigram</i>	12
	Ansprechpartner	
	<i>Contact persons</i>	14
	Die Fraunhofer-Gesellschaft	
	<i>The Fraunhofer-Gesellschaft</i>	16
	Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile	
	<i>The Fraunhofer Group for Materials and Components</i>	18
■	Biopolymere	
	<i>Biopolymers</i>	20
	Vom Biopolymer zum Hochleistungskunststoff	
	<i>From Biopolymers to High Performance Plastics</i>	22
	Anwendungen und Dienstleistungen	
	<i>Applications and services</i>	26
	Thermoplastische Stärkederivate ohne Weichmacher	
	<i>Plasticizer-free thermoplastic starch</i>	30
	Modifizierte Stärke mit Film- und Barriereigenschaften	
	<i>Modified starch with film and barrier properties</i>	32
	Nanokomposite aus biobasierten Polymeren	
	<i>Nanocomposites of bio-based polymers</i>	34
	Verbesserte Nanokomposite aus Celluloseacetat	
	<i>Improved Cellulose acetate nanocomposites</i>	36
■	Funktionale Polymersysteme	
	<i>Functional polymer systems</i>	38
	Funktionalisierte Materialien – Schlüssel für Sicherheitstechnologien	
	<i>Functional materials – the key to security technologies</i>	40
	Anwendungen und Dienstleistungen	
	<i>Applications and services</i>	44
	Fluoreszenzkollektoren für die Gewinnung von Solarenergie	
	<i>Luminescent concentrators for solar energy harvesting</i>	46
	Phosphoreszente Multischicht PLEDs aus vernetzbaren lösungsprozessierbaren Copolymeren	
	<i>Phosphorescent multilayer PLEDs from cross-linkable co-polymers that are solution processable</i>	48
	Inverse Thermochromie - Neue Materialien für Wärmesensoren	
	<i>Inverse thermochromism – New materials for heat detectors</i>	50
	Wo sich Proteine wohl fühlen	
	<i>A place where proteins like to stay</i>	52
	Organisch-anorganische Nanokomposite für holographische Elemente	
	<i>Organic-inorganic nanocomposites for holographic elements</i>	54
	Anisotrope Filme aus fluoreszierenden Flüssigkristallen	
	<i>Anisotropic films made from fluorescent liquid crystals</i>	56

■	Synthese- und Polymertechnik	
	<i>Synthesis and polymer technology</i>	58
	Nachhaltigkeit bei der Synthese von Polymeren	
	<i>Sustainable synthesis of polymers</i>	60
	Anwendungen und Dienstleistungen	
	<i>Applications and services</i>	64
	Polylactidpartikel für selektives Laserschmelzen	
	<i>Poly lactide particles for selective laser melting applications</i>	66
	Erweiterung des Eigenschaftsportfolios von Polylactid	
	<i>Enhancing the property profile of polylactide</i>	68
■	Wasserbasierende Polymersysteme	
	<i>Water-based polymer systems</i>	70
	Wasser – Ein attraktives Medium für Polymere und ihre Technologien	
	<i>Water – an attractive medium for polymers and their technologies</i>	72
	Anwendungen und Dienstleistungen	
	<i>Applications and services</i>	76
	Charakterisierung von Papieradditiven in wässriger Lösung	
	<i>The challenge of characterizing paper additives in aqueous media</i>	78
	Bioaktive Oberflächen durch Modifikation mit Spezialpolymeren	
	<i>Bioactive surfaces through modification with customized polymers</i>	80
	Biokompatible Hydrogele für Kontaktlinsen	
	<i>Biocompatible hydrogels for contact lenses</i>	82
	Forschungsgruppe Nanotechnologie für Life-Science	
	<i>Nanotechnology for Life Science research group</i>	84
■	Pilotanlagenzentrum Schkopau	
	<i>Pilot Plant Center Schkopau</i>	86
	Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum PAZ	
	<i>Polymer technology in the Polymer Pilot Plant Center PAZ</i>	88
	Anwendungen und Dienstleistungen	
	<i>Applications and services</i>	92
	Maßstabsübertragung einer Suspensionspolymerisation	
	<i>Scale-up of a suspension polymerization</i>	94
	Synthese einheitlich zusammengesetzter Copolymere im kontinuierlichen Betrieb	
	<i>Continuous synthesis of co-polymers with uniform composition</i>	96
	Verarbeitung von Cellulose regeneratfasern im Einstufenverfahren	
	<i>Processing cellulose fibers using a one step method</i>	98
■	Namen, Daten, Ereignisse	
	<i>Names, data, events</i>	100
	Laborausstattung	
	<i>Laboratory equipment</i>	102
	Graduierungsarbeiten	
	<i>Theses</i>	106
	Wissenschaftliche Zusammenarbeit	
	<i>Scientific collaboration</i>	109
	Ereignisse	
	<i>Events</i>	112
	Präsentationen und Publikationen	
	<i>Presentations and publications</i>	113
	Patente	
	<i>Patents</i>	120
	Anreise	
	<i>How to reach us</i>	122

Forschung in der Region – für Innovation, Nachhaltigkeit und Sicherheit

Polymere in Form von Kunststoffen und in vielen anderen Anwendungen wie Fasern und Folien, Schaumstoffen, Kautschukprodukten, Lacken, Klebstoffen, aber auch als Additive für die Baustoff-, Papier-, Waschmittel-, Kosmetik- und Pharmaindustrie sind allgegenwärtig – wir leben im Kunststoffzeitalter. Neben innovativen Entwicklungen bei polymeren Funktionsmaterialien stehen heute in der Forschung vor allem Fragen der Nachhaltigkeit der Polymerindustrie im Mittelpunkt, wobei umweltfreundliche und energieeffiziente Herstellverfahren, aber auch die Nutzung von erdölunabhängigen biobasierten Ressourcen eine zentrale Rolle spielen.

Das Fraunhofer IAP ist in diesem Zusammenhang gut aufgestellt, sein Profil umfasst in einmaliger Form Kompetenzen auf dem Gebiet der synthetischen und biobasierten Polymere. Die interdisziplinären Forschungsarbeiten des Institutes reichen von neuen (Bio-) Kunststoffen über synthetische Funktionsmaterialien bis zu einer großen Palette von Spezialprodukten für unterschiedliche Anwendungen. Im Pilotanlagenmaßstab werden in Golm (Celluloseverarbeitung) und im Pilotanlagenzentrum in Schkopau (Polymersynthesen) neue Herstellverfahren entwickelt oder optimiert. Die erfolgreiche Entwicklung des Fraunhofer IAP basiert dabei vor allem auf überregionalen Kooperationen mit den in den alten Bundesländern gelegenen industriellen Zentren der Polymer- und Faserindustrie, aber auch in nicht unerheblichem Maße auf Kooperationen in Europa und weltweit. Diese Strategie des weltweiten Angebotes hochspezialisierter Kompetenzen wird in jüngster Zeit durch eine neue, regionale Komponente ergänzt, mit der zunehmend die industrielle Entwicklung in den neuen Bundesländern berücksichtigt und unterstützt wird. Die Chemie- und Kunststoffindustrie hat gerade in Mitteldeutschland mit dem Chemiedreieck Halle-Leipzig-Merseburg in den letzten Jahren eine bemerkenswert positive Entwicklung genommen. Auch im Bundesland

Brandenburg stellt das Branchenkompetenzfeld Kunststoffe/Chemie mit seinen Zentren u. a. in Schwarzheide, Guben, Schwedt, Premnitz und Neuruppin einen nicht unerheblichen Wirtschaftsfaktor dar. Umfangreiche Netzwerkaktivitäten, die unter dem Dach der von Thüringen über Sachsen-Anhalt bis Berlin und Brandenburg reichenden Clusterorganisation Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland zusammengefasst sind, unterstützen diese positive Branchenentwicklung.

Im Folgenden soll aus der aktuellen Arbeit des Fraunhofer IAP in einigen Beispielen aufgezeigt werden, wie regionale innovative Entwicklungen aufgegriffen und unterstützt werden. An erster Stelle zu nennen ist dabei das 2007 gestartete Fraunhofer-Innovationscluster »Polymertechnologie Halle-Leipzig«, bei dem das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum in Schkopau flankiert von Fraunhofer IAP und IWM gemeinsam mit Hochschulen und Industriebetrieben neue Synthese- und Verarbeitungstechnologien entwickeln. Bemerkenswert sind hierbei Beiträge zur energieeffizienten Optimierung der Kautschuksynthese. Biopolymere stellen einen weiteren Schwerpunkt des Innovationsclusters dar, wobei das Fraunhofer IAP insbesondere zur Synthese und Materialentwicklung des biobasierten Kunststoffes Polylactid (PLA) in Zusammenhang mit der Ansiedlung einer entsprechenden Produktionsanlage in Guben aktiv ist. In Kooperation mit dem Investor Pyramid Bioplastics Guben GmbH ist am gleichen Standort ein Biopolymer-Anwendungszentrum geplant, in dem eine Projektgruppe des IAP den Einsatz von PLA für Folien, Fasern, Flaschen und Composite vorbereiten wird.

Sicherheitstechnologien und Sicherheitswirtschaft sind ein zukunftsträchtiges Feld mit besonderer Bedeutung für die Hauptstadtregion. Neue Technologien und Produkte zum Schutz von Personen, Waren und geistigem Eigentum in der realen und virtuellen (Internet) Welt sind das Thema des Innovationsclusters »Sichere Identität«, zu dem sich fünf

Fraunhofer-Institute, fünf Hochschulen und zwölf Wirtschaftsunternehmen der Region Berlin-Brandenburg im Berichtsjahr zusammengeschlossen haben. Zentrale Aufgabe des Fraunhofer IAP ist hierbei die Entwicklung von Sicherheitsmerkmalen und flexiblen Symbolanzeigen auf der Grundlage von organischen Leuchtdioden für polymerbasierte Smartcards. In diesem Zusammenhang wurde das SecurityLab Potsdam als eine gemeinsame Einrichtung der Bundesdruckerei und des Fraunhofer IAP etabliert, das eine eng abgestimmte Themenbearbeitung beider Einrichtungen ermöglicht.

Zu den speziellen regionalen Stärken gehört bereits heute die Konzentration von Forschungseinrichtungen am Standort Potsdam-Golm, die von Max-Planck-Instituten über die Universität Potsdam bis zur angewandten Forschung der Fraunhofer-Institute reicht. Neue Wege der Kooperation stellen dabei das gemeinsame Vorhaben »Bioaktive Oberflächen« zwischen MPG und FhG dar sowie die im Berichtsjahr gegründete Arbeitsgruppe NanoPolyPhotonik als Kooperationsprojekt zwischen der Universität Potsdam und dem Fraunhofer IAP.

Insgesamt ist für das Fraunhofer IAP das Jahr 2008 wiederum sehr erfolgreich verlaufen, was in den umfangreichen Projektaktivitäten und Kooperationen zum Ausdruck kommt, aber auch in der Zahl der Präsentationen, Publikationen und Patente. Die gute Entwicklung des IAP und das erfolgreiche Jahr 2008 wären ohne das Vertrauen der Auftraggeber und Kooperationspartner und ohne die bewährte Unterstützung durch das Kuratorium nicht möglich gewesen. Insbesondere sind es jedoch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IAP, deren Ideen, Einsatz und Leistungen zu einem überzeugenden Jahresabschluss beigetragen haben. Ihnen allen dankt die Institutsleitung dafür an dieser Stelle herzlich.

Research in the Region – for Innovation, Sustainability and Security

We are living in the age of plastics. Polymers are everywhere, found in plastics and in many other applications like fibers and films, foam plastics, synthetic rubber products, varnishes, adhesives, and additives for construction materials, paper, detergents, cosmetic and pharmaceutical industries. In addition to innovative developments in polymer functional materials, research is now focusing on the sustainability of the polymer industry. Environmentally friendly and energy efficient production processes and the utilisation of bio-based resources, which are not dependent on petroleum, are playing a vital role.

The Fraunhofer IAP is well-positioned in this regard with its unique competencies in the area of synthetic and bio-based polymers. The institute's interdisciplinary research work includes new (bio) plastics, synthetic functional materials, and a wide range of special products for various applications. New production processes are developed or optimised on a pilot-plant scale in Golm (cellulose processing) and at its pilot plant center in Schkopau (polymer synthesis). The Fraunhofer IAP's successful development is based on supra-regional collaboration with industrial centers of the polymer and fiber industry located in Western Germany. It also collaborates with a number of partners throughout Europe and worldwide. This strategy of globally offering highly-specialised competencies has been supplemented recently by a new, regional component which increasingly takes into consideration and supports industrial developments in the new federal states. The chemical and plastics industry in Central Germany has evolved remarkably in the Halle-Leipzig-Merseburg »Chemical Triangle«. In the federal state of Brandenburg, the specialty field of plastics/chemistry, with its centres in Schwarzeide, Guben, Schwedt, Premnitz and Neuruppin constitutes a none too insignificant economic factor. Substantial networking activities are carried out within the Central German Cluster »Chemicals/Plastics« which stretches from Thuringia, to Saxony-Anhalt, Berlin

and Brandenburg and supports the positive development of the industry.

A few examples of how regional, innovative developments are seized upon and supported through the current work of the Fraunhofer IAP are presented below. The first which should be mentioned is the Fraunhofer innovation cluster »Polymer Technology Halle-Leipzig« which began in 2007. Here, the Fraunhofer Pilot Plant Center in Schkopau, flanked by the Fraunhofer IAP and IWM, together with universities and industrial enterprises, develops new synthesis and processing technologies. Their contributions to the energy-efficient optimization of rubber synthesis are particularly noteworthy. Biopolymers constitute a further area of focus of the innovation cluster. The Fraunhofer IAP is active in particular in the area of synthesis and material development of the bio-based plastic polylactide (PLA) in connection with the establishment of production facilities in Guben pursuant to this activity. A biopolymer application center is being planned at this site in collaboration with the investor Pyramid Bioplastics Guben GmbH. Here, a project group from IAP will prepare PLA's application for films, fibers, bottles and composites.

Security technology and security management are future-oriented fields which are particularly important for the region around the country's capital. New technologies and products that protect individuals, goods and intellectual property in the real and virtual (Internet) world are the subject of the innovation cluster »Secure Identity«. This cluster was formed during the reporting year and comprises five Fraunhofer Institutes, five universities and twelve commercial enterprises from the Berlin-Brandenburg region. Fraunhofer IAP's main task is to develop security features and flexible symbol displays using organic light-emitting diodes for polymer-based Smartcards. In order to do this, the Bundesdruckerei and the Fraunhofer IAP jointly established the SecurityLab Potsdam which enables both institutions to work closely together on this issue.

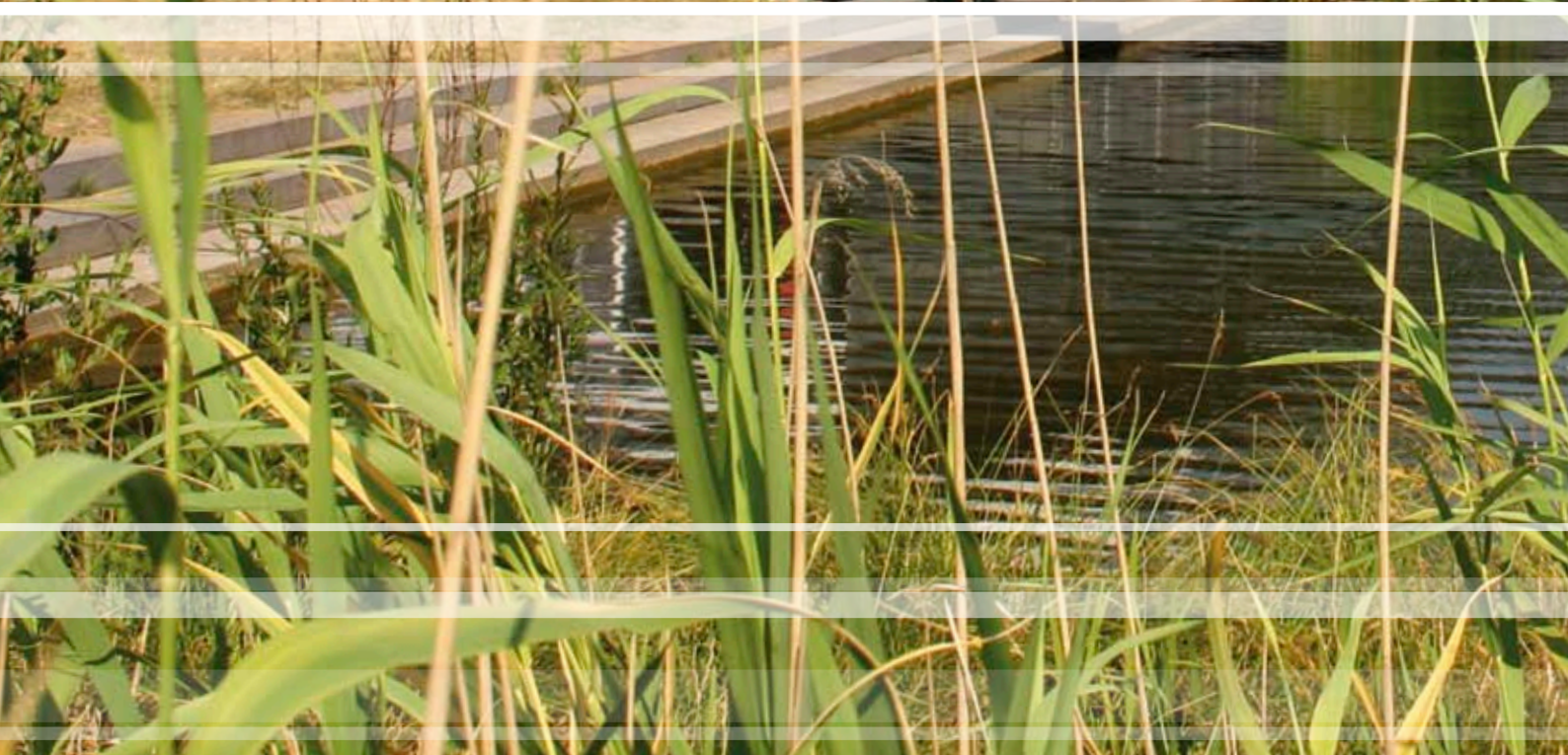


Hans-Peter Fink

Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink
Institutsleiter
Director

One of the region's strengths is the large number of research institutes located in Potsdam-Golm. These include Max-Planck institutes, the University of Potsdam and the applied research of the Fraunhofer Institutes. New collaboration paths have been established with the MPG and FhG through the joint project »Bioactive Surfaces«. And during the reporting year, the NanoPolyPhotonik research group was founded as a collaboration project between the University of Potsdam and the Fraunhofer IAP.

In summary, 2008 was again a very successful year for the Fraunhofer IAP, as is evident in the many projects, collaborations, presentations, publications and patents. The IAP's successful development in 2008 would have been impossible without the trust of its clients and partners and the reliable support of the Advisory Board. However it is the employees of the IAP, their ideas, efforts and variety of activities, who have decisively contributed to a strong year-end closing. I would like to express my sincere thanks to all of them.





Das Fraunhofer IAP im Überblick

Der erste Blick über den Schreibtisch beweist es schon: Polymere, egal ob in Form von Kunststoffen, Fasern, Folien, Funktionsmaterialien oder Spezialprodukten, sind aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Die dafür eingesetzten Ausgangsstoffe – Erdöl für synthetische Polymere und nachwachsende Rohstoffe für Biopolymere – liefern Materialien mit jeweils typischem Eigenschafts- und Anwendungsprofil. Polymere aus beiden Rohstoffquellen werden im Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP für die Entwicklung neuer, effizienter Werkstoffe, Funktionsmaterialien und Prozesshilfsmittel eingesetzt und effektiv und kreativ verarbeitet.

Die Nutzungsmöglichkeiten für die Biopolymere Cellulose und Stärke, die von Alters her aus nachwachsenden Rohstoffen nahezu unbegrenzt zur Verfügung stehen, sind noch lange nicht ausgeschöpft. Forschung und Entwicklung rund um diese vielseitigen Rohstoffe werden im Fraunhofer IAP schwerpunktmäßig betrieben. Mit dem gewachsenen Know-how um Aufschluss, Charakterisierung und Modifizierung dieser Polymere werden im IAP neue Produkte und umweltfreundliche Produktionsverfahren entwickelt. Die Produktpalette umfasst u. a. Cellulose-derivate für medizinische Anwendungen, Fasern, Nonwovens, Folien und Kompositmaterialien sowie eine Vielzahl von Anwendungen der Stärke im Non-Food-Bereich.

Das Pendant zu den nativen Polymeren stellen Polymersynthese und -technik der klassischen Kunststoffe dar, wie Polypropylen, Heterokettenpolymere oder netzwerkbildende Polymere. Das Eigenschaftsprofil dieser Kunststoffe wird stark durch den Polymerisationsprozess geprägt. Schon durch Variation einzelner Parameter bei der Polymersynthese können leistungsstärkere, oder auch kostengünstigere Materialien mit charakteristischen Merkmalen

entstehen. Durch Optimierung der Prozessparameter werden am Institut klassische Kunststoffe weiterentwickelt, bzw. mit neuen Eigenschaften versehen. Selbstverständlich werden alle Änderungen analytisch verifiziert – auch die anschließende Verarbeitung zum fertigen Produkt kann im Fraunhofer IAP optimiert werden. Acht Syntheselinien im Pilotanlagenzentrum im ValuePark Schkopau erweitern die Entwicklungs- und Wertschöpfungskette am Fraunhofer IAP wesentlich: ein Scaling-up der Laborergebnisse ist bis zum Pilotanlagenmaßstab möglich.

Bei der Entwicklung moderner biobasierter Commodity-Kunststoffe wie Polylactid, potenzieren sich die ausgewiesenen Kompetenzen des Fraunhofer IAP im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe und seine umfassenden Erfahrungen mit Synthese und Polymerisation auf einmalige Weise unter einem Dach.

Die gezielte Synthese und Verarbeitung von Polymeren mit besonderen physikalischen Eigenschaften und Funktionen für Hochtechnologieanwendungen ist ein weiteres, zukunftssträchtiges Arbeitsfeld unseres Instituts. Das Spektrum reicht von der Entwicklung von Polymeren mit Halbleitereigenschaften über chromogene, phototrope bis hin zu leuchtenden Polymeren (OLEDs), die in speziellen Devices zum Einsatz gebracht werden. Zunehmende Bedeutung kommt den polymeren Oberflächen zu. Plasmabehandlung, Funktionalisierung und das Aufbringen dünner Schichten sind auf diesem Gebiet abrufbare Methoden des Instituts.

Mit dem Forschungsschwerpunkt der wasserbasierenden Polymersysteme liefert das Fraunhofer IAP entscheidende Beiträge zur Entwicklung unentbehrlicher Schlüsselsubstanzen für die Abwasser- und Umwelttechnologie, Papier- oder Lackindustrie. Dies gilt auch

für biotechnologische Verfahren sowie für kosmetische und pharmazeutische Produkte. Das universelle Lösungsmittel der Natur ist das Wasser, daher eignen sich diese Polymersysteme hervorragend für den Einsatz in der Medizin bzw. Medizintechnik und der Nanobiotechnologie.

Das Fraunhofer IAP bearbeitet Aufträge von lokal angesiedelten mittelständischen Unternehmen der Kunststoffbranche bis zu weltweit operierenden Großunternehmen im In- und Ausland stets mit derselben Sorgfalt und hohem wissenschaftlichen Engagement. Aufgrund umfassender Erfahrungen und Kompetenzen, interdisziplinärer Zusammensetzung der Forscherteams aus Chemikern, Physikern und Ingenieuren sowie erstklassiger Ausstattung im Labor- und Technikumsmaßstab können unsere Kunden fundierte Beratung und maßgeschneiderte Lösungen zu fast allen Fragen auf dem Polymergebiet erwarten.



The Fraunhofer IAP at a glance

Just a quick glance at your desk is proof enough: a world without polymers, whether in the form of plastics, fibers, films, functional materials or special products is now unthinkable. The raw materials used – petroleum for synthetic polymers and renewable raw materials for biopolymers – each produce materials with specific properties and applications. At the Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, polymers from both feedstock sources are used to develop new, efficient substances, functional materials, and process additives which are effectively and creatively processed.

The opportunities for using the biopolymers cellulose and starches, which have been available in nearly unlimited quantities for ages, are far from being exhausted. The focus of the research and development at the Fraunhofer IAP is on these versatile raw materials. New products and environmentally friendly production methods are being developed at the IAP thanks to the growing amount of knowledge about the exploration, characterization and modification of these polymers. The range of products includes cellulose derivatives for medical applications, fibers, non-wovens, films and composite materials, as well as numerous applications for starches in the non-food field.

The counterpart of native polymers is the polymer synthesis and technology of classic plastics like polypropylene, hetero chain polymers, and cross-linked polymers. The polymerization process leaves a strong stamp on the properties of these plastics. Just by varying individual parameters during polymer synthesis can result in higher-performance or less expensive materials with characteristic features. By optimizing the process parameters, classic plastics are developed further or are given new properties at the institute. It goes without saying that all of the changes are then analytically verified. Subsequent processing into finished products can also be optimized at the Fraunhofer IAP. Eight synthesis lines at the pilot plant center in the ValuePark Chemical Park in Schkopau considerably enhance the Fraunhofer IAP's development chain and value creation chain: a scaling-up of the lab results is possible up to a pilot plant scale.

Through the development of innovative bio-based commodity plastics like polylactic acid, the Fraunhofer IAP's proven capabilities in the area of renewable raw materials, and its comprehensive experience with synthesis and polymerization increase exponentially in a unique way under one roof.

Another future-orientated field our institute is working on is the targeted synthesis and processing of polymers with particular physical properties and functions for high-tech applications. This ranges from the development of polymers with semi-conductor properties, to chromogenic, phototropic and light-emitting polymers (OLEDs) which can be used in special devices. With regard to that, emphasis is increasingly being placed on polymer surfaces. Plasma treatment, functionalization and application of thin coatings are methods which are available at the institute.

With its research focus on water-based polymer systems, the Fraunhofer IAP decisively contributes to the development of indispensable key substances for wastewater and environmental technologies, the paper industry and paint industry. This also applies to biotech processes and cosmetic and pharmaceutical products. Nature's universal solvent is water. For this reason these polymer systems are perfect for use in medicine, medical technology and nano-biotechnology.

Fraunhofer IAP carries out its work with the same care and scientific dedication for local medium-sized companies in the plastics industry, as it does with major, internationally active companies here and abroad. Our customers can expect knowledgeable consultation and customized solutions to their polymer questions thanks to our comprehensive expertise, interdisciplinary research team comprising chemists, physicist and engineers and state-of-the-art labs.



Kuratorium *Advisory Board*

Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Mitglieder des Kuratoriums 2008 waren:

The Advisory Board advises and supports the Fraunhofer-Gesellschaft as well as the Institute's director. The following persons were members of the Advisory Board in 2008:

Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum
Vorsitzender des Kuratoriums
Henkel KGaA, Düsseldorf

Prof. Dr. Gerhard Koßmehl
Stellvertretender Vorsitzender des Kuratoriums, Berlin

Prof. Dr. Andrzej Bledzki
Universität Kassel,
Institut für Werkstofftechnik, Kassel

Ulrich Hamann
Bundesdruckerei GmbH,
Berlin

Dr. Rüdiger Hannaleck
TES Frontdesign GmbH,
Neuruppin

Dr. Bernd Hunger
Bundesministerium für Bildung und
Forschung, Bonn

Prof. Dr. Jürgen Kurths
Humboldt Universität,
Institut für Physik, Berlin

Dr. Volker Landschütze
Bayer Bioscience GmbH,
Potsdam

Prof. Dr. Meinolf G. Lindhauer
Bundesforschungsanstalt für Ernährung
und Lebensmittel (BFEL), Detmold

Prof. Dr. Gerd Marowsky
Laser Laboratorium Göttingen e.V.,
Göttingen

Prof. Dr. Helmuth Möhwald
Max-Planck-Institut für Kolloid- und
Grenzflächenforschung, Potsdam-Golm

Dr.-Ing. Christoph Mühlhaus
Halle

Dr. Rudolf Müller-Mall
BASF AG,
Ludwigshafen

Dr. Klaus Nachtkamp
Dow Wolff Cellulosics GmbH,
Walsrode

Dr. Andreas Pachten
ZukunftsAgentur Brandenburg (ZAB),
Potsdam

Konstanze Pistor
Ministerium für Wissenschaft, For-
schung und Kultur des Landes Brande-
nburg, Potsdam

Dr. Birgitt Reiche
Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH,
Luckenwalde

Dr.-Ing. agr. Andreas Schütte
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
(FNR), Gülzow

Dr. Manfred Stickler
Evonik Röhm GmbH,
Darmstadt

Prof. Dr. Manfred Wagner
TU Berlin,
Berlin

Dr. Bernd Wohlmann
Tenax Fibres GmbH,
Wuppertal

Das Institut in Zahlen *The Institute in figures*

Betriebshaushalt

Der Betriebshaushalt betrug im Jahr 2008 etwa 12,2 Millionen Euro. Gegenüber dem Vorjahr stieg er um 1,2 Millionen Euro.

Ertragsstruktur

Die Wirtschaftserträge im Jahr 2008 betragen 4352 T Euro. Das entspricht 35,7 Prozent des Betriebshaushaltes. Die Erträge setzten sich wie folgt zusammen (in T Euro):

Wirtschaftserträge	4352
Forschungsförderung DFG	79
Vertragsforschung BMVEL/FNR	1139
Vertragsforschung BMBF	1681
Vertragsforschung BMWA	984
Land Brandenburg	70
Vertragsforschung EU	422
Sonstige Erträge	297
Grundfinanzierung	3163

Investitionshaushalt

Das Investitionsvolumen betrug insgesamt 1,0 Millionen Euro.

Mitarbeiter

Ende 2008 waren im Fraunhofer IAP insgesamt 155 Personen beschäftigt.

Stammpersonal	132
davon:	
Wissenschaftliche Mitarbeiter	64
Technische Mitarbeiter	58
Verwaltung	10
Nachwuchs	23
davon:	
Doktoranden	14
Auszubildende	9

Insgesamt beschäftigte das Fraunhofer IAP im Jahr 2008 ca. 32 Praktikanten, Studenten und Diplomanden.

Institute's budget

In 2008 the Institute's budget amounted to about 12.2 million euros. Compared to the previous year it increased by 1.2 million euros.

Revenues

In 2008 the industrial revenues amounted to 4352 thousand euros or 35.7 percent of the budget. The revenues are composed as listed (in thousand euros):

<i>Industrial revenues</i>	<i>4352</i>
<i>Research funding DFG</i>	<i>79</i>
<i>Contract research BMVEL/FNR</i>	<i>1139</i>
<i>Contract research BMBF</i>	<i>1681</i>
<i>Contract research BMWA</i>	<i>984</i>
<i>Brandenburg</i>	<i>70</i>
<i>Contract research EU</i>	<i>422</i>
<i>Miscellaneous revenues</i>	<i>297</i>
<i>Basic funding</i>	<i>3163</i>

Capital budget

The investment volume amounted to 1.0 million euros.

Human resources

At the end of 2008, the Fraunhofer IAP employed 155 people.

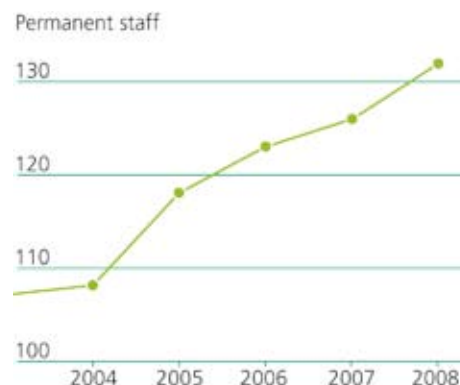
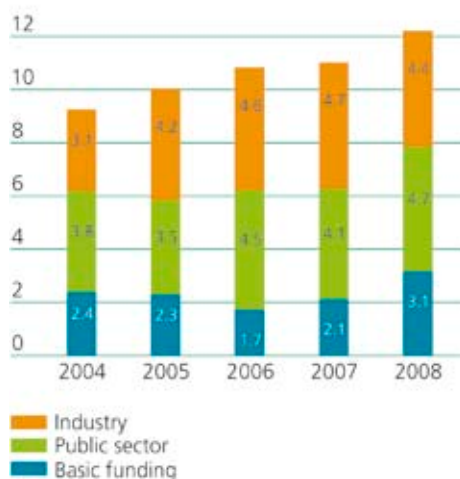
<i>Permanent staff</i>	<i>132</i>
<i>thereof:</i>	
<i>Scientific staff</i>	<i>64</i>
<i>Technical staff</i>	<i>58</i>
<i>Administration</i>	<i>10</i>
<i>Junior staff</i>	<i>23</i>
<i>thereof:</i>	
<i>Ph.D. students</i>	<i>14</i>
<i>Apprentices</i>	<i>9</i>

Altogether the Fraunhofer IAP employed about 32 trainees, students and graduands in 2008.

Kontakt Contact

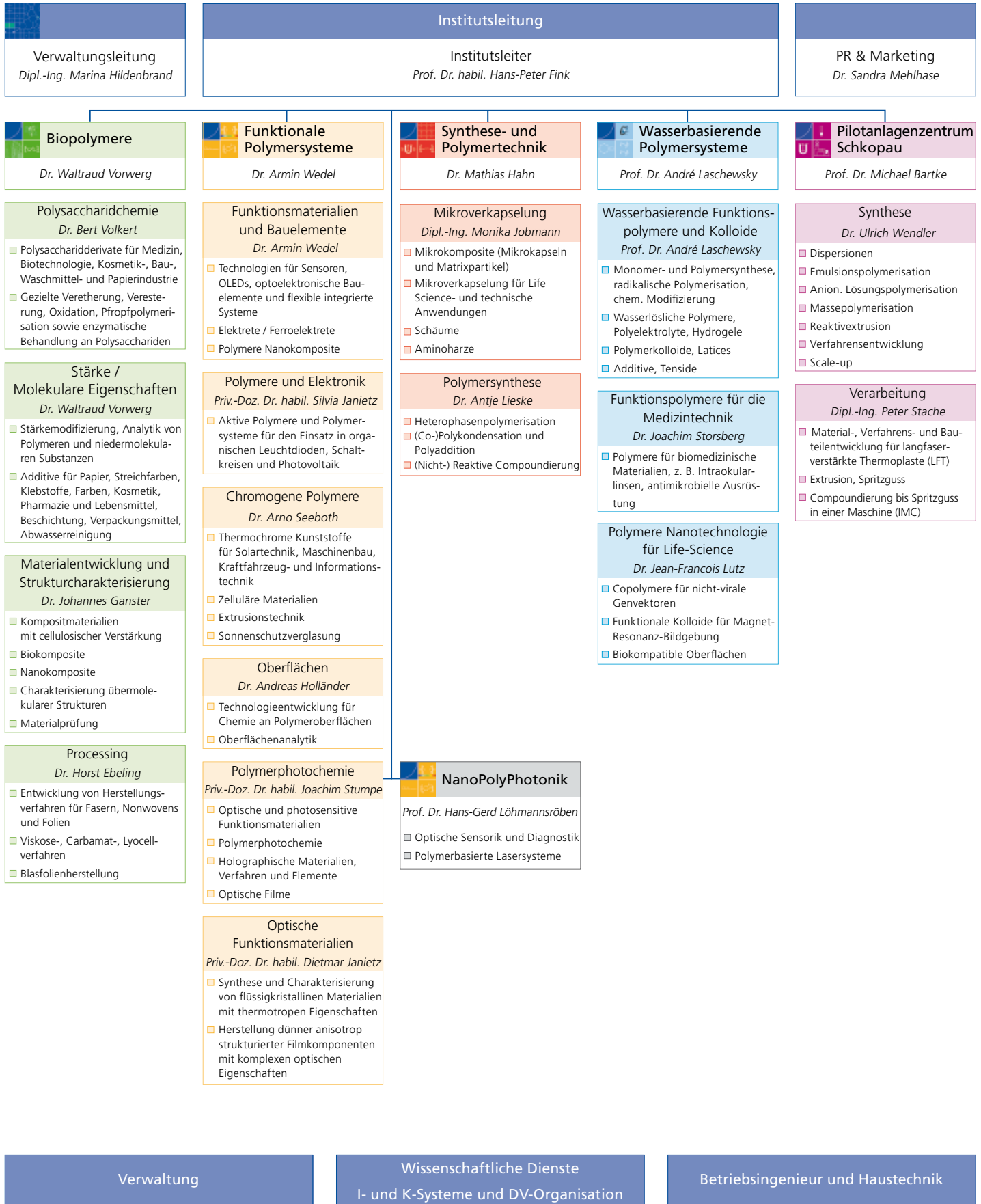


Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand
Verwaltungsleiterin *Head of administration*
Telefon +49 331 568-1157
Fax +49 331 568-2557
marina.hildenbrand@iap.fraunhofer.de



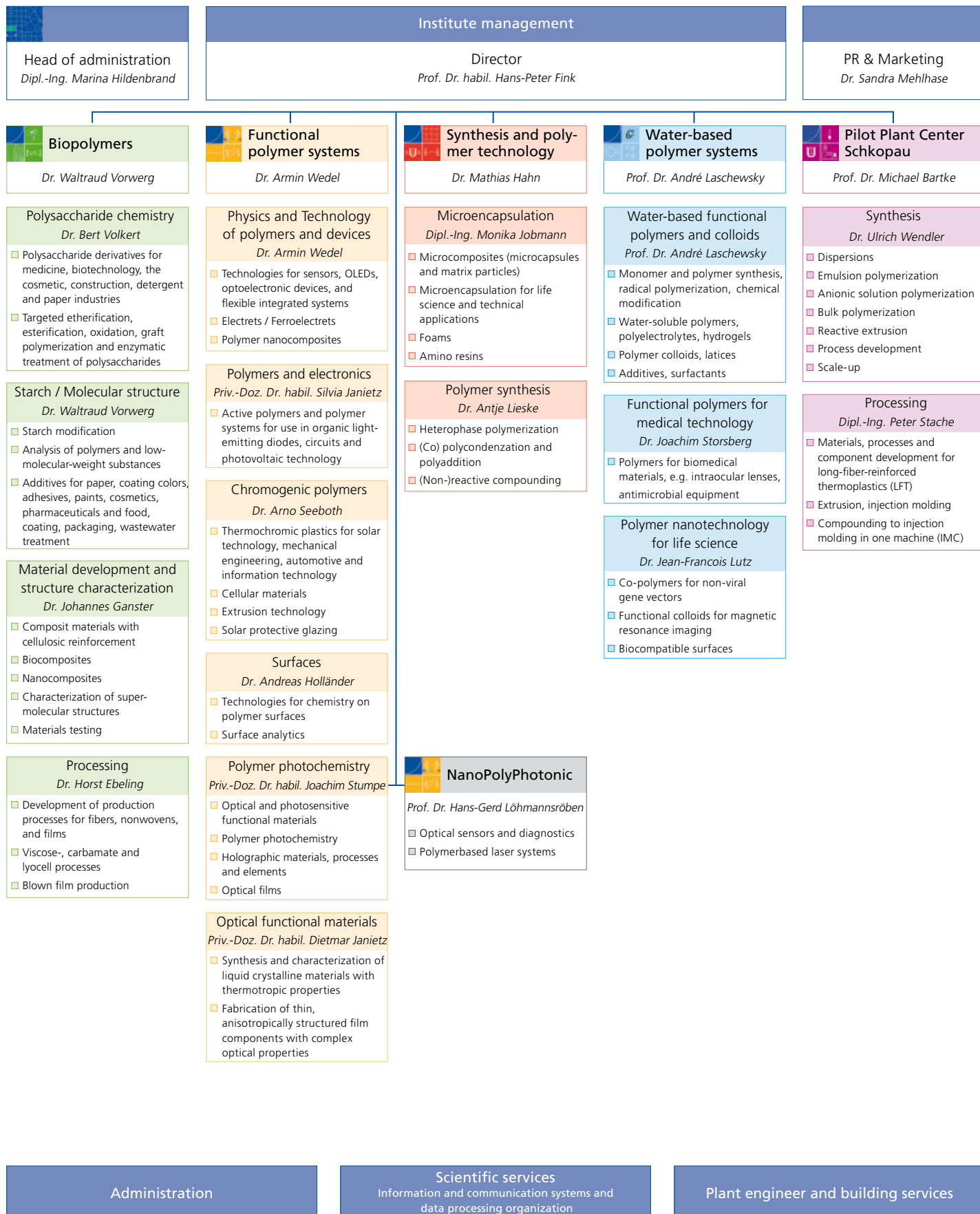
Organisation und Schwerpunkte

Stand April 2009



Organization and key aspects

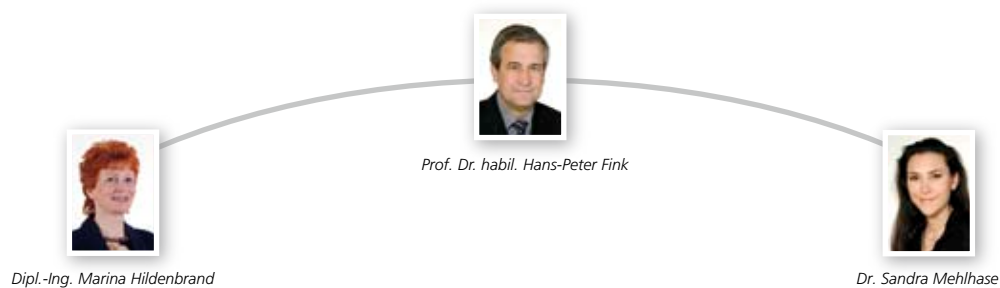
Status April 2009



Ansprechpartner Contact persons


Institutsleitung Institute Management

	Institutsleiter Director	Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink Tel.: +49 331 568-1112 E-Mail: hans-peter.fink@iap.fraunhofer.de
	Verwaltungsleiterin Head of administration	Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand Tel.: +49 331 568-1157 E-Mail: marina.hildenbrand@iap.fraunhofer.de
	PR & Marketing	Dr. Sandra Mehlhase Tel.: +49 331 568-1151 E-Mail: sandra.mehlhase@iap.fraunhofer.de




Ansprechpartner Contact persons



 **Biopolymere**
Biopolymers

Dr. Waltraud Vorwerg	Tel.: +49 331 568-1609	waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Bert Volkert</i>	Tel.: +49 331 568-1516	bert.volkert@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Johannes Ganster</i>	Tel.: +49 331 568-1706	johannes.ganster@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Horst Ebeling</i>	Tel.: +49 331 568-1810	horst.ebeling@iap.fraunhofer.de

 **Funktionale Polymersysteme**
Functional polymer systems


Dr. Armin Wedel	Tel.: +49 331 568-1910	armin.wedel@iap.fraunhofer.de
<i>Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz</i>	Tel.: +49 331 568-1208	silvia.janietz@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Arno Seeboth</i>	Tel.: +49 30 6392-4258	arno.seeboth@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Andreas Holländer</i>	Tel.: +49 331 568-1404	andreas.hollaender@iap.fraunhofer.de
<i>Priv.-Doz. Dr. habil. Joachim Stumpe</i>	Tel.: +49 331 568-1259	joachim.stumpe@iap.fraunhofer.de
<i>Priv.-Doz. Dr. habil. Dietmar Janietz</i>	Tel.: +49 331 568-1150	dietmar.janietz@iap.fraunhofer.de

 **Synthese- und Polymertechnik**
Synthesis and polymer technology


Dr. Mathias Hahn	Tel.: +49 331 568-1320	mathias.hahn@iap.fraunhofer.de
<i>Dipl.-Ing. Monika Jobmann</i>	Tel.: +49 331 568-1213	monika.jobmann@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Antje Lieske</i>	Tel.: +49 331 568-1329	antje.lieske@iap.fraunhofer.de

 **Wasserbasierende Polymersysteme**
Water-based polymer systems

Prof. Dr. André Laschewsky	Tel.: +49 331 568-1327	andre.laschewsky@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Joachim Storsberg</i>	Tel.: +49 331 568-1321	joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Jean-Francois Lutz</i>	Tel.: +49 331 568-1127	jean-francois.lutz@iap.fraunhofer.de

 **Pilotanlagenzentrum Schkopau**
Pilot Plant Center Schkopau

Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke	Tel.: +49 3461 2598-120	michael.bartke@iap.fraunhofer.de
<i>Dr. Ulrich Wendler</i>	Tel.: +49 3461 2598-210	ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de
<i>Dipl.-Ing. Peter Stache</i>	Tel.: +49 3461 2598-321	peter.stache@iap.fraunhofer.de

 **AG NanoPolyPhotonik**
AG NanoPolyPhotonic

<i>Prof. Dr. Hans-Gerd Löhmannsroben</i>	Tel.: +49 331 9775222	hans-gerd.loehmannsroeben@iap.fraunhofer.de
--	-----------------------	---

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Stand Februar 2009

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute. 15 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,4 Milliarden Euro. Davon fallen 1,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

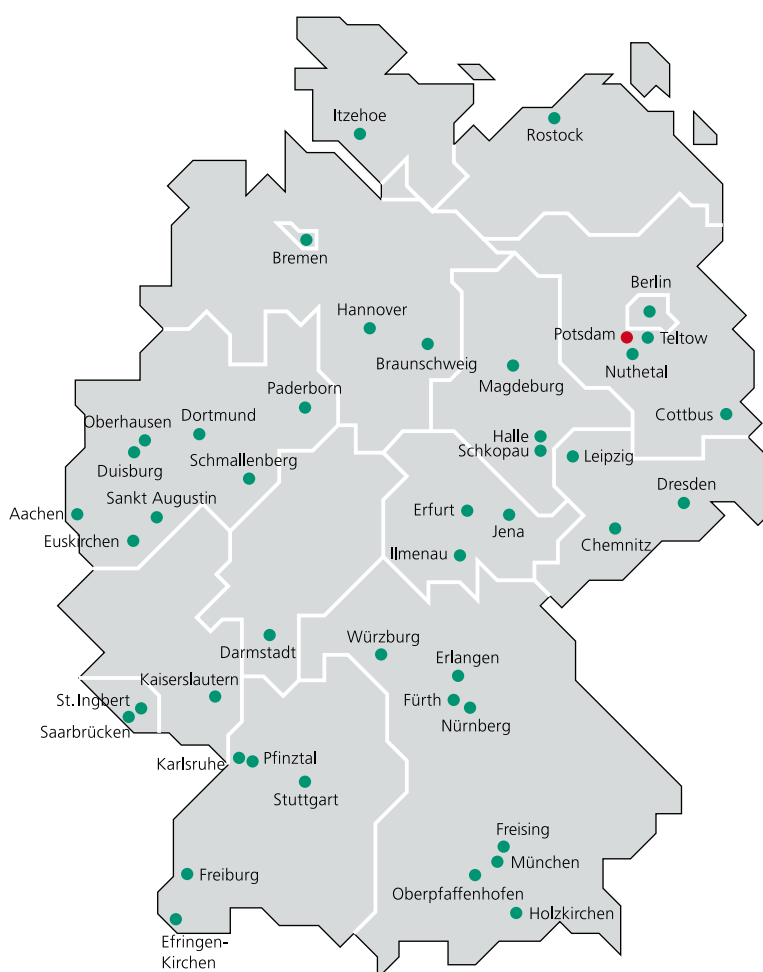
Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei.

Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

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

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



The Fraunhofer-Gesellschaft

Status February 2009

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

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains more than 80 research units in Germany, including 57 Fraunhofer Institutes. The majority of the 15,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of €1.4 billion. Of this sum, more than €1.2 billion is generated through contract research. Two thirds of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Only one third is contributed by the German federal and Länder governments in the form of base funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

Affiliated research centers and representative offices in Europe, the USA and Asia provide contact with the regions of greatest importance to present and future scientific progress and economic development.

With its clearly defined mission of application-oriented research and its focus on key technologies of relevance to the future, the Fraunhofer-Gesellschaft plays a prominent role in the German and European innovation process. Applied research has a knock-on effect that extends beyond the direct benefits perceived by the customer: Through their research and development work, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive

strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. They do so by promoting innovation, strengthening the technological base, improving the acceptance of new technologies, and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

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

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



Joseph von Fraunhofer (1787-1826)

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile (VWB) bündelt die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM als ständigem Gastmitglied.

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

Schwerpunktmäßig setzt der Verbund sein Know-how in den volkswirtschaftlich bedeutenden Handlungsfeldern Energie, Gesundheit, Mobilität, Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Bauen und Wohnen ein, um über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen Systeminnovationen zu realisieren.

Mittelfristige Schwerpunktthemen des Verbunds sind u. a.:

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

Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

- Angewandte Polymerforschung IAP
- Bauphysik IBP
- Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Chemische Technologie ICT
- Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI
- Silicatforschung ISC
- Solare Energiesysteme ISE
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM (Gast)
- Werkstoffmechanik IWM
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

Verbundvorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka
Telefon +49 6151 705-221
Fax +49 6151 705-305
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt

Stellvertretender

Verbundvorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
Telefon +49 721 4640-401
Fax +49 721 4640-111
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal

Geschäftsstelle:

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

www.werkstoffe-bauteile.de

The Fraunhofer Group for Materials and Components

The Fraunhofer Group for Materials and Components (VWB) brings together the expertise of the Fraunhofer Institutes that specialize in materials science and related disciplines. The Fraunhofer Institute for Industrial Mathematics ITWM is a permanent associated member.

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

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

Among the medium-term goals of the Group are to:

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

The Group comprises the Fraunhofer Institutes for

- Applied Polymer Research IAP
- Building Physics IBP
- Ceramic Technologies and Systems IKTS
- Chemical Technology ICT
- High-Speed Dynamics, Ernst-Mach-Institut EMI
- Industrial Mathematics ITWM (associated member)
- Manufacturing Engineering and Applied Materials Research IFAM
- Mechanics of Materials IWM
- Non-Destructive Testing IZFP
- Silicate Research ISC
- Solar Energy Systems ISE
- Structural Durability and System Reliability LBF
- Wood Research, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI

Chairman of the Group:

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka
Phone +49 6151 705-221
Fax +49 6151 705-305
Fraunhofer Institute for Structural Durability and System Reliability LBF
Bartningstrasse 47
64289 Darmstadt

Deputy chairman:

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
Phone +49 721 4640-401
Fax +49 721 4640-111
Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Strasse 7
76327 Pfinztal

Central office:

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

www.werkstoffe-bauteile.de



Biopolymere

Biopolymers

Vom Biopolymer zum Hochleistungskunststoff
From Biopolymers to High Performance Plastics

Anwendungen und Dienstleistungen
Applications and services

Thermoplastische Stärkederivate ohne Weichmacher
Plasticizer-free thermoplastic starch

Modifizierte Stärke mit Film- und Barriereigenschaften
Modified starch with film and barrier properties

Nanokomposite aus biobasierten Polymeren
Nanocomposites of bio-based polymers

Verbesserte Nanokomposite aus Celluloseacetat
Improved Cellulose acetate nanocomposites

*Oben: Abteilungsleiter Dr. Johannes Ganster: Gesponnene Cellulosefasern verbessern Crashverhalten von Thermoplasten.
Top: Head of the department Dr. Johannes Ganster: Man-made cellulose fibers improve crash resistance of thermoplastics.*

*Unten: Auch als Sichtbauteil: Cellulosespinnfaser verstärkte Automobil-Tür-Innenverkleidung.
Bottom: Suited also for visible car interior surfaces: man-made cellulose fiber reinforced plastics.*

Vom Biopolymer zum Hochleistungskunststoff

Biopolymere, biobasierte Kunststoffe, Bioraffinerien – das sind Arbeitsrichtungen, die auf die zunehmende Verknappung und langfristige Verteuerung fossiler Ressourcen eine Antwort geben sollen. Hierbei gewinnt das im Fraunhofer IAP traditionell bearbeitete Gebiet der nativen Polymere eine zunehmende Bedeutung. Einen Schwerpunkt bilden dabei die von der Natur in nahezu unbegrenzter Menge synthetisierten Polysaccharide Cellulose, Hemicellulose, Stärke und Chitin, deren Potenzial für eine nachhaltige industrielle Nutzung heute bei weitem nicht ausgeschöpft ist. Cellulose ist das am häufigsten vorkommende Biopolymer und stellt in Form von Zellstoff einen bedeutenden Rohstoff für die chemische Industrie dar. Es werden zum einen Produkte aus Regeneratcellulose (u. a. Fasern, Vliesstoffe, Folien, Schwämme, Membranen) und zum anderen vielfältig einsetzbare Cellulosederivate (Thermoplaste, Fasern, Zigarettenfilter, Klebstoffe, Bauhilfsstoffe, Bohrmittel, Hygieneprodukte, Pharmaka-Komponenten etc.) hergestellt.

Auch Stärke gehört zu den unverzichtbaren Ressourcen mit langer Tradition. Einsatzgebiete von Stärke im Non-Food-Bereich sind Additive in der Papierherstellung, Baustoffe, Faserschlichten, Klebstoffe, Fermentationen, Biokunststoffe, Reinigungsmittel sowie kosmetische und pharmazeutische Produkte. Ausgehend von der möglichst ganzheitlichen stofflichen Nutzung der Biomasse wurden in den letzten Jahren umfangreiche Kompetenzen zu Lignin als einem wertvollen Abfallprodukt der Zellstoffherstellung aufgebaut und der Einsatz von Rübenschnitzeln für die Polyurethanherstellung vorbereitet. Neben den von der Natur bereitgestellten nativen Polymeren rücken im Fraunhofer IAP zunehmend biobasierte Polymere in den Mittelpunkt, die wie Polylactid aus biotechnologisch gewonnenen niedermolekularen Bausteinen

technisch synthetisiert werden und ein großes Potenzial als erdölunabhängige Kunststoffe haben. Eine weitere Zielstellung der Biopolymerforschung im IAP besteht in der Nutzung und Optimierung biotechnologischer Prozesse zur direkten stofflichen Verwertung von Biomasse durch Extraktion und Verarbeitung von Inhaltsstoffen aus Agrarprodukten. Aufgrund der umfangreichen Kompetenzen zu Biopolymeren auf der einen Seite und den Erfahrungen im Forschungsbereich Synthese und Polymertechnik auf der anderen Seite sind im Fraunhofer IAP alle Voraussetzungen für Biopolymerbasierte Produkt- und Prozessentwicklungen gegeben, die von der angewandten Grundlagenforschung im Labor bis zum Betrieb in der Pilotanlage reichen.

Fasern, Folien und Nonwovens

Für die Herstellung von Fasern, Folien und Nonwovens werden spezielle Prozesstechnologien weiterentwickelt. Die Anwendung von Cellulose regenerat-Technologien stellt einen Schwerpunkt der Arbeiten des Fraunhofer IAP dar. Neben dem Viskoseverfahren stehen dabei umweltfreundliche Alternativen wie die Lyocell-Technologie und das Carbamatverfahren im Vordergrund. Als Erfahrungsträger der Viskosetechnologie steht das Institut bei Fragen zu Rohstoffeinsatz, Detailverbesserungen oder optimalem Chemikalieneinsatz zur Verfügung. Auf der Grundlage des umweltfreundlichen Lyocell-Verfahrens wurde im Fraunhofer IAP ein Blasextrusionsverfahren entwickelt, das die Herstellung von Wursthüllen, Verpackungsmaterialien oder Membranen ermöglicht. Cellulosefasern eignen sich aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften hervorragend für Vliesstoffe, einer überdurchschnittlich wachsenden Materialklasse. Zusammen mit Industriepartnern wurde zuletzt eine Lyocell

basierte Meltblown-Nonwovens-Technologie bis zur Überföhrungsreife entwickelt. Ein anderer vielversprechender Ansatz beruht auf hochkonzentrierten Systemen von Cellulosecarbamaten in NMMO/ Wasser bzw. in ionischen Flüssigkeiten, die der angestrebten Zielstellung der schmelzeartigen Verarbeitung der Cellulose näher kommen und zum Patent angemeldet wurden.

Die Verarbeitung schmelzbarer Polymere, insbesondere schmelzbarer Biopolymere, zu Fasern ist eine weitere Arbeitsrichtung, die 2008 ausgebaut wurde. Basis für die Arbeiten ist eine Labor-Bikomponenten-Schmelzspinnanlage mit Durchsatzleistungen bis zu 3 kg/h.

Neue Biokunststoff-Komposite

Von besonderer Bedeutung sind hier biobasierte Matrixmaterialien wie PLA oder PHA, die die Möglichkeit bieten, komplett biobasierte und bioabbaubare Komposite mit ausgezeichneten mechanischen und thermomechanischen Eigenschaften in Hinblick auf Gebrauchsgüter-Anwendungen herzustellen. Dabei wird angestrebt, die Defizite der Matrixmaterialien, wie geringe Schlagzähigkeit und Wärmeformbeständigkeit, bei gleichzeitiger Verbesserung von Festigkeit und Steifigkeit durch die Anwendung von Kompositen mit Verstärkungsfasern im Mikrobereich zu beheben. Im Fraunhofer IAP wurden höherbelastbare Komposite mit Cellulose regeneratfasern (Reifencord) als Verstärkungsfasern entwickelt, die in den Bereich der glasfaserverstärkten Kunststoffe und der Konstruktionspolymere vordringen sollen.

Für Stärke- und Celluloseester wurde die Wirkung nanoskaliger Verstärkungen, insbesondere nanoskaliger Schichtsilikate, intensiv untersucht. Auf Basis

von Stärkeacetat wurden unter anderem Nanokomposite entwickelt, die sowohl eine Erhöhung von Festigkeit und Modul als auch eine verringerte Sprödigkeit, d. h. eine erhöhte Bruchdehnung erzeugen. Celluloseacetate konnten mit geeigneten Nanofüllstoffen ohne Weichmacherzusatz zu hochsteifen und hochfesten Spritzgussformkörpern mit ausgezeichnete Wärmeformbeständigkeit verarbeitet werden und eröffnen damit Einsatzmöglichkeiten in thermisch anspruchsvollen Anwendungen.

Entwicklungsarbeiten in der Polysaccharidchemie

Die heterogene und homogene Derivatisierung von Cellulose, Stärke und anderen Polysacchariden zur gezielten Einstellung der resultierenden Produkteigenschaften stellt ein Gebiet dar, auf dem der Bereich »Biopolymere« über langjährige Erfahrung verfügt. So wurden auf Basis von Cellulosederivaten eine Reihe von Spezialprodukten für verschiedene Anwendungsfelder entwickelt, wozu u. a. perlförmige Trenn- und Trägermaterialien, neue Anti-Graffiti-Anstrichstoffe, Verdickungsmittel, Adsorber und Derivate für den Einsatz in der Medizin gehören. Durch die Erzeugung von spezifischen Substitutionsmustern kann das Eigenschaftsprofil der Derivate in weiten Grenzen variiert werden. Beispielsweise dienen in 2,3-Stellung substituierte Cellulosesulfate zur Verbesserung der Blutverträglichkeit, in 6-Position substituierte Produkte für die Herstellung von Symplexmbranen oder Mikrokapseln. Eine Voraussetzung bei der großtechnischen Derivatisierung von Cellulose durch Heterogenreaktionen ist das Aufbrechen der Wasserstoffbrückenbindungen – die sogenannte Aktivierung. Im Fraunhofer IAP liegen hierfür umfangreiche Erfahrungen vor, u. a. mit Natronlauge, Harnstoff, Am-

moniak, Enzymen, Salzschmelzen und ionischen Flüssigkeiten. Die Arbeiten an neuen Derivaten sind in der Regel mit einer Prozessentwicklung gekoppelt, wobei ein Aufskalieren in den Technikumsmaßstab (50 L-Reaktor) möglich ist. Die Erfahrungen aus der Cellulosechemie werden zunehmend auf Hemicellulosen, Stärke, Pektine, Chitosan und Hyaluronsäure übertragen. Eine von FNR/BMELV geförderte Nachwuchsgruppe beschäftigt sich mit der Synthese, der Verarbeitung und der Mikro- und Nanoadditivierung thermoplastischer Stärke- und Cellulosederivate mit dem Ziel, alternative biobasierte Commodity-Strukturmaterialien mit einem breiten Eigenschaftsspektrum bereit zu stellen.

Entwicklung und Optimierung von Stärkeprodukten

Der Rohstoff Stärke bietet ein sehr vielfältiges Potenzial zur Entwicklung und Optimierung von Modifikaten für gewünschte Anwendungen. Neben physikalischer, säure-hydrolytischer und enzymatischer Behandlung der Stärke gewinnt die chemische Derivatisierung zunehmend an Bedeutung. In Abhängigkeit von der molekularen Zusammensetzung hinsichtlich verzweigter und linearer Makromoleküle und Oligomere sind rheologische Eigenschaften, Retrogradation und Gelbildung einstellbar. Die Stärkeether nehmen ein breites technisches Anwendungsfeld ein. Mit zur Verfügung stehenden Reagenzien werden neutrale, kationische, anionische oder hydrophobe Substituenten mit DS-Werten von 0,01 bis ca. 1,5 eingeführt. Kationische Stärke mit niedrigen DS-Werten zwischen 0,01 und 0,1 zeichnet sich durch ihr Adsorptionsvermögen an Papierfasern aus. Bei DS-Werten über 0,3 bis 1,5 werden mit zunehmendem Substitutionsgrad Flockungseigenschaften erzeugt.

Im Papierverbund der FNR/BMELV werden in enger Zusammenarbeit von PTS, Fraunhofer IAP und mehreren Firmen der Stärke- und Papierindustrie Entwicklungsziele verfolgt, die nicht nur die Qualität verschiedener Endprodukte verbessern, sondern auch positive Auswirkungen auf die Ökonomie und Ökologie der Herstellungsverfahren realisieren werden. Stärkeprodukte mit einem Vermögen zur Bildung transparenter, flexibler und reißfester Schichten für wasserlösliche und wasserstabile Filme stellen die Ziele in weiteren Projekten dar. Die thermoplastische Verarbeitung von Stärkederivaten zu neuen Werkstoffen erfährt zunehmendes Interesse.

Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Biopolymeren

Die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Prozessbedingungen, Strukturen und Eigenschaften stellt eine zentrale Aufgabe bei der Entwicklung neuer Cellulose- und Stärkematerialien dar. Eine besondere Stärke des Fraunhofer IAP liegt in der Vielfalt der verfügbaren Methoden und Kompetenzen zur molekularen Charakterisierung und Untersuchung der übermolekularen Struktur nativer Polymere. Neben der HP-GPC-RI-MALLS zur Molmassenbestimmung, der Flüssigkeits-NMR- und der Ramanspektroskopie gehören hierzu Festkörper-NMR-, Röntgenbeugungs- und elektronenmikroskopische Methoden zur Bestimmung von molekularen und übermolekularen Ordnungszuständen wie Kristallinitäten, Kristallitgrößen, Kettenorientierungen und morphologischen Charakteristika. Ein umfangreiches Methodenarsenal (EM, SAXS, BET, Hg) steht auch zur Charakterisierung der Porosität zur Verfügung.

From biopolymers to high performance plastics

Biopolymers, biobased plastics and biorefinery – these topics should help to solve the growing problem of fossil resource scarcity and resulting price increases. Our research activities concentrate on naturally synthesized polysaccharides such as cellulose, hemicellulose, starch and chitin which are available in nearly unlimited quantities. Cellulose is the most frequently occurring biopolymer and as a dissolving pulp, it is an important industrial raw material. It is processed into regenerated cellulose products such as fibers, nonwovens, films, sponges and membranes. It can also be processed into versatile cellulose derivatives, thermoplastics, fibers, cigarette filters, adhesives, building additives, boring oils, hygiene products, pharmaceutical components, etc.

Starch is another indispensable resource with a long tradition. The substance's many functional properties make it suitable for use in the food sector and for technical applications. Non-food applications include additives for paper manufacturing, construction materials, fiber sizes, adhesives, fermentation, bioplastics, detergents, and cosmetic and pharmaceutical products.

To further our aim of comprehensive utilization of biomass for materials, we have developed strong lignin competencies in recent years. We have also investigated the use of sugar beet pulp for polyurethane production. In addition to its focus on natural polymers, Fraunhofer IAP is increasingly concentrating on biobased polymers such as PLA, which are synthesized from biotechnologically produced monomeric units. These polymers are expected to have major potential as sustainable plastic materials. The use and optimization of biotechnology with the aim of directly applying the biomass by extraction and plant material processing is a further focus of our biopolymer research. With its comprehensive expertise in the field of biopolymers and

long-standing experience and knowledge of polymer synthesis, Fraunhofer IAP is highly qualified to develop products and processes in various areas of biopolymers, ranging from applied basic research in the laboratory to pilot plant operation.

Fibers, Films, and Nonwovens

Special processing technologies are being developed on a pilot plant scale for the production of fibers, films and nonwovens. Another major focus of Fraunhofer IAP's activities is on developing technologies for regenerated cellulose. In addition to the viscose process, environment-friendly alternatives, such as Lyocell technology and the carbamate process for the production of fibers, films and nonwovens, are being further developed. As a viscose technology specialist, Fraunhofer IAP can provide assistance with raw material charge, detailed improvements or optimum use of chemicals. We have developed a blown film process on the basis of the environment-friendly Lyocell process, which can be used to produce sausage casings, packaging materials and membranes. Cellulosic fibers are ideally suited to the production of nonwovens thanks to their unique properties. Together with industry partners, Fraunhofer IAP recently developed a Lyocell-based meltblown nonwoven technology towards industrial maturity. Another promising approach is based on highly concentrated systems of cellulose carbamate in NMMO/water or ionic liquids. This approach aims to achieve the melt processing of cellulose and is currently the subject of patent applications.

The processing of meltable thermoplastic polymers, especially meltable thermoplastic biopolymers, to fibers is a further field of activity which was started in 2008. Technical basis is a lab bicomponent melt spinning line with a throughput of up to 3 kg/h.

New bioplastic composites

Of special interest here are biobased matrix materials such as PLA and PHA; offering the possibility to design completely biobased and biodegradable composites with excellent mechanical and thermo-mechanical properties for consumer goods applications. Deficits in the matrix materials, such as low impact strength and weak thermal stability are overcome by simultaneous improvements in strength and stiffness. At Fraunhofer IAP, work is currently progressing on the development of high-strength composites reinforced with regenerated cellulose fibers (tire cord), which are aimed at the glass fiber-reinforced plastics and engineering polymers sector.

In addition to these composites containing reinforcing fibers in the micron range, the effect of nano reinforcements, in particular nanoclays, has been studied in some detail for biobased polymers such as starch and cellulose esters. Nanocomposites based on starch acetate were developed which have, along with increased strength and stiffness, a significantly reduced brittleness, i.e. increased elongation at break. Cellulose acetates, together with suitable nanofillers, could be processed without plasticizer into injection molded bodies with exceptional strength, modulus and thermal stability, thus offering possible uses in thermally demanding applications.

Developments in polysaccharide chemistry

Homogeneous and heterogeneous derivatisation of cellulose, starch, and other polysaccharides for tailoring the final material properties represents another field of expertise for the IAP »Biopolymers« division. A number of specialty products on the basis of cellulose derivatives were developed for various applications, including separation and carrier materials in bead form, new anti-graffiti coatings, thickeners, adsorbents and special cellulose derivatives for use in medicine. The property profile of the derivatives can vary greatly depending on the synthesis of specific substitution patterns. For example, cellulose sulfates substituted in the 2,3-position can be used to improve blood compatibility, while products substituted in the 6-position are suitable for manufacturing symplect membranes or microcapsules. Another example of new cellulose derivatives is that of bi-functional mixed ethers. The derivatization of cellulose on an industrial scale is generally carried out by heterogeneous reactions. Breaking hydrogen bridge bonds in a process known as activation, is a key requirement for derivatization. At Fraunhofer IAP, we have extensive experience with activation processes (using caustic soda, urea, ammonia, enzymes, molten salts, etc.) Work on new cellulose derivatives is generally coupled with process development, with the possibility of up-scaling to pilot plant operation (50 L reactor). Experience gained in cellulose chemistry is now increasingly being applied to hemicelluloses, starch, pectin, chitosan and hyaluronic acid. A team of young scientists sponsored by FNR/BMELV is currently exploring the possibilities of synthesis, compounding and processing of thermoplastic starch and cellulose derivatives in order to provide new bio based commodity materials with a wide range of mechanical properties.

Development and optimization of starch products

The feedstock starch provides a comprehensive potential for development and optimization of modified starch for desired applications. Investigating new ways of modifying starch and introducing innovations into the starch industry and chemical production is one promising area of activity. Manifold methods are available to optimize the properties of starch. Structure and molecular composition can be altered by physical, enzymatic and chemical processing and through combining different processing principles. Biocatalysts not only hydrolyze starch but also have specific effects on debranching, prolonging chains and chemical modification. Rheological properties, retrogradation and gel formation can be adjusted by molecular composition of linear and branched macromolecules and oligomers. Starch ethers are becoming increasingly important. Neutral, cationic, anionic or hydrophobic substituents are introduced with available reagents to obtain DS-values from 0.01 to 1.50. Cationic starch exhibits adsorption properties on paper pulp fiber with low degree of substitution between 0.01 and 0.1. Flocculation behavior is obtained at higher DS- values of more than 0.3 to 1.5.

In the Paper Network formed by the German Renewable Resources Agency (FNR) Fraunhofer IAP is working closely with the Paper Technology Foundation (PTS) and a number of companies in the starch, paper, cardboard and corrugated board industries to enhance the quality of different end products, while also improving the economies of the production processes and ecology of paper factories. Transparent, flexible and tear-proof films, which are water soluble or water stable, are the goal of other projects. The thermoplastic processing of starch derivatives to new materials is receiving growing interest.

Structure property relationships for biopolymers

The determination of correlations between processing conditions, structures and properties in the development of new materials is a key task. In this regard, Fraunhofer IAP's strength lies in the availability of the methods and expertise required to carry out molecular characterization and study the supermolecular structure of bio-based and synthetic polymers. In addition to molecular characterization through HP-GPC-RI-MALLS and liquid NMR as well as Raman spectroscopy, solid state NMR, X-ray diffraction methods and electron microscopy are also used to determine molecular and supermolecular states of order, such as crystallinities, crystallite sizes, chain orientations and morphological characteristics. A comprehensive arsenal of methods (EM, SAXS, BET, Hg) is also available to characterize the porosity of products.

Anwendungen und Dienstleistungen

Celluloseprodukte

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

Verfahrensentwicklung

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

Stärkeprodukte

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

Verfahrensentwicklung

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

Cellulosematerialien und Verfahrensentwicklung

Viskoseverfahren

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

Carbamatverfahren

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

Lyocell Verfahren

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

Verformung und Fälen unter starker Scherung

- Trenn- und Trägermaterialien
- Adsorbentien
- Fibride

Thermoplastische Verformung und Verbundmaterialien

- Polysaccharidblends und Hybridmaterialien
- Compoundierung von Kompositmaterialien
- Cellulosefaserverstärkte Thermoplaste (www.neue-verbundwerkstoffe.de)
- Biokomposite
- Nanokomposite mit Polysaccharidbasierter Matrix

Cellulosische Verstärkungsfasern

- Naturfasern (Flachs, Hanf, Jute)
- Mercerisierung von Naturfasern
- Celluloseregeneratfasern

Rohstoffuntersuchung, Materialcharakterisierung und -prüfung

- Charakterisierung von nativen und modifizierten Biopolymeren wie Cellulose, Stärke, Heteropolysacchariden, Chitosan, Lignin
- Einsatzorientierte Prüfung
- Charakterisierung von Polymerlösungen (Molmassenverteilung, Rheologie)
- Materialprüfung von Fasern, Folien und Formkörpern
- chemisch-physikalische Charakterisierung von Polymeren
- Substitutionsgrade und -muster von Polysacchariden (u. a. NMR)
- Bestimmung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) nach VDA 277
- Charakterisierung der Morphologie und der übermolekularen Struktur von Polymeren
- Charakterisierung von Poren und inneren Oberflächen
- Zusammenhänge zwischen Herstellungsbedingungen, Strukturen und Eigenschaften
- Stofftransport- und Trenneigenschaften von Membranen und Trägermaterialien
- chemische Analyse organischer und anorganischer Substanzen und Substanzgemischen

Kontakt *Contact*



Forschungsbereichsleiterin
Division director

Biopolymere *Biopolymers*

Dr. Waltraud Vorwerg
Telefon +49 331 568-1609
Fax +49 331 568-2609
waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de

Polysaccharidchemie *Polysaccharide chemistry*

Dr. Bert Volkert
Telefon +49 331 568-1516
Fax +49 331 568-2616
bert.volkert@iap.fraunhofer.de

Stärke/ Molekulare Eigenschaften *Starch/ Molecular properties*

Dr. Waltraud Vorwerg
Telefon +49 331 568-1609
Fax +49 331 568-2609
waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de

Processing *Processing*

Dr. Horst Ebeling
Telefon +49 331 568-1810
Fax +49 331 568-2508
horst.ebeling@iap.fraunhofer.de

Materialentwicklung und Strukturcharakterisierung *Material development and structure characterization*

Dr. Johannes Ganster
Telefon +49 331 568-1706
Fax +49 331 568-2565
johannes.ganster@iap.fraunhofer.de

Applications and services

Cellulose products

- cellulose derivatives of all types
- bead cellulose as separating agent and carrier material for pharmacy and medicine
- blood-compatible additives, coagulants and coatings for medicine
- biocompatible symplex capsules for biotechnology and pharmacy
- biodegradable superabsorbers for hygiene articles and cosmetics
- symplex membranes for distillation-free solvent separation in the chemical and food industries
- antigraffiti coatings
- flocculants for the paper industry, water purification and wastewater treatment
- viscosity regulators and dispersion stabilizers for the cosmetics, food, dye, construction material, and chemical industries
- bacterial cellulose

Process development

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

Starch products

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

Process development

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

Cellulose materials and process development

Viscose technology

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

Carbamate technology

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

Lyocell technology

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

Shaping and precipitation in a strong shear field

- separating agents and carrier materials
- adsorbents
- fibrils

Thermoplastic molding and composite materials

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

Cellulose reinforcing fibers

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

Feedstock analysis, material characterization and testing

- characterization of native and modified biopolymers like cellulose, starch, heteropolysaccharides, chitosan, lignin
- application-oriented testing
- characterization of polymer solutions (molecular mass distribution, rheology)
- material testing of fibers, films and molded parts
- 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
- characterization of the morphology and the supramolecular structure of polymers
- characterization of pores and inner surfaces
- relationships between production conditions, structures and properties
- mass transport and separation properties of membranes and carrier materials
- chemical analysis of organic and inorganic substances and mixtures

Thermoplastische Stärkederivate ohne Weichmacher

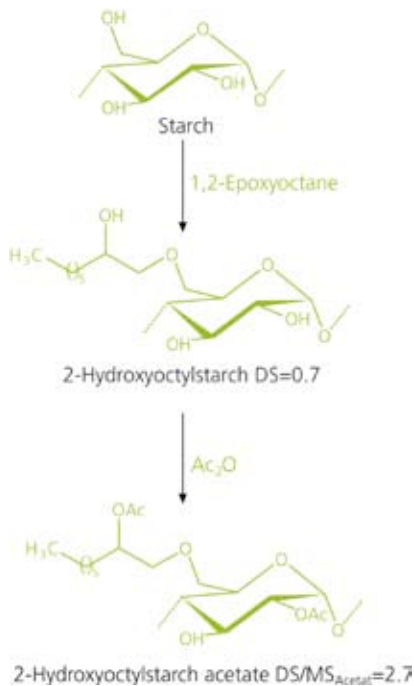


Fig. 1: Synthesis of 2-Hydroxyoctylstarch acetate (schematic structure).

Weichmacher sind meist niedermolekulare organische Verbindungen, welche eingesetzt werden, um spröde Harze (Duroplaste) und Plaste (Thermoplaste) elastischer im Gebrauch oder zur weiteren Verarbeitung zu machen. In einigen Kunststoffen, z. B. in Polyvinylchlorid (PVC), kann der Weichmachergehalt bis zu 50 Masseprozent betragen. Bis vor wenigen Jahren wurden vorwiegend Phthalate, wie Di(2-ethylhexyl) phthalat, zur Plastifizierung eingesetzt, welche mittlerweile als krebserzeugend eingestuft und weitestgehend nicht mehr von der europäischen Kunststoffindustrie verwendet werden. Die Möglichkeit der Diffusion aus Kunststoff und damit Kontamination von z. B. Lebensmitteln lassen den Einsatz von Weichmachern hinsichtlich der Toxizität problematisch erscheinen. Ein Lösungsansatz ist die Verwendung von sogenannten inneren Weichmachern, welche kovalent am Polymer gebunden sind und nicht nur über Dipolwechselwirkungen, wie es bei von außen zugesetzten Weichmachern geschieht, interagieren.

Im Rahmen der Nachwuchsgruppe »Neue Werkstoffe aus modifizierten Polysacchariden« werden unter anderem verschiedene thermoplastische Stärkederivate wie Stärkeacetat und -propionat hergestellt, um die breite Palette von Commodity- über Konstruktions- bis hin zu Funktionsmaterialien abzudecken. Ausgehend von einer hochamylosehaltigen Stärke ist es dabei erstmalig gelungen ein mit 1,2-Epoxyoctan verethertes Stärkeacetat zu synthetisieren, welches ohne Weichmacher verarbeitet werden kann und dabei eine gute Zugfestigkeit bei gleichzeitig hoher Bruchspannung aufzeigt. Dabei wirkt der Ethersubstituent als innerer Weichmacher.

Der Einfluss von länger-kettigen Substituenten, vor allem bei Stärkeestern, auf die mechanischen Eigenschaften ist vielseitig in der Fachliteratur beschrie-

ben [Sagar *et. al*]. Wird die Alkylkette des Estersubstituenten länger, so steigert sich die Bruchdehnung, die Zugfestigkeit sowie das E-Modul hingegen nehmen drastisch ab. Durch die Einführung eines Ethersubstituenten konnte genau diese Abnahme der zuletzt genannten mechanischen Eigenschaften vermieden werden. Bei der Synthese handelt es sich um einen Zwei-Stufen-Prozess, indem die Stärke zunächst unter homogenen Bedingungen im wässrigen alkalischen Medium mit 1,2-Epoxyoctan verethert wird [Bien *et. al*]. Für die darauffolgende Acetylierung des so hergestellten Stärkeethers dient Essigsäureanhydrid als reaktives Reaktionsmedium (Fig. 1).

Die thermoplastische Verarbeitung erfolgte im 50 Gramm-Maßstab auf einem Mini-Doppelschneckenextruder (Haake D). Die nach dem Spritzguss erhaltenen Prüfstäbe wurden hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften bei 23 °C und 50 Prozent relativer Luftfeuchte untersucht. Hydroxyalkyliertes Stärkeacetat besitzt im Gegensatz zu purem Stärkeacetat, welches mit 20 Masseprozent Triacetin plastifiziert wurde, eine deutlich erhöhte Bruchdehnung bei nahezu identischer Zugfestigkeit. Selbst gegenüber Stärkepropionat, was aufgrund seiner geringeren Sprödigkeit lediglich fünf Masseprozent Triacetin benötigt, kann die Bruchdehnung nochmals gesteigert werden (Fig. 2). Dies verdeutlicht die Wirkung des Ethersubstituenten als inneren Weichmacher.

Abschließend kann gesagt werden, dass durch die erzielten mechanischen Eigenschaften ohne äußeren Weichmacher Einsatzgebiete wie Kinderspielzeug und medizinische Artikel denkbar sind.

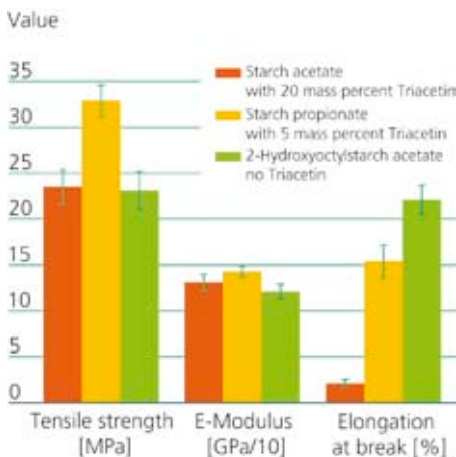


Fig. 2: Mechanical properties of different starch derivatives.

Plasticizer-free thermoplastic starch

In most cases plasticizers are low molecular organic compounds which are used to achieve a higher elasticity in brittle thermosetting plastic and thermoplastic material during use and processing. In some plastics, e.g. polyvinyl chloride (PVC), the content of plasticizer can be up to 50 mass percent. Up until a few years ago it was mainly phthalates like di(2-ethylhexyl)phthalate, which were used for plasticization. Nowadays these phthalates are classified as carcinogenic and are no longer used in the European plastic industry. The possibility that plasticizers might diffuse out of the plastic and contaminate, for example, foodstuffs, is a problem which constricts their use of the basis of toxicity. One solution approach is to use so-called internal plasticizers, which are covalent-bonded to the polymer and do not only interact through dipole-dipole interaction as do external plasticizers.

As part of the »New materials from modified polysaccharides« junior research group, various thermoplastic starch derivatives, like starch acetate and propionate as well as other polysaccharide derivatives, are produced which cover the broad range of packing, construction and functional materials. For the first time it was possible to synthesize a starch acetate etherified with 1,2-epoxyoctane, starting with a high amylose starch, which can be processed without any plasticizer. This results in a plastic with both good tensile strength and high breaking stress. Here the ether substituent acts as an internal plasticizer.

The influence of long alkyl chain substituents, especially for starch esters, on mechanical properties is well described in literature [Sagar et. al]. By increasing the length of the alkyl chain of ester substituent, the elongation at break increases; however the tensile strength as the E-modulus strongly decrease. By introducing an ether substituent, a

decrease in the latter mechanical properties could be avoided. The synthesis is a two-step process in which starch is first etherified with 1,2-epoxyoctane under homogeneous alkaline conditions [Bien et. al]. Acetic acid anhydride is used as reactive reaction media (Fig. 1) for the subsequent acetylation of the starch ether.

The thermoplastic processing was performed on a 50 gram scale on a twin-screw mini extruder (Haake D). After injection molding, the resulting specimens were tested in regards to their mechanical properties at 23 °C and a relative humidity of 50 percent. Starch acetate etherified with 1,2-epoxyoctane has, in contrast to pure starch acetate, which was plasticized with 20 percent triacetin as a plasticizer, a much higher value for elongation at break with a nearly identical tensile strength. Even in contrast to starch propionate, where only five percent triacetin was used due to its lower brittleness, the elongation at break could be increased (Fig. 2). This underlines the effect of an ether substituent as internal plasticizer.

In summary, application areas such as toys and medical items are conceivable through the achieved mechanical properties without using an external plasticizer.

Kontakt Contact



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

Dr. Bert Volkert
Telefon +49 331 568-1516
Fax +49 331 568-2616
bert.volkert@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding
Fachagentur für Nachwuchsende Rohstoffe im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), FKZ 22028705

Kooperation Collaboration
M. Hassan-Nejad, Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP, Abt. Materialentwicklung und Strukturcharakterisierung

Literatur Literature
[1] A. Sagar, E. W. Merrill: *Properties of fatty-acid esters of starch*, Journal of Applied Polymer Science, 58, 1647-1656 (1995)

[2] F. Bien, B. Wiege, S. Warwel: *Hydrophobic modification of starch by alkali-catalyzed addition of 1,2- epoxyalkanes*, Starch/Stärke, 53, 305-310, (2001)

Modifizierte Stärke mit Film- und Barriereigenschaften

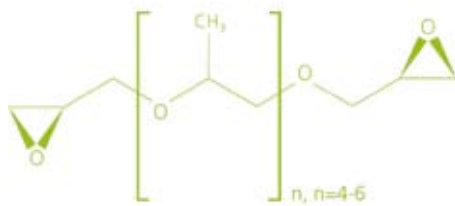


Fig. 1: Structure of polypropylene glycol diglycidylether.

Stärkeprodukte mit speziellen Barriereigenschaften zur Anwendung in der Oberflächenleimung von Papier oder Beschichtung bzw. Laminierung von Karton sowie mit dem Vermögen zur Bildung transparenter, flexibler und reißfester Schichten erfahren eine zunehmende Nachfrage. Sowohl wasserlösliche, partiell quellbare als auch wasserstabile Filme mit speziellen Eigenschaften werden für verschiedene Applikationen benötigt. Erreichbar sind derartige Produkteigenschaften auf Basis von Stärke durch vorwiegend chemische Modifizierung.

Synthese

Die Darstellung von verschiedenen Stärkeethern, -estern und vernetzten Stärken mit hydrophoben Substituenten nach variierten Reaktionsbedingungen, im Slurry- oder Homogenverfahren, wurde bewertet durch Untersuchungen der Molmassenverteilung und des Substitutionsgrades, des Vermögen zur Filmbildung als auch der Eignung für spezielle Anwendungen. Für eine Reihe von Reagenzien wie 1,2-Epoxypropan, Octenylbernsteinsäureanhydrid (OSA), Octanoylchlorid, Diglycidylether (Fig. 1) und Essigsäureanhydrid wurden optimale Reaktionsbedingungen ermittelt, um effiziente Umsetzungen mit verschiedenen Stärkearten unter Vermeidung von molekularem Abbau zu erhalten.

Eigenschaften und Anwendung

Für Filme mit einer mechanischen Zugfestigkeit von über 30 MPa und guter Lagerstabilität sollte eine Stärkeart mit möglichst hohem Amylosegehalt gewählt werden. Eine hohe Transparenz zeigten wasserlösliche Filme aus Hydroxypropylstärke bei Verwendung des homogenen Veretherungsverfahrens

mit DS-Werten des Endproduktes zwischen 0,1 – 0,4. In Fig. 2 wird ein Spannungs/Dehnungs-Diagramm eines wasserlöslichen Films aus Hydroxypropylstärke mit hohem Amylosegehalt und $DS_{HP} = 0,4$ dargestellt. Der ohne Verwendung eines Weichmachers hergestellte Film zeichnete sich neben der Flexibilität und Thermoverformbarkeit durch Fettdichtheit und Lagerstabilität über sehr lange Zeiträume aus.

Die gezielte Einstellung partieller Hydrophobie zur technologischen Verarbeitung wässriger Polymerdispersionen wurde durch OSA-Stärke und Octanoyl-ester mit niedrigen DS-Werten zwischen 0,02 und 0,1 bzw. durch Vernetzung mit Polypropylen glykoldiglycidylether (molares Verhältnis Stärke : Vernetzer = 1:0,02) realisiert. Nach Herstellung konzentrierter wässriger Dispersionen wurden die synthetisierten Stärkederivate mittels einer Leimpresse auf das Papier aufgetragen und hinsichtlich Wasseraufnahmevermögen ($Cobb_{60}$ -Wert) und Bedruckbarkeit untersucht. Der größte Effekt in der Erniedrigung der Wasseraufnahme von beschichtetem Karton bei gleichzeitiger Verbesserung der Inkjet-Bedruckbarkeit wurde durch OSA-Stärke erreicht. Es wurde ein $Cobb_{60}$ -Wert von ca. 20 g/m^2 erhalten, der üblicherweise durch den Zusatz synthetischer Polymere angestrebt wird (Fig. 3).

Wasserstabile, klar transparente Filme wurden aus Stärkeacetaten nach dem Phaseninversionsverfahren mit einer mechanischen Zugfestigkeit von 51,6 MPa hergestellt. Eine Wasserquellbarkeit des Films aus hoch substituiertem Stärkeacetat mit einem M_w von $3,2 \times 10^6$ g/mol und einem DS_{Acetyl} von 2,62 war nicht mehr gegeben. Diese Stärkeacetate sind auch zum Laminieren von Papier- und Kartonoberflächen geeignet. Aufgrund der Filmbildungseigenschaften sind Hydroxyalkyl- und Acetylstärken auch zur Verkapselung von Wirkstoffen geeignet.

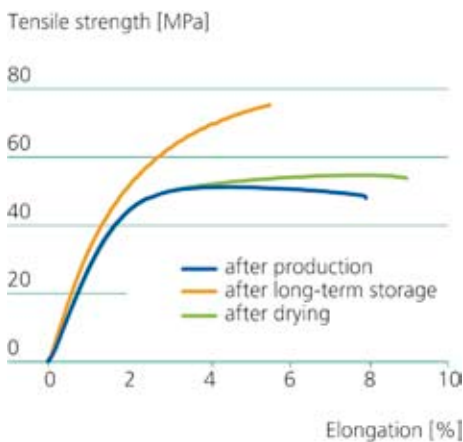


Fig. 2: Mechanical properties of the film from hydroxypropylated starch.

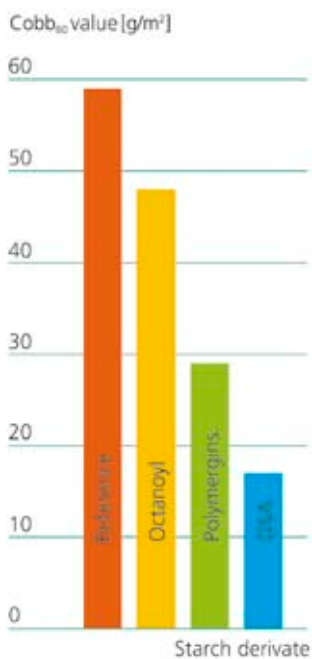


Fig. 3: $Cobb_{60}$ values of different starch derivatives.

Modified starch with film and barrier properties

Starch products with special barrier properties are receiving growing interest for applications like surface sizing of paper and coating of cardboard as well as formation of transparent, flexible and break stable layers. Water soluble, partial swelling and water-stable films with special properties are needed for various uses. These desired product properties can be achieved by predominantly chemical modification of starch.

Synthesis

The preparations of different starch ethers and esters and cross-linked starches with hydrophobic substituents in varied conditions of chemical reaction, in slurry and homogeneous processes, were analyzed by investigating molar mass distribution, degree of substitution (*d. s.*), properties of film formation, and suitability for special applications. Ideal reaction conditions were established for a series of reagents like 1,2-epoxy propane, octenylsuccinic acid anhydride, octanoyl acid chloride, diglycidyl ether (Fig. 1) and acetic acid anhydride to obtain efficient transformation with various types of starches while avoiding molecular degradation.

Properties and application

A type of starch with high amylose content should be chosen to achieve mechanical film properties with tensile strength of more than 30 Pa and long term storage stability. Using the homogeneous method of etherification, water soluble films from hydroxypropylated starch showed high transparency with end product *d. s.* values between 0.1 – 0.4. The mechanical testing, stress-strain measurement of the hp-starch film with *d. s.* 0.4 and high amylose content is demonstrated

in Fig. 2. This plasticizer-free film was characterized by a fat barrier and long time storage, in addition to its flexibility and thermo-formability.

The adjustment of partial hydrophobicity for industrial processing of aqueous polymer dispersions was achieved through OSA starch and octanoyl ester with low *d. s.* values between 0.02 and 0.1 and through cross-linking with polypropylene glycol diglycidyl ether (molar ratio starch : cross-linker = 1:0.02). The modified starches were investigated by preparing aqueous dispersion and by coating the paper using a size press. The hygroscopicity of the coated and dried paper was determined using the Cobb₆₀ test. The printability was investigated using inkjet colors and measurement of color density. The biggest effect was achieved with OSA starch (Fig. 3). The Cobb₆₀ value of about 20 g/m² was obtained which is commonly achieved with synthetic additives.

Water stable, clear-transparent films were prepared from starch acetate using the phase inversion method. The tensile strength of the film amounted to 51.6 MPa. There was no swelling in water of the film with M_w 3.2 × 10⁶ g/mol and *d. s.*_{acetyl} 2.62. The highly substituted starch acetate is suitable for coating both paper and cardboard. Because of the film forming properties of hydroxyalkyl and acetyl-starches, these derivatives are suitable for the encapsulation of active ingredients.

Kontakt Contact



Dr. Waltraud Vorwerg
Telefon +49 331 568-1609
Fax +49 331 568-2609
waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de

Dr. Kay Hettrich
Telefon +49 331 568-1514
Fax +49 331 568-3116
kay.hettrich@iap.fraunhofer.de

Dr. Ute Schuldt
Telefon +49 331 568-1603
Fax +49 331 568-3116
ute.schuldt@iap.fraunhofer.de

Literatur Literature

[1] K. Hettrich, W. Vorwerg, J. Dijksterhuis: *Verfahren zur Herstellung eines hydrophoben Stärkederivates, hydrophobes Stärkederivat und Verwendung des Verfahrens.* WO 2008/095654 A1 (2008)



Fig. 4: Starch foil.

Nanokomposite aus biobasierten Polymeren

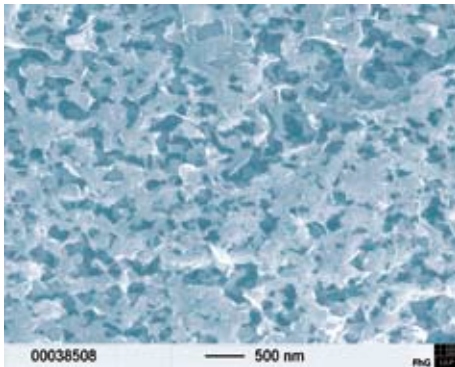


Fig. 1a: REM micrographs of a plasma-etched PTT-specimen (3 percent Nanofil 2): sample surface.

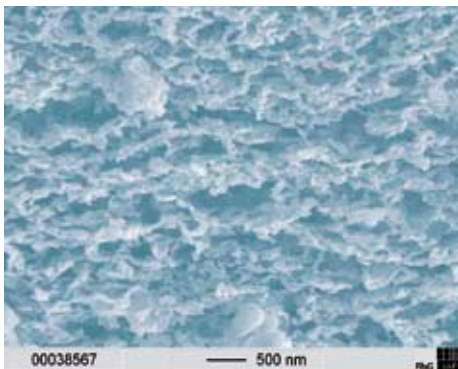


Fig. 1b: REM micrographs of a plasma-etched PTT-specimen (3 percent Nanofil 2): near-surface layer of the cross-section (cryofracture).

Biobasierte Polymere haben in den letzten Jahren die Palette interessanter Matrixpolymere für die Herstellung von Nanokompositen wesentlich erweitert. Dabei reicht das Repertoire von pflanzlich gewonnenen Polymeren wie Cellulose über Stärke bis hin zu Polyhydroxyalkanoaten (PHA) [1]. Eine zweite Gruppe von Polymeren zielt auf die Verwendung biobasierter Monomere ab, die chemisch zu Polymeren gewandelt werden. So hat sich Polymilchsäure (PLA) in den letzten Jahren am Markt etablieren können - derzeit werden weltweit ca. 240 000 t/a produziert. Ein weiteres bekanntes Beispiel ist die fermentative Herstellung von 1,3- Propan diol [2] und dessen Verwendung zur Produktion von Polytrimethylenterephthalat (PTT) für textile Applikationen [3]. Als eine Herausforderung gilt die Erweiterung des Eigenschaftsprofils von PTT durch Compoundieren mit nanoskaligen Partikeln. Das Hauptaugenmerk liegt dabei applikationsbedingt auf der Verwendung von Komponenten mit großen Aspektverhältnissen wie beispielsweise organisch modifizierten Schichtsilikaten oder Carbon Nanotubes [4]. Gegenstand der eigenen Forschungsaktivitäten ist das Compoundieren von PTT, auch Festphasenpolykondensiertes PTT (SSP), mit modifizierten Schichtsilikaten (z. B. Nanofil2). Die Zugfestigkeiten wurden um acht Prozent auf 65 MPa und die Moduli um 40 Prozent auf 2910 MPa verbessert.

Die Materialeigenschaften leiten sich neben der Wechselwirkung Füllstoff/ Matrix in erster Linie von der Partikelverteilung und -orientierung im Komposit ab, die im Allgemeinen mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) untersucht werden. Aufgrund ihrer Härte können die Nanofil-Plättchen während der Probenvorbereitung durch das Schneidwerkzeug in ihrer Lage verändert oder aus der Matrix herausgezogen werden. Um diese Präparationsartefakte zu vermeiden,

wurde die Polymermatrix durch Ätzen in einem Sauerstoffplasma so abgetragen, dass das Gerüst der anorganischen Nanofil-Plättchen aus der Polymermatrix herausragt und mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) abgebildet werden kann. Oberflächenuntersuchungen an einem Formkörper dieses Nanokomposits zeigen, dass die Nanofil-Plättchen parallel zur Oberfläche angeordnet sind (Fig. 1a).

Dementsprechend erscheinen sie in der oberflächennahen Randschicht eines plasmageätzten Kryobruchs senkrecht zum Querschnitt (Fig. 1b), während die Nanofil-Plättchen in der Probenmitte verarbeitungsbedingt keine Vorzugsorientierung aufweisen.

Untersuchungen mittels Röntgenwinkelbeugung (WAXS) ergänzen die TEM/REM-Resultate. Analysiert man die intensitätsstarken Schichtreflexe (001) der im Komposit verteilten Silikatschichten, erlauben Position und Intensität der (001)-Reflexe Rückschlüsse auf die im Nanokomposit vorliegende Struktur (interkaliert oder exfoliiert) (Fig. 2).

Die Röntgenstreuurve einer Modellmischung aus PTT/Nanofil2 (Fig. 2, PTTnanoM) zeigt einen Reflex bei $2\theta = 4,78^\circ$, was einem Schichtabstand von 1,85 nm entspricht. Im Komposit (PTTnanoC) liegt der überwiegende Anteil des Schichtsilikats interkaliert/exfoliiert vor (Intensitätsabnahme des (001)-Reflexes). Geringe Mengen verbleiben mit einem etwas reduzierten Schichtabstand von 1,69 nm (Shift des basalen (001)-Reflexes auf $2\theta = 5,23^\circ$).

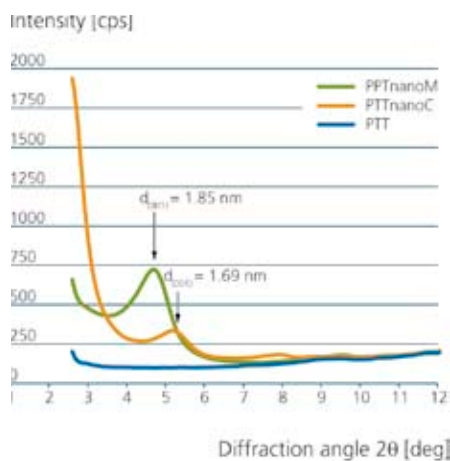


Fig. 2: X-ray diffraction curves: Matrix material PPT, Nanocomposite (PTTnanoC) and model mixture of the starting material (PPTnanoM).

Nanocomposites of bio-based polymers

In recent years bio-based polymers opened up a wide variety of interesting matrix polymers for the preparation of nanocomposites with tailored properties. The repertoire of naturally occurring polymers ranges from cellulose and starch to polyhydroxyalkanoates (PHA) [1]. A second group of polymers are aimed at bio-based monomers, which are then chemically manufactured into polymers. In the last few years, polylactic acid (PLA) has established itself on the market. Currently approx. 240,000 t/a of it is being produced worldwide. Another well-known example is the fermentative production of 1,3-propanediol [2] and its application as a monomer in the manufacture of polytrimethylene terephthalate (PTT) used in textile applications [3]. One of the challenges faced by research is to expand PTT's material properties through compounding with nanoscaled fillers in the reinforcing phase to obtain engineered thermoplastics. In terms of application, nanofillers with large aspect ratios like modified clays or carbon nanotubes, play a major role in material tailoring [4]. Research activities thus focus on compounding PTT and PTT treated by solid-state-polycondensation (SSP) with modified clays like Nanofil2, for instance. Based on this, tensile strength was able to be enhanced by eight percent to 65 MPa and Young's modulus was improved by 40 percent to 2910 MPa.

Composite properties are caused by the interaction between additives and the matrix, as well as by the spatial distribution and the orientation of added particles, which are generally investigated by transmission electron microscopy (TEM). However, during preparation of the ultra-thin cuts by a microtome, the hardness of the Nanofil-platelets may cause their position and orientation to change or they might be even pulled out by the diamond knife. Alternatively, to avoid

preparation artefacts, the polymer matrix was etched into an oxygen-plasma and finally the Nanofil-scaffold was investigated by scanning electron microscopy (SEM). The SEM micrographs of the surface and the cross-section of a composite sample show (Fig. 1a) that the Nanofil-platelets in a surface-near layer are oriented parallel to the sample surface.

Accordingly, they appear near the surface layer of a plasma-etched cryofracture perpendicular to the cross section (Fig. 1b), while the Nanofil plates exhibit no preferential orientation in the middle of the sample which is due processing conditions.

Investigations using wide angle X-ray scattering (WAXS) supplement the TEM/SEM results. Analyzing the strong layer diffraction peaks (001) of the silicate layers distributed in the composite, changes in peak position, and intensity may be used to identify the nanocomposite structure (intercalated or exfoliated, Fig. 2).

The diffraction curve of a model mixture consisting of PTT/Nanofil2 (Fig. 2, PTTnanoM) exhibits a single peak at $2\theta = 4.78^\circ$, corresponding to a basal spacing of 1.85 nm. The nanocomposite PTT/Nanofil2 (PTTnanoC) shows that most of the nanoparticles are intercalated/exfoliated, indicated by the decrease of the intensity of the (001) peak. A small amount of the nanofiller remains characterized by a reduced basal spacing of 1.69 nm (shift of the basal (001) peak to $2\theta = 5.23^\circ$).

Kontakt Contact



Dr. Gunnar Engemann
Telefon +49 331 568-1210
+49 331 568-1202
Fax +49 331 568-3000
gunnar.engemann@iap.fraunhofer.de

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

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

Kooperation Collaboration

Lea Artibai Ikastetxea, Markina-Xemein

Literatur Literature

[1] S. S. Ray, M. Bousmina: *Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites*, Progress in Materials Science, 50, 962-1079 (2005)

[2] T. DuPont, L. DuPont: *Bio Products bring renewably sourced materials to the global market*, URL: http://duponttateandlyle.com/fact_06-2007_global.html (2007)

[3] B. Balmer: *PTT - A new alternative for fibres and textiles?*, URL: <http://www.frost.com/prod/servlet/market-insight-top.pag?docid=20573648> (2004)

[4] S. S. Ray, M. Okamoto: *Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing*, Prog. Polym. Sci., 28, 1539-1641 (2003)

Verbesserte Celluloseacetat-Nanokomposite

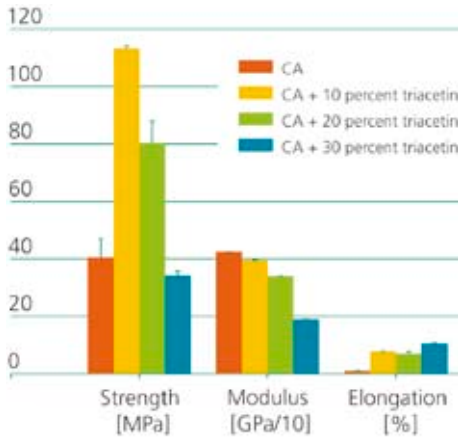


Fig. 1: Effect of triacetin concentration on tensile properties of CA.

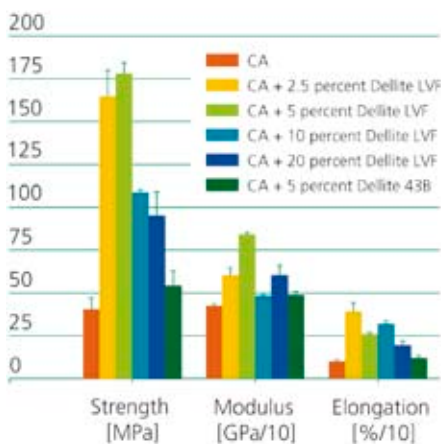


Fig. 2: Effect of different types of MMT on tensile properties of plasticizer-free CA.

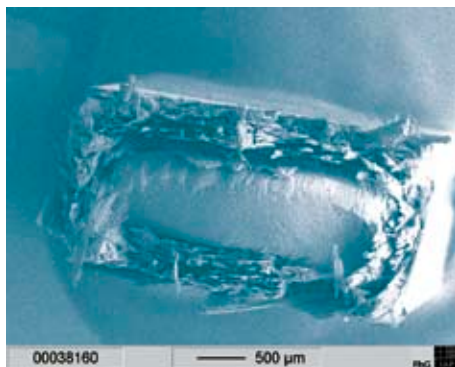


Fig. 3: SEM cryo fracture surfaces of CA with five mass percent nanoclay Dellite LVF showing core/shell morphology.

Da Cellulose aufgrund eines ausgedehnten H-Brückensystems nicht schmelzbar ist, kann sie nur in Form von bestimmten Derivaten wie Celluloseestern thermoplastisch verarbeitet werden. Weiterhin liegen Schmelzpunkt und Verarbeitungstemperatur dicht beieinander, speziell bei dem technisch interessanten Celluloseacetat (CA). Zur Unterstützung der Verarbeitung werden Weichmacher eingesetzt, wodurch das Verarbeitungsfenster vergrößert wird.

Seit einiger Zeit hat die Verstärkung thermoplastischer Materialien mit nanoskaligen Schichtsilikaten (nanoclay) große Aufmerksamkeit gefunden als eine Möglichkeit zur Verbesserung der mechanischen, thermo-mechanischen und Barriere-Eigenschaften unter Verwendung einer nur geringen Füllstoffmenge. Auch für CA wurden solche Versuche durchgeführt, allerdings mit mäßigem Erfolg [1].

In unseren Untersuchungen werden die Effekte der Zugabe eines gebräuchlichen Weichmachers (Glycerintriacetat) und kommerziell verfügbarer nanoclays (Laviosa S.p.A., Italien, unmodifiziert und organisch-modifiziert) auf die mechanischen Eigenschaften von Kompositen betrachtet. Weichmacherfreie Systeme werden einbezogen und zeigen bemerkenswerte Eigenschaften. CA wurde in Pulverform mit einem Substitutionsgrad von 2,6 (best. mit NMR) eingesetzt. Im 100 Gramm-Maßstab wurden bis zu 30 Prozent Weichmacher und bis zu 20 Prozent nanoclay zugegeben. Die Extrusion erfolgte mit einem Haake mini-lab Doppelschneckenextruder. Spritzgossene Prüfstäbe wurden zur Bestimmung von Zugfestigkeit, Modul und Bruchdehnung verwendet, entsprechend ISO 527-1 bei 23 °C und 50 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit.

Weichgemachtes CA

Die Ergebnisse der mechanischen Prüfungen von weichgemachtem CA sind in Fig. 1 als Funktion des Weichmachergehaltes dargestellt. Die Weichmacherzugabe erleichtert nicht nur die Verarbeitung des CA, sondern verbessert auch Zugfestigkeit und Dehnung, speziell bei Zugabe von zehn Masseprozent. Bei höheren Anteilen nehmen Festigkeit und Modul wie erwartet ab, aber die Transparenz des Materials nimmt zu.

Nanokomposite aus CA

Komposite mit Weichmachern und nanoclays verhalten sich ähnlich wie in [1] beschrieben. Jedoch wird die Verarbeitung von CA durch die alleinige Verwendung von nanoclays ohne Weichmachern erleichtert. Die mechanischen Eigenschaften solcher Komposite sind in Fig. 2 dargestellt. Mit unmodifiziertem clay (Dellite LVF) werden außergewöhnliche mechanische Eigenschaften ermittelt, insbesondere bei einer clay-Konzentration von etwa fünf Prozent [2]. Verglichen mit extrudiertem CA ohne Füllstoff steigen Zugfestigkeit und Modul um 335 Prozent bzw. 100 Prozent und erreichen Werte von 178 MPa bzw. 8,4 GPa. Diese mechanischen Eigenschaften sind verbunden mit einer typischen Kern/Schale-Struktur wobei die Schale eine hochorientierte fibrillare Morphologie aufweist (Fig. 3). Die hohe molekulare Orientierung in dieser Struktur ist wahrscheinlich der Grund für die ungewöhnlich hohen mechanischen Eigenschaften. TEM-Untersuchungen zeigen, dass es keine Exfolierung in den unmodifizierten clay-Systemen gibt. Der gewöhnliche Verstärkungsmechanismus für nanoclays kann also nicht der Grund für das beobachtete Verhalten sein.

Improved Cellulose acetate nanocomposites

Cellulose can only be thermoplastically processed in the form of certain derivatives, in particular cellulose esters, as it cannot be melted due to an extended hydrogen bonding system. Furthermore, the melting point and decomposition temperature are quite similar, especially for cellulose acetate (CA) which is technically of interest. To facilitate thermoplastic processing, extensive use is made of external plasticizers and the processing window is thus enlarged.

For some time by now, the reinforcement of thermoplastics with nano-scaled layered silicates (nanoclay) has attracted much attention as a means of improving mechanical, thermo-mechanical and barrier properties using minor amounts of filler. Such attempts have also been made for CA [1] with moderate success.

In the present investigation, the effects on the mechanical properties of the composite materials by adding a customary plasticizer, i.e. glycerol triacetate (triacetin) and commercially available nanoclays (Laviosa S.p.A., Italy, both unmodified and organo-modified) were studied. Plasticizer-free systems were included and demonstrate remarkable properties. CA, with a degree of substitution of 2,6 (NMR results), was used in powder form. Up to 30 weight percent plasticizer and up to 20 percent nanoclay were added on a 100 gram scale. Extrusion was performed using a Haake mini-lab twin-screw extruder (Haake Co. Germany). Injection molded dog bone-shaped bars (Haake mini-jet) were tested for tensile strength, modulus and elongation at break according to ISO 527-1, specimen type 5A, at 23 °C and 50 percent relative humidity

Plasticized CA

The results of the mechanical testing on plasticized CA as a function of plasticizer content are presented in Fig. 1. Adding plasticizer to the CA not only eases the processing of CA, but also improves the tensile strength and elongation especially at the ten mass percent level. With higher percentages of plasticizer, tensile strength and modulus decrease as expected, but transparency increases.

Nanocomposites of CA

Similar results to ref. [1] are found in composites with plasticizers and nanoclays. However, in the absence of plasticizers, the processing of CA is facilitated by the mere use of nanoclays. The tensile properties of such composites are shown in Fig. 2. Unexpectedly, organo-modified clay (Dellite 43B) does not appreciably improve the properties. However, with unmodified clay (Dellite LVF), in particular at concentrations of about five percent, exceptional mechanical properties are found [2]. Tensile strength and modulus increase by 335 percent and 100 percent and reach 178 MPa and 8.4 GPa, respectively compared to extruded CA without filler. These superior mechanical properties are accompanied by a typical core/shell structure displaying a highly oriented fibrillar morphology in the shell part (Fig. 3). The high molecular orientation in this kind of structure is likely to be the reason for the unusually high mechanical properties. As shown by transmission electron microscopy not reported here, there is no exfoliation in the unmodified clay systems. Thus the usual reinforcement mechanism for nanoclays cannot be the reason for the observed behavior.

Kontakt Contact



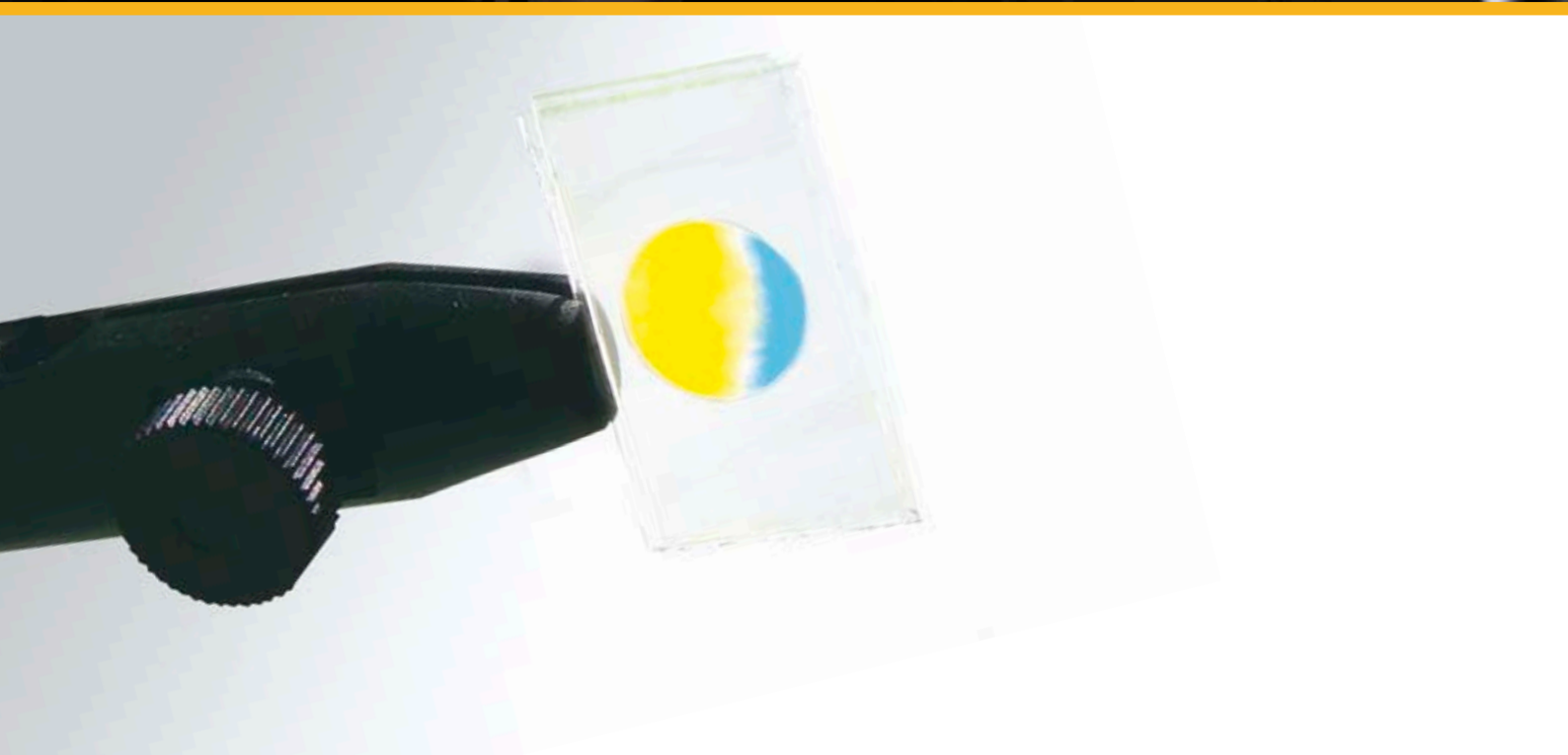
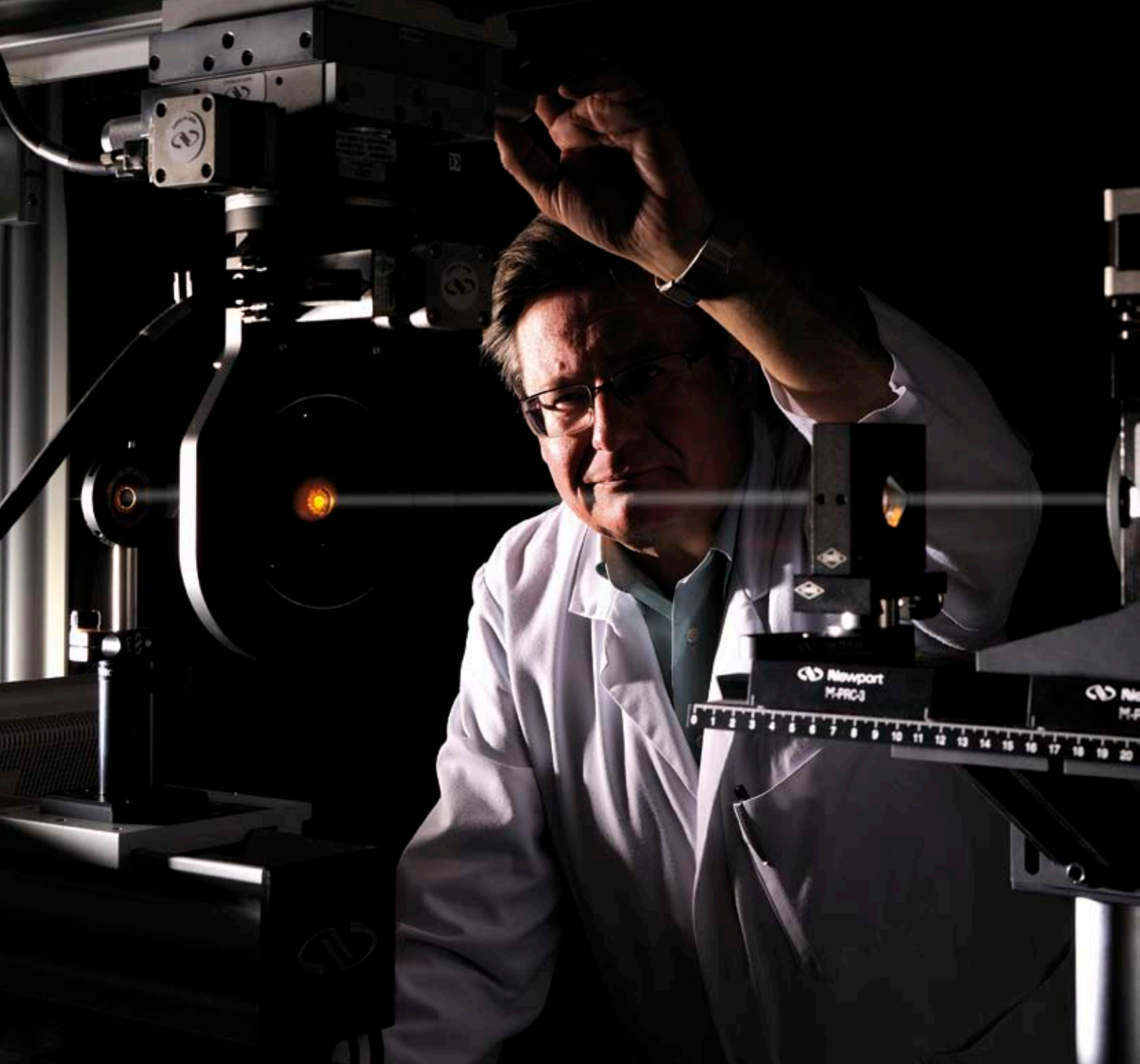
Dr. Johannes Ganster
Telefon +49 331 568-1706
Fax +49 331 568-2565
johannes.ganster@iap.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Mehdi Hassan Nejad
Telefon +49 331 568-1252
Fax +49 331 568-3000
mehdi.hassan-nejad@iap.fraunhofer.de

Literatur Literature

[1] H. M. Park, M. Misra, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, *Biomacromolecules*, 5 (6), pp. 2281-2288, (2004)

[2] M. Hassan-Nejad, J. Ganster: *Thermoplastische Formmasse und Formteile, Verfahren zu deren Herstellung und deren Verwendung*, DE 10 2008 028 544, (2008)



Funktionale Polymersysteme

Functional polymer systems

Funktionalisierte Materialien – Schlüssel für Sicherheitstechnologien
Functional materials – the key to security technologies

Anwendungen und Dienstleistungen
Applications and services

Fluoreszenzkollektoren für die Gewinnung von Solarenergie
Luminescent concentrators for solar energy harvesting

Phosphoreszente Multischicht-PLEDs aus vernetzbaren lösungsprozessierbaren Copolymeren
Phosphorescent multilayer PLEDs from cross-linkable co-polymers that are solution processable

Inverse Thermochromie - Neue Materialien für Wärmesensoren
Inverse thermochromism – New materials for heat detectors

Wo sich Proteine wohl fühlen
A place where proteins like to stay

Organisch-anorganische Nanokomposite für holographische Elemente
Organic-inorganic nanocomposites for holographic elements

Anisotrope Filme aus fluoreszierenden Flüssigkristallen
Anisotropic films made from fluorescent liquid crystals

*Oben: Priv.-Doz. Dr. habil. Joachim Stumpe – Optische Charakterisierung holographischer Volumentransmissionsgitter mit dem Spektralgoniometer.
Top: Priv.-Doz. Dr. habil. Joachim Stumpe – Optical characterization of holographic volume transmission gratings using the spectral goniometer setup.*

*Unten: Volumentransmissionsgitter im Komposit mit TiO₂ Nanopartikeln.
Bottom: Volume transmission grating in the composite with TiO₂ nanoparticles.*

Funktionalisierte Materialien – Schlüssel für Sicherheitstechnologien

Der Schutz von Identitäten sowie verlässliche Verfahren zur Identifizierung und Authentifizierung von Personen, Waren und geistigem Eigentum sind wesentliche Grundvoraussetzungen für die Handlungsfähigkeit einer global vernetzten Gesellschaft. Neue Technologien für eine sichere Identität ermöglichen mit der Entwicklung von innovativen Produkten und Anwendungen einen deutlichen Sicherheitsgewinn. Dazu schlossen sich fünf Fraunhofer-Institute, fünf Hochschulen und zwölf Wirtschaftsunternehmen in der Region Berlin-Brandenburg zu einem Innovationscluster zusammen. Ziel der gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es, Technologien, Verfahren und Produkte anzubieten, die den eindeutigen Nachweis der Identität von Personen, Objekten und geistigem Eigentum in der realen und der virtuellen Welt ermöglichen. Mit der Entwicklung von innovativen Sicherheitsmerkmalen und deren Integration in Dokumente (z. B. in den Personalausweis) ist man in der Lage, neue Funktionalitäten in einer polymerbasierten Chipkarte (Smartcard) zu nutzen. Dazu werden flexible Symbolanzeigen auf Basis von organischen Leuchtdioden (OLEDs) entwickelt, die mit speziellen Technologien gefertigt werden und die Selbstidentifikation des Dokuments zulassen. Diese Arbeiten werden in einem gemeinsam aufgebauten Labor (SecurityLab) mit der Bundesdruckerei GmbH im Fraunhofer IAP durchgeführt. Diese Aktivitäten basieren auf der langfristigen Entwicklung isolierender, halbleitender, optischer und photosensitiver Polymere, einschließlich der Optimierung und den darauf abgestimmten Verarbeitungs- und Strukturierungstechnologien zur Entwicklung von elektrischer und optischer Funktionselementen.

Die organische Leuchtdiode (OLED)

Die Basistechnologien für die Herstellung von OLEDs sind weitestgehend bekannt. Die Herausforderungen bestehen aber in der geometrischen Strukturierung der OLEDs, in der Erhöhung der Effizienz, der Leuchtstärke und der Verlängerung der Lebensdauer in einer Smartcard-Anwendung. Die Strukturierung wird über photolithographische Schritte in der Schichtenfolge oder durch eine strukturierte Abscheidung der Materialien in Kombination mit strukturierten Elektroden erreicht. Gegenwärtig werden weltweit verschiedene Druckverfahren zur Herstellung von OLEDs auf Basis von Polymeren evaluiert oder sind bereits in Pilot- und Fertigungsanlagen integriert worden. Während sich Verfahren wie der Sieb- und Gravurdruck für diese Anwendung noch im Entwicklungsstadium befinden, ist die Entwicklung im Bereich des Ink-Jet-Drucks schon weiter fortgeschritten.

Die OLEDs sind dünn, sehr leicht, energie- und kostensparend. OLEDs erlauben zudem einen größeren Blickwinkel, zeigen ein helles Bild und können gedruckt werden. Die Kombination von OLEDs mit polymerelektronischen Bauelementen könnte vollständig flexible Displays ermöglichen. OLEDs können aber auch mit anderen Funktionselementen wie Folientastaturen kombiniert werden. Diese neuen OLED-Tastaturen bestehen aus zwei übereinander liegenden Schichtebenen – einer Ebene, die das flache OLED Element aufnimmt und einer, die die Tastaturfunktionalität realisiert. Diese neuen Anwendungen erfordern vollkommen neue technologische Schritte, zu denen die Entwicklung des Layouts der Anzeigen oder Leuchtflächen, der Aufbau der Schichtenfolge und eine effektive Verkapselung der Bauelemente gehören.

Der organische Feldeffekttransistor (OFET)

Der Feldeffekttransistor ist ein Grundbauelement der Elektronik. OFETs sind Bauelemente, die als Halbleiter ein organisches Material nutzen. Zu den einfachen elektronischen Schaltungen zählen Logikschaltungen, Oszillatoren und Verstärkerschaltungen. Zu den Entwicklungsaufgaben gehören die Entwicklung spezifisch aufeinander abgestimmter organischer Materialsysteme, die aus einem organischen Halbleiter und einem polymeren Dielektrikum bestehen. Weitere Anforderungen sind die Verarbeitbarkeit aus der Lösung an Luft und die Verbesserung der Performance auf flexiblen Trägern. Dazu ist es unbedingt erforderlich, einen großen Teil der Entwicklungsarbeiten in die Wechselwirkung zwischen organischen Halbleitern und organischen Dielektrika aufzuwenden. Der organische Halbleiter und das organische Dielektrikum müssen daher gemeinsam als System betrachtet und entwickelt werden. Durch die Entwicklung und Umsetzung neuer Synthesekonzepte von konjugierten halbleitenden Polymeren konnten OFETs mit hohen Ladungsträgermobilitäten aufgebaut werden.

Die Thermochromie

Auch Farben können als Sicherheitsmerkmal genutzt werden. Erfahrungsgemäß ist die Farbe eines Materials unabhängig von dessen Temperatur. Nur wenige, sogenannte thermochrome Materialien, zeigen kontinuierliche oder sprunghafte Farbwechsel infolge von Temperaturänderungen. Diese können sowohl reversibel als auch irreversibel erfolgen und erschließen neue Anwendungen auch in der Sicherheitstechnik. Bei thermochromen Polymerwerkstoffen lassen sich temperaturgesteuert sowohl die Farbintensität

täten schalten als auch zielgerichtet Farben steuern. Demzufolge können thermochrome Schalteffekte zwischen zwei Signalfarben (blau-rot oder gelb-schwarz) oder auch stufengeschalte Effekte (farblos-rot-gelb-grün) in einem vorgegebenen Temperaturprofil ermöglicht werden. Zu den Schwerpunkten der Entwicklungsarbeiten gehören z. B. farbselektive Thermochromie in Duromeren, Thermoplasten, Lacken einschließlich Gießharzsystemen und hochtransparenten Hydrogelen.

Das optische Sicherheitselement

Flüssigkristalle haben in Form der LCDs die Informationstechnologie revolutioniert. Neben dem Flüssigkristall haben strukturierte Farbfilter und anisotrope Funktionsschichten, wie Orientierungsschichten, Polarisatoren, Retarder oder Diffuser, diese bahnbrechende Entwicklung möglich gemacht. Neben der Materialentwicklung selbst kommt der darauf abgestimmten Entwicklung polymertypischer Verarbeitungs- und Strukturierungstechnologien, d. h. neuartigen Filmpräparationstechniken, Orientierungsverfahren, dem permanenten Fixieren supramolekularer oder lichtinduzierter Ordnungszustände und in Perspektive in zunehmenden Maße auch Drucktechniken entscheidende Bedeutung zu. Weiterführende Arbeiten haben neue Anwendungsfelder anisotroper Filme wie doppelbrechende Komponenten mit lichtmodulierenden Eigenschaften oder polarisierter Lichtemission (Linear- und Zirkularpolarisatoren, cholesterische Filme, Kompensationsfilme, Farbfilter) u. a. für die optische Instrumentierung und Displays erschlossen. Neben passiven Elementen werden auch aktive Systeme entwickelt, die durch äußeren Einfluss ihre Eigenschaften reversibel ändern, wie z. B. »smart Windows«, optische Speichermedien oder schaltbare optische Elemente. Auf dieser breiten Basis

unterschiedlicher Materialien und Strukturierungstechnologien werden funktionale Schichtsysteme für neuartige Sicherheitslabel zur Erhöhung der Fälschungssicherheit von Dokumenten und Waren möglich. Mehrstufige komplexe Sicherheitsmerkmale können durch die Kombination anisotroper, holographischer, Nanotechnologie basierter, thermochromer oder photochromer Eigenschaften erhalten werden. Die Arbeiten zur Synthese neuer Materialien konzentrieren sich auf thermotrope und diskotische Flüssigkristalle, glasbildende und vernetzbare Mesogene, lyotrope Systeme und lichtemittierende Flüssigkristalle. Im Mittelpunkt der Arbeiten stehen die Synthese dieser Materialien mit Hilfe effizienter mehrstufiger Synthesesequenzen sowie die Analyse der flüssigkristallinen Eigenschaften.

Der Sensor

Neben den halbleitenden Polymermaterialien gibt es aber auch Materialien, die ihre Ladungen über eine lange Zeit speichern können. Besonders geeignet dafür sind Polyvinylidenfluorid-, Polytetrafluorethylen und poröses Polypropylen. In diesen Materialien lassen sich elektrische Polarisierungen erzeugen oder auch Ladungen im Volumen und an den Oberflächen stabil speichern. Die dazu notwendige elektrische Aufladung der Polymerfolien wird durch das Anlegen von hohen Spannungen an einer Spitzenelektrode erreicht, welche bei einer Coronaentladung erzeugt wird. Die so behandelten Polymerfolien zeigen dann starke piezo- und pyroelektrische Effekte. Als Elektretmaterialien stehen ferroelektrische Fluorpolymere und poröse Polytetrafluorethylen- sowie Polypropylenfolien zur Verfügung, die sich durch eine starke Piezoelektrizität und hohe Ladungsstabilität auszeichnen. Neben ihren Anwendungen in der Medizin können

Elektrete auch als Drucksensoren und Schallwandler sowie als Filtermaterialien mit erhöhter Effizienz genutzt werden. Weiterhin werden Multielement-Wandler beliebiger Geometrien für Anwendungen in der Medizin, Luft- und Raumfahrt sowie Informationstechnik als applikationsspezifische Sensoren entwickelt.

Die Oberfläche

Das Anpassen der Oberflächeneigenschaften von Polymeren eröffnet den polymeren Materialien viele neue Einsatzbereiche. Die Aktivierung (= Oxidation) der Oberflächen macht es möglich, Polyethylenfolien zu bedrucken (Einkaufstüten), Polypropylen zu kleben (Chipkarten) und Polymeroberflächen zu lackieren. Die chemische Zusammensetzung einer nur wenige Nanometer dicken Oberflächenschicht ist für diese Eigenschaften verantwortlich. Nanoskalige Funktionsschichten sind dreidimensionale Wirtsstrukturen für Proteine in der biologischen und medizinischen Diagnostik. Sie wirken als Diffusionsbarriere, sind effiziente antimikrobielle Ausrüstung oder robuster Träger weiterer Funktionen auf nahezu beliebigen Materialien. Mikrometer dicke Funktionsschichten schalten ihre Eigenschaften unter Einfluss von Licht. Mikrostrukturierte Oberflächen können vielfältige optische und mechanische Funktionen ausüben. Die Technologieentwicklung auf diesem Gebiet wird durch eine leistungsfähige Analytik von Oberflächen und Dünnschichten unterstützt.

Functional materials – the key to security technologies

Protecting identities and reliable methods for identifying and authenticating people, goods and intellectual property are basic conditions for the survival of globally linked societies. New technologies for secure identification, which are then developed into innovative products and applications, contribute significantly to increased safety and security. Five Fraunhofer Institutes, five universities and twelve companies have founded an innovation cluster in the capital region of Berlin-Brandenburg. The goal of the cooperative research and development work is to provide technologies, methods and products, which permit the identities of people, objects and intellectual property in the real and virtual world to be confirmed. The development of innovative security features and their integration into documents (e.g. personal identification cards) leads to new additional functionalities such as a polymer-based smart card. Here flexible symbol displays based on organic light emitting diodes are being developed by special techniques which facilitate self identification of the document. This work is being performed in a specially equipped Security Lab set up jointly with Bundesdruckerei GmbH in the Fraunhofer IAP. These activities are based on a long-term development of insulating, semi-conducting, optical and photosensitive organic materials including the optimization of the preparation and structuring of the electrical and optical functional elements.

The organic light-emitting diode (OLED)

The basic technologies for the production of organic light-emitting diodes (OLEDs) are well known. Specific applications present challenges such as the geometric structuring of the OLEDs, increasing their efficiency and intensity, and prolonging their service life in smartcard applications. The structuring is performed by means of photolithographic steps in a series of deposits or by structured deposition of the materials in combination with structured electrodes. Various printing processes for OLED production based on polymers are currently being evaluated world-wide and have already been integrated into pilot or industrial plants. While processes like screen and gravure printing for such applications are still under development, ink-jet printing has already reached an advanced stage of development.

OLEDs are very thin and very light, which saves on energy and costs. OLEDs provide a larger angle of view, show a brighter image and can be printed. By combining OLEDs with polymer-electronic components, there is the possibility of building completely flexible displays. OLEDs can also be combined with other functional elements such as foil keyboards. These new OLED keyboards consist of two superimposed layers. One contains the flat OLED element, while the other ensures the functionality of the keyboard. These new applications require completely new technological steps, including development of the layout of the display or illuminated area, the architecture of the series of deposits, and the effective encapsulation of the components.

The organic field effect transistor (OFET)

Field effect transistors are basic electronic components. OFETs are components that use semiconducting organic materials. Simple electronic circuits are able to perform logic switching and act as oscillators and amplifiers. The basic development work lies in the compatible material systems that consist of an organic semiconductor and a polymer dielectric. The components must be developed together, and are dependent upon the basic setup of the OFET. Further requirements are that the system must be prepared under normal conditions and the improvement of the performance of OFETs on flexible substrates. Thanks to the successful development and realization of new synthesis concepts using conjugated, semi-conducting polymers, it was possible to develop OFETs with high charge carrier mobilities.

Thermochromic materials

Colors can also be used as security features. In general, the color of a material is not dependent on the temperature. However, a few materials, which are termed thermochromic, modify their color in response to temperature changes. These thermochromic materials, which change their optical behavior reversibly or irreversibly based on temperature, are needed for new applications in solar technology. These polymer materials make it possible, through temperature control, not only to change their color intensity but also to switch between pre-determined colors as required. Consequently, thermochromic switching effects between two signal colors (blue-red or yellow-black) or stepped switching effects colorless-red-yellow-green) are possible within a specified temperature range. Current development work

focuses on color-selective thermochromism in thermosets, thermoplastics, and coatings, including casting resin systems and highly transparent hydrogels.

Optical security element

Liquid crystals in liquid crystal displays (LCD) have revolutionized the information technology. Optical functional elements for LCDs, such as polarizers, color filters, diffusers, retarders and aligning layers are being developed with the aid of anisotropic optical functional layers. Polymer materials with photosensitive properties are required as optical functional layers in LCDs. The specially functionalized polymers, polymer composites and photocrosslinkable liquid crystal mixtures can be readily processed, allowing the preparation of films with different optical functionalities. Beside the materials development the technological steps are film and device preparation by spin-coating, printing techniques, anisotropic orientation of the films, permanently fixing the orientation in the glass state and/or photocrosslinking. Diffractive optical elements are used for light management in LCD backlight systems, security features and sensors. For example, new components for telecommunications and security can be produced with holographic volume gratings. These can be used to build beam splitters, optical waveguides, coupling/decoupling and security elements. Optical security features to increase anti-forgery protection in documents are also being developed using functional layers and layer systems. Other fields of application include birefringent film components with light-modulating properties and polarized light emission (linear and circular polarizers, cholesteric films, compensation films, color filters), etc. for optical instrumentation and dis-

plays. New thermotropic liquid crystals are being developed for anisotropically structured, ultra-thin films with complex optical properties. We are concentrating our activities on thermotropic and discotic liquid crystals, glass-forming and crosslinkable mesogens, lyotropic systems and light-emitting liquid crystals. The core of this work involves the development of efficient, multi-stage synthesis sequences (with the idea of scaling up to an industrial-production level in collaboration with suitable industrial partners) and the analysis of liquid crystalline properties. The new liquid crystals are processed into thin (nanostructured) anisotropic films.

Sensor

Beside the semiconducting materials, there are materials that can store charges over a long time period. By electric charging and polarization of polyvinylidene fluoride, polytetrafluoroethylene and porous polypropylene films, electrical polarization can be produced in these materials or monocharges can be stably stored within their volume and surfaces. Electric charging of polymer films is carried out by applying high voltages to a tip electrode to initiate a corona discharge, which produces electric charges and electrically charges the film. These electrically treated polymer films have strong piezo and pyroelectric effects and stable electrical potentials. Ferroelectric fluoropolymers and porous polytetrafluoroethylene and polypropylene films are available as electrets. These materials are characterized by strong piezoelectricity and high charge stability. In addition to their use as pressure sensors and acoustic transducers, electrets can be employed as filter materials with enhanced efficiency. In addition, multi-element transducers of any required geometry are being devel-

oped for medical and aerospace applications and for information technology as application-specific sensors.

Surface

Modifying the surface properties of polymers opens up many new applications for polymer materials. Surface activation (= oxidation) makes it possible to print on polyethylene films (plastic bags), bond on polypropylene (chip cards) and paint polymer surfaces. The chemical composition of a surface layer only a few nanometers thick is responsible for these properties. Nanoscale functional layers host proteins for biological and medical diagnostics devices. They act as diffusion barriers, prevent the settlement of microbes and are robust carriers of other functions on virtually any material. Micron-thick functional layers can change their properties under the influence of light. Microstructured surfaces can perform many different optical and mechanical functions. To support process development in this field, a wide spectrum of sophisticated techniques is available for the characterization of surfaces and thin films.

Anwendungen und Dienstleistungen

Materialien – Synthese und Verarbeitung von

- halbleitenden Polymeren
- elektrolumineszierenden Polymeren
- photolumineszierenden Polymeren
- photochromen Polymeren
- piezoelektrischen Polymeren
- flüssigkristallinen Polymeren
- thermochromen und elektrochromen Polymeren
- polymeren Nanocompositen
- holographische Materialien

Funktionselemente

- anisotrope Schichten
- optische Datenspeicher
- Orientierungsschichten für Flüssigkristalle
- holographisch erzeugte Oberflächenreliefgitter
- Laserstäbe für die Messtechnik
- spektrale Lichtwandler zum Nachweis von UV-Licht
- Lichtsender und -empfänger
- polymere Elektrete für Wandler und Ladungsspeicher
- Barrierschichten für flexible Displays
- holographische Volumenelemente

Bauelemente

- polymere Leuchtdioden (PLED)
- Signage-Displays
- Passiv-Matrix-Displays
- Flüssigkristall-Displays
- Organische Feldeffekttransistoren (OFET)
- polymere Dioden
- einfache polymere elektronische Schaltungen
- piezoelektrische Sensoren
- pyroelektrische Sensoren

Oberflächentechnik

- Kopplung von biologisch aktiven Substanzen auf polymeren Oberflächen
- hydrophile oder hydrophobe Oberflächen
- klebstofffreies Verbinden
- Ultrabarrieren
- funktionale Beschichtungen
- Oberflächen- und Dünnschichtanalytik

Weitere Beispiele

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

Applications and services

Materials – synthesis and processing of

- semiconducting polymers
- electroluminescent polymers
- photoluminescent polymers
- photochromic polymers
- piezoelectric polymers
- liquid crystalline polymers
- thermochromic and electrochromic polymers
- polymer nanocomposites

Functional elements

- anisotropic layers
- layers for optical data storage
- photo alignment of layers
- holographically produced surface relief gratings
- laser rods for spectral measurements
- spectral light converter for the detection of UV-light
- light senders and receivers
- polymer electrets for charge storage
- barrier layers for flexible displays

Components

- polymer light-emitting diodes (PLED)
- signage displays
- passive matrix displays
- liquid crystal displays
- field effect and bipolar transistors
- polymer diodes
- simple polymer electronic circuits
- piezoelectric sensors
- pyroelectric sensors

Surface technology

- coupling of biologically active substances to polymer surfaces
- hydrophilic or hydrophobic surfaces
- adhesive-free bonding
- ultrabarrriers
- functional coatings
- surface and thin-film analysis

More examples

- biocidal surfaces for films and textiles
- water-repellent textiles
- preparation of textiles for dyeing
- photobiocidal coatings for pest management
- fluorescent layers for sensor technology
- characterization of chemical structure, topography and macroscopic properties
- ink-jet printing of OLEDs

Kontakt Contact



Forschungsbereichsleiter
Division director

Funktionale Polymersysteme Functional polymer systems

Dr. Armin Wedel
Telefon +49 331 568-1910
Fax +49 331 568-3910
armin.wedel@iap.fraunhofer.de

Funktionsmaterialien und Bauelemente Functional Materials and Devices

Dr. Armin Wedel
Telefon +49 331 568-1910
Fax +49 331 568-3910
armin.wedel@iap.fraunhofer.de

Polymere und Elektronik Polymers and electronics

Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz
Telefon +49 331 568-1208
Fax +49 331 568-3910
silvia.janietz@iap.fraunhofer.de

Chromogene Polymere Chromogenic polymers

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

Oberflächen Surfaces

Dr. Andreas Holländer
Telefon +49 331 568-1404
Fax +49 331 568-2504
andreas.hollaender@iap.fraunhofer.de

Polymerphotochemie

Polymer photo chemistry
Priv.-Doz. Dr. habil. Joachim Stumpe
Telefon +49 331 568-1259
Fax +49 331 568-3259
joachim.stumpe@iap.fraunhofer.de

Optische Funktionsmaterialien Optical functional materials

Priv.-Doz. Dr. habil. Dietmar Janietz
Telefon +49 331 568-1150
Fax +49 331 568-3910
dietmar.janietz@iap.fraunhofer.de

Fluoreszenzkollektoren für die Gewinnung von Solarenergie

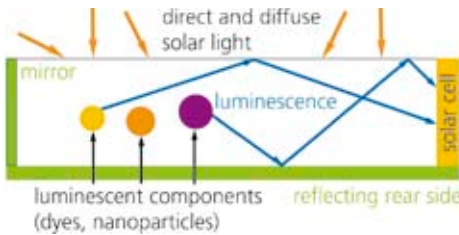


Fig. 1: Basic operation of the luminescent solar concentrator.

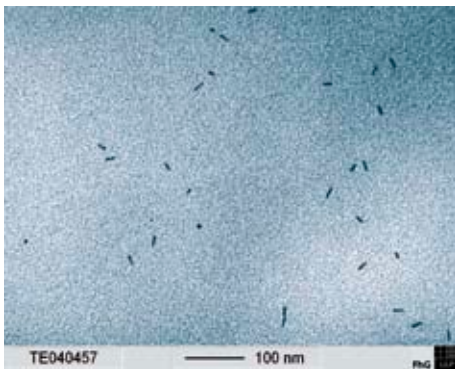


Fig. 2: Nanorods (length 10 - 20 nm, thickness circa 4 nm) in a luminescence collector. TEM image of a cryo-sectioned concentrator plate. (Dr. M. Pinnow, M. Schlawne)

Die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien wie der Sonnenenergie erlangt wegen der begrenzten Vorräte und des global inhomogenen Vorkommens fossiler Energieträger sowie der drängender werdenden Klimaproblematik zunehmende Bedeutung. Im Rahmen eines integrierten Forschungsprojekts der Europäischen Union mit dem Titel »Fullspectrum - A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum« wurden über fünf Jahre von insgesamt 19 Partnern Möglichkeiten zur effektiveren photovoltaischen Nutzung der Sonnenenergie untersucht. Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung war dabei in ein Teilprojekt eingebunden, das sich mit der Verbesserung von Fluoreszenzkollektoren hinsichtlich ihrer Effizienz und Stabilität befasste.

Ein Fluoreszenzkollektor (Fig.1) besteht aus einer hochtransparenten Platte mit Zusätzen, die Sonnenlicht absorbieren und Fluoreszenzlicht emittieren. Letzteres gelangt durch Totalreflexion zu den Schmalseiten der Platte, wo es durch Solarzellen in elektrische Energie umgewandelt wird. Vorteile von Fluoreszenzkollektoren bestehen einerseits in der Einsparung von Solarzellen bei gleicher Größe der absorbierenden Fläche und andererseits in der Anpassung der spektralen Intensitätsverteilung des Lichts an die Empfindlichkeitsverteilung der Solarzelle. Außerdem wird sowohl das direkt als auch das diffus auffallende Licht genutzt, wodurch aufwendige Nachführungssysteme vermieden werden. Das Fraunhofer IAP war innerhalb des Teilprojekts für die Herstellung der Fluoreszenzkollektoren und einen Teil der optischen Charakterisierung verantwortlich; andere Projektpartner führten weitere Messungen zur optischen und elektrischen Charakterisierung sowie Modellrechnungen durch.

Die Kollektorplatten wurden durch thermische oder UV-Polymerisation der Initiator und fluoreszierende Komponenten enthaltenden Monomeransätze in flachen Glasküvetten mit elastischen Abstandhaltern zwischen den Glaswandungen hergestellt. Das Schwerkgewicht lag dabei wegen der sehr guten optischen Eigenschaften auf Polymeren und Copolymeren auf Acrylatbasis. Die geringsten Streuverluste in der Polymermatrix wurden bei der Polymerisation von frisch destilliertem Methylmethacrylat im Wasserbad erzielt. Als fluoreszierende Komponenten wurden organische Farbstoffe und Nanopartikel (Quantenpunkte, Nano-Rods) getestet. Die stark zur Agglomeration neigenden Nanopartikel konnten in hoher Qualität, d. h. ohne nennenswerte Clusterbildung und mit hoher Transparenz der Matrix in Platten eingebettet werden, die aus Laurylmethacrylat und einem Vernetzer bestehen (Fig. 2). Hierfür erwies sich die UV-Polymerisation als besonders geeignet. Basierend auf Messungen an den im Fraunhofer IAP hergestellten Kollektorplatten, konnten von den Projektpartnern umfangreiche Modellrechnungen zur detaillierten Aufklärung des Einflusses der verschiedenen Herstellungs- und Eigenschaftsparameter auf Effizienz und Kosten von Fluoreszenzkollektoren durchgeführt werden. Messungen der Effizienz an 5 cm x 5 cm großen Kollektorplatten ergaben einen Höchstwert von 7,1 Prozent bei Bestückung mit vier GaAs-Solarzellen. Die Langzeitbewitterung von Platten auf dem Dach des Instituts zeigte für den besten Farbstoff (Lumogen F Rot305, BASF) eine Abnahme der Farbstoffabsorption um nur ca. 4,5 Prozent in 2,5 Jahren (Fig.3).

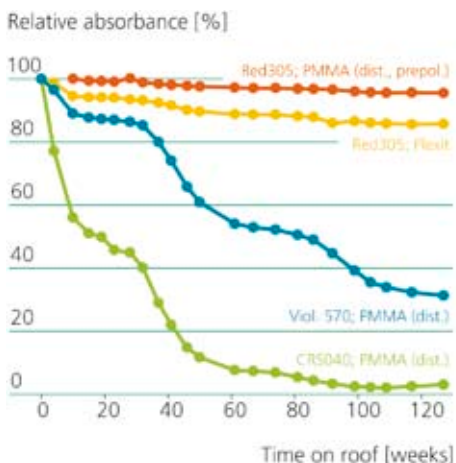


Fig. 3: Decrease of dye absorbance of concentrator plates stored on the roof of the institute.

Luminescent concentrators for solar energy harvesting

The use of renewable energies, such as solar energy, is becoming increasingly important due to limited resources, a globally inhomogeneous distribution of fossil fuels and pressing climate problems. Within the framework of the European Union Integrated Research Project »Fullspectrum - A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum«, 19 partners studied possibilities for a more effective photovoltaic exploitation of solar energy over a period of five years. The Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research was involved in a subproject aimed at improving luminescent concentrators with respect to their efficiency and stability.

A luminescence concentrator (Fig. 1) consists of a highly transparent plate containing components which absorb solar light and emit luminescence light. The luminescence is guided by total reflection to the edges of the plate, where it is transformed into electric energy by solar cells. Basic advantages of luminescence concentrators are a reduced amount of solar cells for the given absorbing area, an improved matching of the spectral distribution of the light to the spectral sensitivity of the solar cell, and the fact that the concentrator collects direct as well as diffuse light thus making intricate tracking systems dispensable. Within this subproject, IAP was responsible for the preparation of the luminescent concentrators as well as for part of the optical characterization. Other project partners performed further optical and electrical measurements as well as comprehensive modeling calculations.

The concentrator plates were prepared by thermal or UV polymerization of monomer mixtures containing initiator and luminescent components. This was performed in flat glass cuvettes with elastic spacers between the glass walls. The focus was on acrylic-based polymers and co-polymers due to their

excellent optical properties. The smallest scattering loss in the polymer matrix was achieved by polymerizing a freshly distilled methyl methacrylate monomer in a water bath. Organic dyes as well as nanoparticles (quantum dots, nanorods) were tested as luminescent components. Despite their strong tendency to form agglomerates, the nanoparticles were successfully incorporated into high-quality plates consisting of lauryl methacrylate plus a cross-linker (i.e. plates without clustering and with high transparency, Fig. 2). UV-polymerization turned out to be particularly suitable for this preparation. Based on measurements made on the plates at the IAP, the project partners could perform comprehensive modeling calculations to find out in more detail how the collectors work and how their properties influence efficiency and costs. Measurements of the efficiency performed using 5 cm x 5 cm large collector plates resulted in a maximum efficiency value of 7.1 percent for a plate with 4 GaAs solar cells attached. Long-term weathering of plates stored on the roof of the Institute revealed a decrease in dye absorbance as small as approx. 4.5 percent for the best dye during two and a half years (Lumogen F Red 305, BASF, Fig. 3).

Kontakt Contact



Dr. Andreas Büchtemann
Telefon +49 331 568-1918
Fax +49 331 568-3910
andreas.buechtemann@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

European Commission sixth framework program Integrated Project FULLSPECTRUM (contract no. SES6-CT-2003-502620)

Kooperation Collaboration

ECN Solar Energy, Petten (Niederlande);
Science, Technology and Society, Copernicus Institute of Sustainable Development and Innovation, Universität Utrecht (Niederlande);
Chemistry of Condensed Matter, Debye Institute for Nanomaterials Science, Universität Utrecht (Niederlande);
Chemical Biology and Organic Chemistry, Debye Institute for Nanomaterials Science, Universität Utrecht (Niederlande);
Department of Physics, Imperial College London;
Solaronix SA, Aubonne (Schweiz);
Focas Institute, School of Physics, Dublin Institute of Technology, Dublin (Irland);
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg;
Joint Research Centre of the European Commission, Institute for Energy, Renewable Energies Unit, Ispra (Italien)

Literatur Literature

- [1] L. H. Sloof, E. E. Bende, A. R. Burgers, T. Budel, M. Pravettoni, R. P. Kenny, E. D. Dunlop, A. Büchtemann: *A luminescent solar concentrator with 7.1 % power conversion efficiency*, phys.stat.sol. (RRL), 2, 257-259, (2008)
- [2] W. G. J. H. M. van Sark, A. Büchtemann et al.: *Luminescent Solar Concentrators - A review of recent results*, Optics Express, 16, No. 26, 21773-21792, (2008)
- [3] R. Kindermann, L. H. Sloof, A. Büchtemann et al.: *Efficiency Enhancement of Solar Cells by Application of a Polymer Coating Containing a Luminescent Dye*, Journal of Solar Energy Engineering, 129, 277-282, (2007)

Phosphoreszente Multischicht-PLEDs aus vernetzbaren lösungsprozessierbaren Copolymeren

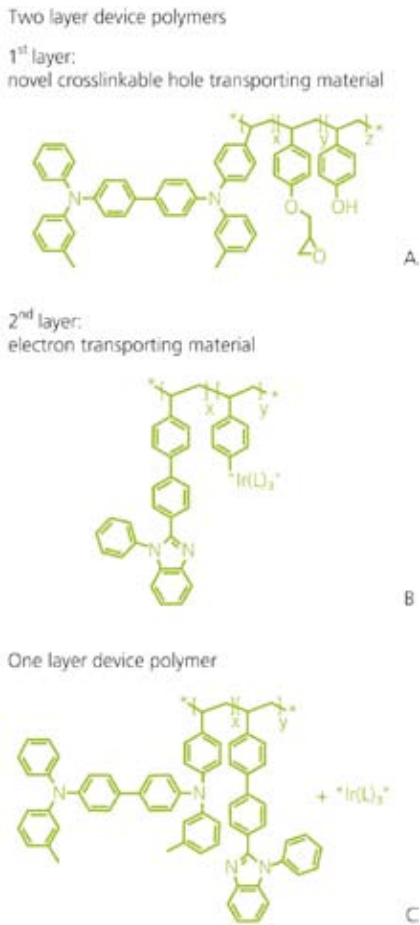


Fig. 1: Studied polymer structures.

Seit Burroughes *et. al* 1990 über eine Leuchtdiode aus organischen Polymeren (PLED) berichteten [1], erfuhren diese Materialien eine rasante Entwicklung. Sie besitzen den Vorteil einer kostengünstigen Prozessierung aus einer Lösung. So sind großflächige Displays oder eine flächige Beleuchtung aus polymeren Emittermaterialien, die lösungsbasiert durch Inkjet- oder Rolle-zu-Rolle-Druckverfahren hergestellt werden können, denkbar.

Die Lichtemission konjugierter Polymere aus dem Singulettzustand von z. B. Polyfluorenen oder Polyphenylvinylenen beruht allein auf Fluoreszenz, deren Spineffizienz auf 25 Prozent begrenzt ist. Manche Übergangsmetallkomplexe – hier vor allem die des Iridium – zeigen so kurze Phosphoreszenzlebensdauern des angeregten Triplettzustandes, dass dieser für die Lichtemission genutzt werden und die Effizienz eines solchen Systems in geeigneten Matrizen bis zu 100 Prozent betragen kann [2].

Phosphoreszente PLED-Systeme bestehen aus Triplettemittern, welche die Aufgabe der Lichtemission übernehmen und Polymeren die Ladungsträgerinjektion und -transport ermöglichen bzw. verbessern.

Bei der konkurrierenden OLED-Technologie aus aufgedampften organischen Schichten aus sogenannten kleinen Molekülen wird eine deutliche Performanceverbesserung erzielt, wenn Transport, Injektion und Emission in separierten Schichten erfolgt. Beim Aufbau von PLEDs ist dieser Multischicht-Ansatz nur dann realisierbar, wenn die zuvor abgeschiedene Polymerschicht beim Aufbringen der Folgeschicht unlöslich ist. Dies ist beispielsweise durch thermische Vernetzung erreichbar [3, 4].

Daher wurden auf Styrol basierte statistische Copolymere aus Ladungstransportmonomeren und mit vernetzbaren Gruppen versehenen Monomeren dargestellt. Als vernetzungsfähige Einheiten bieten sich 4-Glycidyl- und 4-Hydroxystyren an, da hier eine thermische Vernetzung des Polystyrols ohne weitere Initiatoren und Nebenprodukte möglich ist [5].

Es wurden erste Zweischichtsysteme aus einer vernetzten Lochtransporterschicht und einer darüberliegenden Emissionsschicht prozessiert und mit entsprechenden Einschichtsystemen verglichen. Als vernetzbare Lochtransporterschicht wurde ein Copolymer aus den oben genannten vernetzbaren Monomeren und vinylfunktionalisiertem N,N'-Bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidin (TPD) als Lochleitermaterial hergestellt (Fig. 1A).

Die darauffolgende Emissionsschicht bestand aus einem Copolymer aus vinylfunktionalisiertem 2-(4-Biphenyl)-5-(4-tert.-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazol (TBPO) als Elektronentransportmaterial (Fig. 1B) und einem polymerisationsfähigen rot emittierenden Ir-Komplex. Als Vergleich im Einschichtaufbau diente ein Copolymer aus den gleichen Transportmonomeren TPD und TBPO gebildet mit dem roten Emitter (Fig. 1C).

In Fig. 2 werden die präparierten Ein- und Zweischicht-PLEDs verglichen. Dabei wird deutlich, dass Helligkeit und Effizienz des Zweischichtsystems doppelt so hoch sind wie die des Einschichtsystems. Dagegen nimmt die mittlere Lebensdauer um etwa die Hälfte ab (Fig. 3).

Zukünftige Untersuchungen bezüglich einer Variation der Schichtdicken im Zweischichtaufbau sollen auch zu einem deutlichen Anstieg der Lebensdauer des Systems führen.

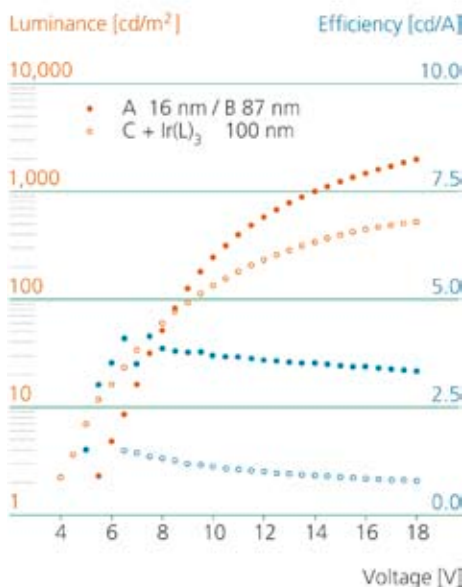


Fig. 2: Efficiencies and luminances of the single layer (open circle) and double layer systems (filled circle).

Phosphorescent multilayer PLEDs from cross-linkable co-polymers that are solution processable

Since Burroughes et. al reported the discovery of a first polymer light emitting diode (PLED) in 1990 [1], these materials have become more and more attractive thanks to their cost efficiency and ease with which they can be processed from a solution. Now large area displays and plane lighting from light emitting polymers, which can be produced solution-based by ink-jet or roll-to-roll processes are conceivable.

Light emission of conjugated polymers from a singlet state of polyfluorenes or polyphenylvinylenes, generated only by fluorescence, for example, is restricted by spin statistics by an efficiency of up to 25 percent. Some transition metal complexes like iridium complexes reveal very short triplet lifetimes in the excited state, so that they could be used for light emission. The efficiency of such a system in suitable matrices amounts to up to 100 percent [2].

Phosphorescent PLED systems consist of triplet emitters which take on the task of emitting light, and organic polymers, which enable and improve charge carrier injection and transport.

Rival OLED technology based on evaporated organic layers of so called small molecules results in a considerable increase in performance, when charge carrier transport, injection and emission properties are put in separated layers. When assembling the PLEDs, this multilayer approach is only possible if the previously applied polymer layer becomes insoluble before applying the following layer. This could be possible through thermal cross-linking reactions for example [3, 4].

Therefore styrene based statistical copolymers were synthesized as electron and hole transporting materials and monomers were functionalized with a cross-linkable moiety. 4-glycidioxy- and 4-hydroxy-groups were selected as additional comonomers which can be

submitted by thermal cross-linking without the need of any initiator and without the generation of any by-products.[5].

To do this, initial double layer systems were made of a cross-linked hole transporting polymer with an emission layer on top. This was then compared with corresponding single-layer systems. A copolymer from the above-mentioned cross-linkable monomers and vinyl functionalized *N,N'*-Bis(3-methylphenyl)-*N,N'*-diphenylbenzidine (TPD) as the hole transporting material, was produced for the cross-linkable hole transporting layer (Fig. 1a).

The subsequent emission layer consists of a copolymer made of vinyl-2-(4-Biphenyl)-5-(4-tetr.-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole (TBPO) as an electron transporting material (Fig. 1b) and vinyl-substituted Ir-complex co-monomer showing a red triplet emission. For comparison, a single layer system was prepared using a statistical copolymer containing the same transport materials of TPD and TBPO blended with the red emitter (Fig. 1c).

Fig. 2 compares the single and double layer PLEDs. It reveals that the luminance as well as the efficiency of the novel double layer system is twice that of the single layer system, however the average lifetime is shortened by half (Fig. 3).

Further investigations and variations of the layer thicknesses of the double layer system will attempt to considerably increase the lifetime of the system.

Kontakt Contact



Dipl.-Ing. (FH) Manuel W. Thesen
 Telefon +49 331 568-1332
 Fax +49 331 568-3910
 manuel.thesen@iap.fraunhofer.de

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

Förderung Funding
 BMBF Projekt 01 BK 919
 BMBF Projekt 01 BD 0685 (CARO)

Kooperation Collaboration
 Dr. H.-H. Johannes, Technische Universität Braunschweig, Institut für Hochfrequenztechnik, Braunschweig

Literatur Literature
 [1] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns and A. B. Holmes, *Nature*, 347, 539-541, (1990)
 [2] B. Tong, Q. Mei, Sh. Wang, Y. Fang, Y. Meng, B. Wang, *J. Mater. Chem.*, 18, 1636-1639, (2008)
 [3] J. P. Chen, G. Klaerner, J.-I. Lee, D. Markiewicz, V. Y. Lee, R. D. Miller, J. C. Scott, *Synth. Met.*, 107, 129-135, (1999)
 [4] Y.-J. Cheng, M. S. Liu, Y. Zhang, Y. Niu, F. Huang, J.-W. Ka, H.-L. Yip, Y. Tian and A. K.-Y. Jen, *Chem. Mater.*, 20, 413-422, (2008)
 [5] H. Krüger, S. Janietz, M. Thesen, A. Wedel, *AZ 10 2007 044 872.6*

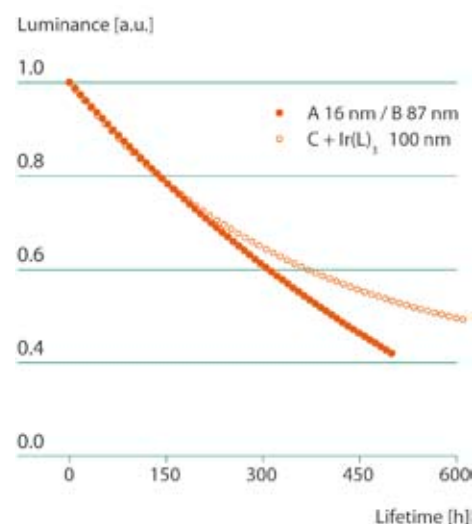


Fig. 3: Lifetime of the single layer and double layer systems.

Inverse Thermochromie – Neue Materialien für Wärmesensoren



Fig. 1: Conventional (left) and inverse (right) thermochromic switching (above: 20 °C; below: 80 °C) in PE.

Thermochromie bezeichnet das Auftreten von reversiblen oder irreversiblen Farbänderungen von Stoffen in Abhängigkeit von der Temperatur. Im Bereich der anorganischen Chemie sind derartige Erscheinungen schon vielfältig beschrieben. Ein bereits in der Antike bekanntes Beispiel ist der rote Rubin, der sich beim Erhitzen grün färbt und beim Abkühlen wieder rot wird.

Heute sind vor allem organische Systeme mit Leukofarbstoffen von technischem und wirtschaftlichem Interesse. Durch Reaktion mit schwachen Säuren (Entwickler) bilden die Leukofarbstoffe stark farbige Komplexe, die z. B. im Thermodruckpapier von Supermarktkassen eingesetzt werden.

Durch Addition einer dritten Komponente (Schmelzmittel) kann die Schalttemperatur festgelegt werden. Unterhalb des Schmelzpunktes ist der Komplex farblich. Oberhalb des Schmelzpunktes löst sich der Komplex aus Farbstoff und Entwickler auf und die Mischung entfärbt sich. Der Vorgang ist reversibel.

In mikroverkapselter Form sind die thermochromen Komposite als Pigmente vielseitig einsetzbar und zu Lacken, Farben, Siebdruckpasten u. ä. zu verarbeiten. Damit wird ihre Anwendung in Alltagsgegenständen, die unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt werden, ermöglicht. Z. B. kann Mikrowellengeschirr während der Nutzung durch eine Farbänderung anzeigen, wann eine bestimmte Temperatur erreicht ist [1].

Bei allen bislang kommerziell verfügbaren thermochromen Materialien erfolgt die Farbschaltung bei Temperaturerhöhung immer von farbig nach farblos. Das schränkt ihre Anwendungsmöglichkeiten ein. Ziel dieses Projekts war deshalb die erstmalige Entwicklung thermochromer Polyolefine (PE, PP) mit

einer Schaltung von farblos nach farbig bei Temperaturerhöhung.

Diese Komposite mit inverser Thermochromie unterscheiden sich von konventionellen thermochromen Mischungen dadurch, dass der Entwickler sowohl mit dem Schmelzmittel als auch mit dem Leukofarbstoff temperaturabhängig Komplexe ausbilden kann. Bei tiefen Temperaturen entstehen farblose Entwickler-Schmelzmittel-Komplexe. Mit steigender Temperatur werden die Wechselwirkungen zwischen dem Entwickler und dem Leukofarbstoff stärker und ein farbiger Komplex entsteht.

Die Untersuchungen zeigen, dass diese neuen thermochromen Komposite in Polymermatrices unter Erhalt des inversen thermochromen Effekts eingeführt werden können (Fig. 1). Es wurden Kombinationen von Leukofarbstoffen, Entwicklern, Schmelzmitteln mit PE bzw. PP entwickelt, die Schalttemperaturen von 60 bis 80 °C und einen Übergang von farblos nach farbig aufweisen. Fig. 2 verdeutlicht den Farbwechsel durch eine starke Abnahme der Transmission bei 600 nm im UV/Vis-Spektrum bei Erhöhung der Temperatur von 20 auf 80 °C.

Zur Herstellung von inversen thermochromen Polyolefinfolien kam mit der Extrusion eine Technologie zum Einsatz, die auch für eine zukünftige großtechnische Umsetzung des Verfahrens und die Vermarktung der neuen thermochromen Kunststofffolien von Interesse ist (Fig. 3) [2].

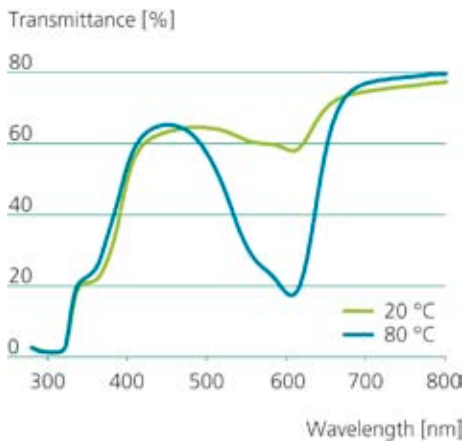


Fig. 2: UV/Vis-spectroscopic proof of the decrease of the transmittance at elevated temperature.



Fig. 3: Manufacturing of polyolefin films by extrusion.

Inverse thermochromism – New materials for heat detectors

Thermochromism is characterized by the appearance of reversible or irreversible color changes in materials depending on temperature. Such phenomena are often described, especially in the field of inorganic chemistry. An example, already well known in the ancient world, is the red ruby, which changes to green when heated and becomes again red when cooled.

Now organic systems based on leuco dyes are of technical and economic interest. Leuco dyes form strongly tinted complexes through reaction with weak acids, so-called developers, which are used, for example, in the thermal paper at supermarket checkouts.

By adding a third component – the solvent – the switching temperature can be adjusted. Below the melting point, the thermochromic composite is colored. Above the melting point, the complex of dye and developer is destroyed and the mixture becomes colorless. This process runs reversibly.

After microencapsulation the thermochromic composites can be used as pigments in many ways to manufacture thermochromic coatings, paints or screen printing inks. Low costs allow them to be applied to everyday items that are exposed to different temperatures. For instance, microwavable dishes which change color when used indicate a defined temperature has been reached [1].

Up to now, a feature of all commercially available thermochromic materials is that the color change always goes from colored to colorless with increasing temperature. This limits the range of their potential applications. Thus, the aim of this project was to develop for the first time thermochromic polyolefines (PE, PP) with inverse switching, i.e. a switching from colorless to colored with increasing temperature.

Composites with inverse thermochromism differ from conventional thermochromic mixtures in such a way that the developer can form complexes with the solvent as well as with the leuco dye. The formation of the complexes depends on the temperature: at low temperatures developer-solvent-complexes arise. The composite is colorless. With increasing temperature the interactions between developer and leuco dye become stronger and a colored complex is formed.

The investigations have shown that the new thermochromic composites can also be introduced into polymer matrices and that the inverse thermochromic effect is retained (Fig. 1). By varying the composition and the processing conditions, combinations of leuco dyes, developers, solvents with PE or PP were developed which exhibit switching temperatures in the range of 60 to 80 °C and a color change from colorless to colored. The UV/Vis-spectrum in Fig. 2 demonstrates this color change through a strong decrease in transmittance at 600 nm when the temperature rises from 20 to 80 °C.

Extrusion was used to manufacture inverse-switching thermochromic polyolefin films. This technology is possible for future up-scaled production and for a commercialization of the newly developed thermochromic plastic films (Fig. 3) [2].

Kontakt Contact



Dr. Ralf Ruhmann
Telefon +49 30 6392-2064
Fax +49 30 6392-2065
ralf.ruhmann@iap.fraunhofer.de

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

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

Förderung Funding
zwei bilaterale FuE-Kooperationsverträge;
Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie Förderkennzeichen 0329820E;
Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie Förderkennzeichen 0329820G

Literatur Literature
[1] A. Seeboth, D. Löttsch: *Thermochromic phenomena in polymers*, Smithers Rapra Technology Ltd., (2008)

[2] A. Seeboth, O. Mühling, R. Ruhmann, R. Vetter: *Komposit mit inversen thermochromen Eigenschaften, dieses enthaltender Verbundwerkstoff sowie deren Verwendung*, DE 10 2007 017 791 A1, (30.10.2008)

Wo sich Proteine wohl fühlen

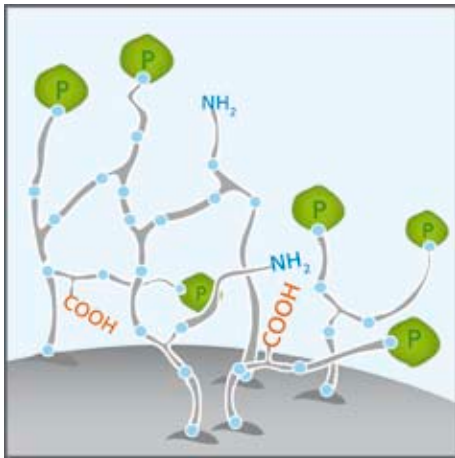


Fig. 1: Pattern of a PEG hydrogel layer (grey) with immobilized proteins (green) and functional groups (orange, blue) on a polymer surface.

Proteine sind in der Lage andere Moleküle auf molekularer Ebene zu erkennen. Mit Hilfe dieser Eigenschaft lassen sich Krankheiten durch die Untersuchung von Körperflüssigkeiten diagnostizieren und die molekularen Prinzipien von biologischen Systemen erforschen. Damit diese Erkennung funktioniert, ist eine definierte räumliche Struktur der Proteine unerlässlich. Diese geht jedoch durch sogenannte unspezifische Wechselwirkungen häufig verloren, wenn die Proteine auf Oberflächen gebunden werden, um sie besser handhaben zu können.

Da Proteine ihre Aufgabe normalerweise in Wasser verrichten, scheint es naheliegend, sie in einer Umgebung zu immobilisieren, die der natürlichen sehr ähnlich ist. In einer Hydrogelschicht, die so dünn ist, dass die Diffusion der Komponenten nicht behindert wird, können Interaktionsstudien durchgeführt werden. Am Fraunhofer IAP wurde ein Verfahren entwickelt, um solche Hydrogelschichten effizient herzustellen [1].

Hydrogelschichten

Ein Hydrogel besteht zu einem großen Teil aus Wasser (oft über 99 Prozent), das von einem Polymernetzwerk zusammengehalten wird. Mit der neu entwickelten Technik wird eine auf Polyethylenglykol (PEG) basierende Schicht auf einem festen Träger, z. B. einer Polymeroberfläche, hergestellt (Fig. 1). Die Eigenschaften der Schicht werden über die Bausteine und die Reaktionsbedingungen eingestellt. Parameter wie Maschenweite, Vernetzungsgrad, Art und Dichte von funktionellen Gruppen sowie die Schichtdicke können so kontrolliert und eingestellt werden. Die Maschenweite beeinflusst die Diffusionsgeschwindigkeit der Proteine. Um eine ausreichend schnelle Diffusion zu erreichen, ist es notwendig, die Maschen größer als

10 nm einzustellen und damit ein weitmaschiges Hydrogel zu synthetisieren. Darüber hinaus lassen sich andere Zellbestandteile ausschließen, wenn sie zu groß sind, um in die Gelschicht zu diffundieren.

Die chemische Analyse solcher Schichten stellt eine besondere Herausforderung dar. Nur die Kombination verschiedener Techniken wie Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS), Ellipsometrie und Fluoreszenzspektroskopie macht es möglich, die Funktionalgruppen in einem Konzentrationsbereich von wenigen hundert $\mu\text{mol}/\text{cm}^3$ bzw. einigen pmol/cm^2 im Gel nachzuweisen und zu quantifizieren [2]. Diese Funktionalgruppenmengen reichen aus, um genügend Proteine zu immobilisieren. Durch die geringe Konzentration der Gruppen wird das Protein dabei nur an wenigen Punkten fixiert. Zusätzlich werden unerwünschte Wechselwirkungen weitgehend ausgeschlossen (Fig. 2). Bei Bedarf kann die Konzentration der Funktionalgruppen jedoch auch höher eingestellt werden (Fig. 3). Selbst chemische Gradienten mit lokal unterschiedlichen Konzentrationen sind möglich. Die geringe Schichtdicke von 30 – 100 nm im trockenen und 30 – 300 nm im gequollenen Zustand unterstützt die homogene Verteilung der Proteine.

Kommerzielle Produkte

Ebenso wichtig wie das Material selbst ist die Durchführbarkeit des Verfahrens in einem industriellen Prozess. Es wurde deshalb ein Ansatz gewählt, welcher sich auf große Flächen übertragen lässt, einen großen Durchsatz erlaubt und somit für die Massenproduktion tauglich ist.

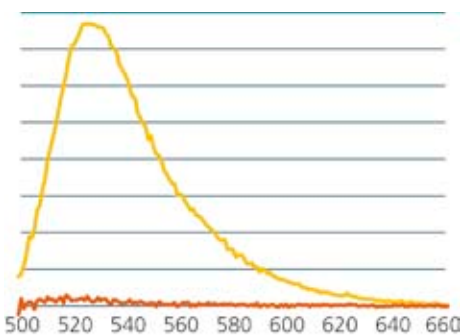


Fig. 2: Fluorescence spectra of the specific interaction of streptavidin-FITC (protein and dye) and a biotin moiety in the gel (yellow), a gel without biotin (orange).

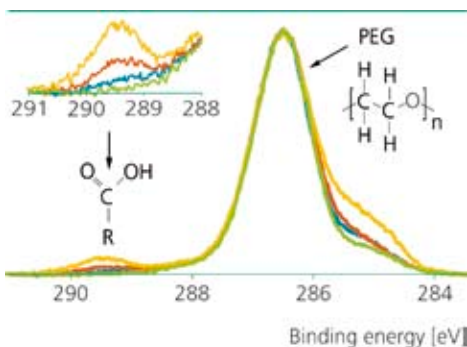


Fig. 3: XPS spectra of hydrogel layers with various concentration levels of carboxylic acid groups (peak at 289.4 eV).

A place where proteins like to stay

Some proteins are able to recognize other molecules on a molecular scale. These properties can be used to diagnose diseases by analyzing body fluids, or to investigate molecular mechanisms of biological systems. The molecular recognition relies on the defined spatial structure of the protein. However, this structure often suffers due to so-called unspecific interaction which occurs if a protein is immobilized on a surface to ensure better handling.

Proteins usually work in an aqueous environment. If they need to be immobilized for a specific application it is better if the environment resembles the natural one. A thin layer of a hydrogel can provide the suitable environment. Diffusion of the components is rapid in such layers and they can be used for interaction studies of proteins and other molecules. An efficient technique to produce these kinds of gels was developed at the Fraunhofer IAP [1].

Hydrogel layers

Water is the main constituent of a hydrogel (very often more than 99 percent). It is held in place by a polymer network. With this new technique it is possible to synthesize a polyethylene glycol (PEG) based network on a substrate like a polymer surface (Fig. 1). The chemical structure of the building blocks and preparation conditions determine the final properties. Many parameters can be controlled and adjusted, namely the mesh width, the cross-link density, the type and density of functional groups as well as the thickness. A mesh size in the range of 10 nm is required for adequate diffusion. The required mesh size in the range of 10 nm is rather large for adequate diffusion. The network is still

sufficiently small to keep out other parts of a cell.

The chemical analysis of such layers is very challenging, however a combination of different techniques such as X-ray photo electron spectroscopy, ellipsometry, and fluorescence spectroscopy can help to determine the concentration of functional groups. Their absolute number and their concentration is rather low and in the range of a few hundred $\mu\text{mol}/\text{cm}^3$ or a few pmol/cm^2 [2]. This is sufficient to immobilize proteins. Owing to the small concentration of the functional groups, the proteins are fixed only at few points and unwanted unspecific interactions can be kept low (Fig. 2). However, gels can be prepared with much higher concentrations of functional groups if necessary (Fig. 3). For some applications, we synthesized gels with a chemical gradient, i.e. with laterally varying concentrations of functional groups. With the lower thickness between 30 – 100 nm in dry and 30 – 300 nm in swollen states, it can be ensured that the proteins are distributed homogeneously throughout the gel layer.

Commercial products

Production on an industrial scale is as important as the material itself. The development conducted at Fraunhofer IAP are focused on preparation techniques which can be transferred to large areas and to high-volume production.

Kontakt Contact



Dipl.-Chem. (FH) Falko Pippig
Telefon +49 331 568-1234
Fax +49 331 568-3000
falko.pippig@iap.fraunhofer.de

Dr. Andreas Holländer
Telefon +49 331 568-1404
Fax +49 331 568-2504
andreas.hollaender@iap.fraunhofer.de

Kooperation Collaboration
Freie Universität Berlin
Universität Marburg

Literatur Literature
[1] PA AZ: 10.2008 045 982.8

[2] A. Holländer, F. Pippig: *Determination of Functional Groups in Hydrogel Nanofilms*, Polydays 2008, Berlin (2008)

Organisch-anorganische Nanokomposite für holographische Elemente

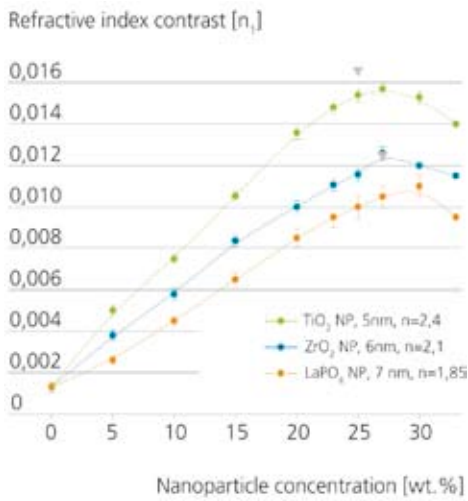


Fig. 1: n_1 as a function of nanoparticle concentration; below: scheme of polymer-nanoparticle grating and volume transmission grating in the composite with TiO₂ nanoparticles.

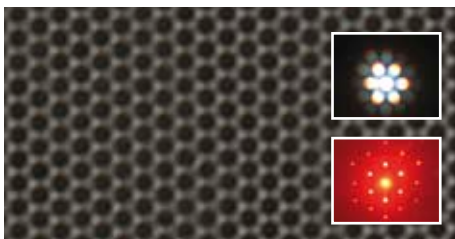


Fig. 2: Microstructure of 2D grating (period 2.6 μm) in the composite with ZrO₂ nanoparticles; inset: diffraction pattern obtained with white (top) and coherent (633 nm) light (bottom).

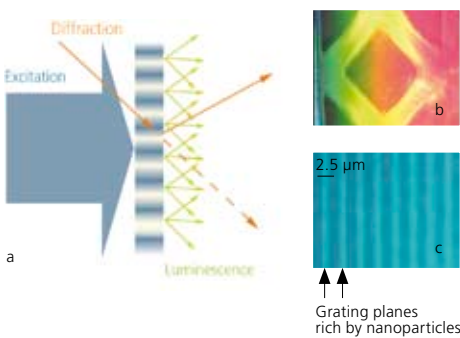


Fig. 3: a) Multifunctional holographic element in the composite with LaPO₄: Ce³⁺, Te³⁺ nanoparticles; b) image of two-directional grating with white light; c) photoluminescent ($\lambda_{\text{ex}} = 365 \text{ nm}$) microscopic image of the grating.

Für optische Technologien wurden hocheffiziente und multifunktionale holographische Volumenelemente und Funktionsschichten auf Basis neuartiger photostrukturierbarer Nanokomposite entwickelt. Diese organisch-anorganischen Kompositmaterialien verbinden die Vorteile organischer Verbindungen wie leichte Funktionalisierbarkeit, polymertypische Verarbeitbarkeit und exzellente Strukturierbarkeit mit Vorzügen anorganischer Systeme, wie hohe oder niedrige Brechzahlen, optische Nichtlinearität (NLO), Photo- und Elektrolumineszenz sowie hohe thermische und Photostabilität, in neuen Funktionsmaterialien. Dadurch weisen sie Eigenschaften auf, die mit klassischen Polymeren nicht erreicht werden können. Die Herausforderung besteht darin, die Kompatibilität der anorganischen Nanopartikel mit den photopolymerisierbaren organischen Acrylatmonomeren zu erreichen. Dieses Problem wurde erfolgreich durch die Modifizierung der Nanopartikeloberfläche mit organischen Hüllen gelöst. Auf dieser Basis wurden optisch transparente Komposite mit bis zu 50 Gewichtsprozent anorganischer Nanopartikel entwickelt. Als anorganische Komponente wurden Materialien mit Brechzahlen zwischen 1,46 und 2,50 und einem Partikeldurchmesser von 2 - 12 nm verwendet: hohe Brechzahl (z. B. TiO₂, ZrO₂, PbS oder ZnS) und niedriger Brechungsindex (SiO₂). Darüber hinaus wurden Komposite mit lumineszierenden Nanopartikeln (CdSe, CdS, LaPO₄: Ce³⁺, Te³⁺, ZrO₂: Eu³⁺) sowie metallischen Nanopartikeln (Au) hergestellt.

Hocheffiziente Diffraktionsgitter wurden durch holographische Belichtung derartiger Nanokompositfilme erhalten. Durch die voll-optische Übertragung des Interferenzmusters zweier oder mehrerer Laserstrahlen werden durch Photopolymerisation und Diffusion periodische Volumenstrukturen mit unterschiedlichen Konzentrationen an Nanopartikeln erzeugt (Fig. 1, Schema).

So wurden 1D-Transmissionsvolumengitter mit Perioden von 0,3 - 7 μm in Komposite mit 25 - 30 Gewichtsprozent TiO₂, ZrO₂, oder SiO₂ eingeschrieben. So konnten bei sehr geringer Streuung Beugungseffizienzen bis zu 95 Prozent und Brechzahlkontraste (n_1) bis zu 0,0165 in 20 μm dicken Filmen erreicht werden [1, 2, 5]. Der Brechzahlkontrast als Funktion der Nanopartikelkonzentration ist in Fig.1 dargestellt. Fig. 2 zeigt 2D-Volumenstrukturen in einem Komposit mit ZrO₂-Nanopartikeln [5]. Lumineszierende Nanopartikel auf Basis von LaPO₄: Ce³⁺, Te³⁺ [3] oder Nanopartikel mit nichtlinearen optischen Eigenschaften in Kombination mit den hocheffizienten diffraktiven Gittern erschließen weitere optische Anwendungen (Fig. 3). So zeigen Gitter mit Rutil oder Gold-Nanopartikeln hohe Beugungseffizienzen kombiniert mit ausgeprägten NLO-Eigenschaften [4, 6]. Amplified Spontaneous Emission (ASE) wurde in Bragg-Gittern auf Basis von Nanokompositen mit CdSe/ZnS-Quantum Dots erzielt. Auf dieser Nanokomposit basierten Materialplattform werden am Fraunhofer IAP multifunktionale passive und aktive Komponenten für optische und photonische Anwendungen wie beispielsweise effiziente diffraktiv-optische Elemente, komplexe optische Sicherheitsmerkmale, optische Sensoren, emmissive Mikroarrays und organische DFB-Laser entwickelt.

Organic-inorganic nanocomposites for holographic elements

Highly efficient and multifunctional holographic volume elements have been developed that are suitable for application in optical technology. The organic-inorganic nanocomposites combine the advantages of organic substances, like functionalization, processability, structurability with the advantages of inorganic systems like high or low refractive index (RI), photo/electroluminescence, optical non-linearity (NLO), and photo and thermal stability in new functional materials. The use of inorganic nanoparticles allows us to obtain properties which are not achievable for typical neat polymers. The challenge of obtaining compatibility of the inorganic nanoparticles with organic substances was successfully solved by capping the nanoparticle's surface with properly designed organic shells that allows up to 50 weight percent loading of inorganic nanoparticles in organic acrylate monomers. Various inorganic nanoparticles with RI ranging from 1.46 to 2.5 (average diameter 2 - 12 nm) were used as an inorganic component of the composites: high RI nanoparticles (e.g. TiO_2 , ZrO_2 , ZnS) and low RI (SiO_2). Additionally, composites containing photoluminescent (LaPO_4 : Ce^{3+} , Te^{3+} , ZrO_2 : Eu^{3+} , CdS , CdSe) and metal (Au) nanoparticles were produced.

Highly efficient diffraction gratings in the nanocomposites were produced using one-step holographic exposure. During exposure to the interference pattern formed by two or three laser beams, a periodical redistribution of the nanoparticles in the volume of the polymer film was obtained (Fig. 1a, inset). Highly efficient low-scattering permanent 1D transmission volume gratings with periods of 0.3 - 7 μm were recorded in thin composite films with high and low RI nanoparticles (TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2). The materials with 25 - 30 weight percent of TiO_2 or ZrO_2 nanoparticles provide volume Bragg gratings with a diffraction efficiency up

to 95 percent (20 μm film) and a maximum RI contrast (n_v) of approx. 0.0165 [1, 2, 5]. RI contrast (n_v) of the nanocomposites as a function of the nanoparticle concentration, the scheme of polymer-nanoparticle grating and the volume transmission grating in the composite with TiO_2 nanoparticles are shown in Fig.1. Not only 1D but also effective 2D hexagonal volume structures recorded by three laser beams were produced in ZrO_2 nanoparticles containing composites (Fig. 2) [3]. The use of functional nanoparticles with specific physical properties, such as light-emission or NLO, offers additional applications (Fig. 3). Multifunctional volume holograms suitable for optical security applications have been developed based on composites containing photoluminescent LaPO_4 : Ce^{3+} , Te^{3+} nanoparticles [3]. Gratings with Au and TiO_2 nanoparticles combine high efficiency and significant NLO response useful for NLO applications [4, 6]. Amplified spontaneous emission was observed in nanocomposite Bragg gratings with CdSe/ZnS quantum dots. Based on this new material platform, Fraunhofer IAP is developing mono/multifunctional passive and active components for optical and photonic applications, e.g. stable diffractive optical elements, multi-level optical security labels, thin-film organic DFB-lasers and light-emissive microarrays.

Kontakt Contact



Dr. Oksana Sakhno
 Telefon +49 331 568-1247
 Fax +49 331 568-3259
 oksana.sakhno@iap.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. habil. Joachim Stumpe
 Telefon +49 331 568-1259
 Fax +49 331 568-3259
 joachim.stumpe@iap.fraunhofer.de

Kooperation Collaboration

T. N. Smirnova, National Academy of Sciences of Ukraine NASU, Institute of Physics, Kiev (Ukraine);
 G. Garnweitner, TU Braunschweig, Institut für Partikeltechnik, Braunschweig;
 V. Chechik, University of York, Department of Chemistry, Heslington, York (UK)

Literatur Literature

- [1] O. V. Sakhno, L. M. Goldenberg, J. Stumpe, T. N. Smirnova: *Surface modified ZrO_2 and TiO_2 nanoparticles embedded in organic photopolymers for highly effective and UV-stable volume holograms*, Nanotechnology, 18, 105704-105708 (2007)
- [2] G. Garnweitner, L. M. Goldenberg, O. V. Sakhno, M. Antonietti, M. Niederberger, J. Stumpe: *Large-Scale Synthesis of Organophilic Zirconia Nanoparticles and their Application in Organic-Inorganic Nanocomposites for Efficient Volume Holography*, Small, 3, 1626 - 1632 (2007)
- [3] O. V. Sakhno, T. N. Smirnova, L. M. Goldenberg, J. Stumpe: *Holographic patterning of luminescent photopolymer nanocomposites*, Mater. Sci. Eng. C, 28, 28-32 (2008)
- [4] L. M. Goldenberg, O. V. Sakhno, T. N. Smirnova, Ph. Helliwell, V. Chechik, J. Stumpe: *Holographic composites with gold nanoparticles: nanoparticles promote polymer segregation*, Chem. Mater., 20, 4619-4628 (2008)
- [5] O. V. Sakhno, L. M. Goldenberg, J. Stumpe, T. N. Smirnova: *Effective volume holographic structures based on organic-inorganic photopolymer nanocomposites*, J. Opt. A., 11, 024013 (2009)
- [6] T. N. Smirnova, O. V. Sakhno, V. Bezrodnyj, J. Stumpe: *Nonlinear diffraction in gratings based on polymer-dispersed TiO_2 nanoparticles*, Appl. Phys. B, 80, 947-951 (2005)

Anisotrope Filme aus fluoreszierenden Flüssigkristallen

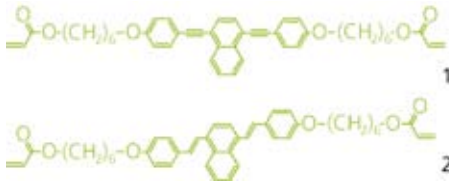


Fig. 1: Chemical structure of the fluorescent nematic mesogens 1 and 2 bearing reactive acrylate end groups.

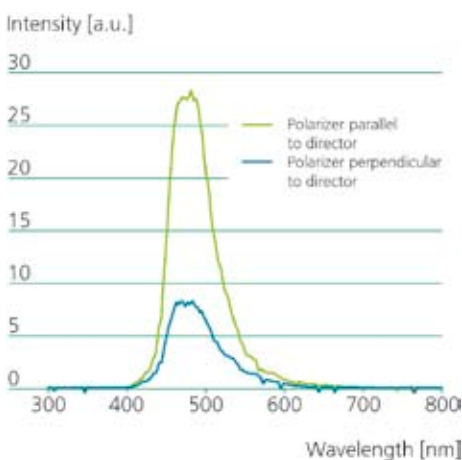


Fig. 2: Polarized fluorescence spectra of a mixture of compounds 1 and 2 in a matrix of acrylate substituted reactive mesogens.



Fig. 3: Cross-linked film emitting blue polarized light under UV illumination: polarizer perpendicular to rubbing direction.

Die Löslichkeit eines fluoreszierenden dichroitischen Farbstoffs in einer geeigneten Orientierungsmatrix ist entscheidend für Geräte mit effizienter Emission von polarisiertem Licht. Werden nematiche Reaktivmesogene als Matrix verwendet, sollte der Farbstoff ebenfalls eine nematiche Phase aufweisen, um eine effiziente Mischbarkeit zu erreichen. Die Zahl von Verbindungen, die ein fluoreszierendes Molekülgerüst und flüssigkristalline Eigenschaften kombinieren, ist bislang jedoch stark limitiert.

Das Fraunhofer IAP entwickelt neue fluoreszierende Mesogene wie die Verbindungen 1 und 2 mit zentraler Naphthalengruppe (Fig. 1). Acrylateinheiten wurden am rigiden Kern über Alkylspacer fixiert, um Co-Photovernetzung mit nematiche Reaktivmesogenen auf der Basis von Benzoesäureestern zu ermöglichen.

Die mehrstufigen Synthesen beinhalten Palladium katalysierte Kreuzkupplungsreaktionen geeignet substituierter Styrole und Arylacetylene mit 1,4-Dibromnaphthalen und Veresterung resultierender hydroxyterminierter Zwischenstufen mit Acrylsäurechlorid.

Beide Verbindungen 1 und 2 bilden eine enantiotrope nematiche Phase, die in einem Glaszustand bei Raumtemperatur eingefroren werden kann. Die gehinderte Kristallisationstendenz ist auf einen Störeffekt der voluminösen zentralen Naphthaleneinheit zurückzuführen und erlaubt die Verarbeitung der flüssigkristallinen Verbindungen 1 und 2 bei Raumtemperatur.

Das Fluoreszenzmaximum des Bis-Tolans 1 liegt bei 420 nm. Der Ersatz der Acetyleneinheiten durch Ethylengruppen führt zu einer bathochromen Verschiebung des Emissionsmaximums auf 470 nm.

Die Verbindungen sind bis zu zehn Gewichtsprozent mit acrylatsubstituierten Reaktivmesogenen mischbar, was deutlich mehr ist im Vergleich zu kommerziellen dichroitischen Fluoreszenzfarbstoffen. Uniaxiale Orientierung der Mischsysteme wurde durch thermische Behandlung von spin-coating Filmen in der nematiche Flüssigkristallphase erreicht. Die Filmanisotropie konnte durch anschließende Photovernetzung bei Raumtemperatur stabilisiert werden. Die vernetzten Filme zeigen linear polarisierte Photolumineszenz. Die kalamitischen Einheiten sind uniaxial entlang der Reibrichtung der Polyimid-Orientierungsschicht ausgerichtet. Die Fluoreszenzintensität kann mit Filmen verstärkt werden, die beide Chromophore 1 und 2 enthalten, was auf einen strahlungslosen Energietransfer vom Acetylen 1 auf das Tolan 2 zurückzuführen ist. Fig. 2 zeigt die polarisierten Fluoreszenzspektren eines vernetzten Films mit 4,8 Prozent des Naphthylacetylen 1 und 2,2 Prozent des Bis-Tolans 2.

Fig. 3 zeigt einen blauen Licht emittierenden Film mit diskreten orientierten Domänen. Wird die Probe mit einer handelsüblichen UV-Lampe bestrahlt und durch einen Polarisationsfilter betrachtet, so wird Fluoreszenz nur dann beobachtet, wenn die Polfilterachse parallel zur molekularen Orientierung steht. Keine Fluoreszenz ist dagegen zu beobachten, wenn die Achsen senkrecht zueinander stehen. Das ist die Voraussetzung für Sicherheitsmerkmale mit polarisierter Photolumineszenz. Weiterführende Arbeiten betreffen die Entwicklung fluoreszierender Flüssigkristalle mit Lichtemission über den gesamten sichtbaren Bereich.

Anisotropic films made from fluorescent liquid crystals

The solubility of a fluorescent dichroic dye in a suitable orientation matrix is crucial for devices with efficient emission of polarized light. If reactive mesogens are used as nematic host, the dye should also display a nematic phase in order to ensure efficient miscibility. However, so far, the number of compounds that combine a fluorescent chromophoric core with liquid crystalline properties are rather limited.

The Fraunhofer IAP develops new fluorescent mesogens such as compounds 1 and 2 incorporating a central naphthalene unit (Fig. 1). Acrylate moieties were attached to the rigid core via alkyl spacers to enable co-photocrosslinking with nematic benzoate based reactive mesogens.

The multi-step syntheses include palladium-catalyzed cross-coupling reactions of suitable substituted styrenes and aryl acetylenes with 1,4-dibromonaphthalene and esterification of the resulting hydroxyl terminated intermediates with acrylic acid chloride.

Both compounds 1 and 2 display an enantiotropic nematic phase which can be quenched into a glassy state at room temperature. A crystallization tendency is impeded due to a disturbing effect of the bulky central naphthalene moiety. This allows the liquid crystalline compounds 1 and 2 to be processed at ambient temperature.

The fluorescence maximum of the bis-tolane 1 peaks at 420 nm. Replacing the acetylenic units by ethylene groups leads to a bathochromic shift of the emission maximum to 470 nm.

The compounds show a miscibility with acrylate substituted reactive mesogens of up to 10 mass percent. This is significantly higher than with commercial fluorescent dichroic dyes. Uniaxial orientation of the mixed systems was achieved by annealing spin-coating

films on polyimide orientation layers within the nematic temperature range. The film anisotropy was stabilized through subsequent photocrosslinking at room temperature. The cross-linked films show linear polarized photoluminescence. The calamitic moieties are uniaxially oriented in the rubbing direction of the polyimide orientation layer. The fluorescence intensity can be enhanced by films containing both chromophores 1 and 2 due to the radiationless energy transfer from the acetylene 1 to the tolane 2. Figure 2 shows the polarized fluorescence spectra of a cross-linked film containing 4.8 percent naphthylacetylene 1 and 2.2 percent bis-tolane 2.

Figure 3 shows the image of a blue light emitting film with discrete oriented domains. If the sample is illuminated with a conventional UV lamp and viewed through a polarizing filter, fluorescence is observed only when the polarizing filter axis is parallel to the molecular orientation. No fluorescence can be seen if the axes are perpendicular to each other. This is a pre-requisite for security labels with polarized photoluminescence. Further work is in progress to develop fluorescent liquid crystals covering the complete region of visible light.

Kontakt Contact



Priv.-Doz. Dr. habil. Dietmar Janietz
Telefon +49 331 568-1150
Fax +49 331 568-3910
dietmar.janietz@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

Bundesministerium für Bildung und Forschung,
Förderkennzeichen 03WkQ04B

Kooperation Collaboration

SYNTHON Chemical GmbH & Co. KG



Synthese- und Polymertechnik

Synthesis and polymer technology

Nachhaltigkeit bei der Synthese von Polymeren

Sustainable synthesis of polymers

Anwendungen und Dienstleistungen

Applications and services

Polylactidpartikel für selektives Laserschmelzen

Poly lactide particles for selective laser melting applications

Erweiterung des Eigenschaftsprofils von Polylactid

Enhancing the property profile of polylactide

*Oben: Wissenschaftlerin Dipl.-Ing. Monika Jobmann – Isolierung eines mikroverkapselten Pigments mittels Sprühtrocknung.
Top: Scientist Dipl.-Ing. Monika Jobmann – Isolation of an microencapsulated pigment via spray drying.*

*Unten: Mikroverkapseltes Pigment.
Bottom: Microencapsulated pigment.*

Nachhaltigkeit bei der Synthese von Polymeren

Angesichts der aufstrebenden Volkswirtschaften in einer Reihe von Schwellenländern, insbesondere im asiatischen Raum im vergangenen Jahrzehnt, ist ein Umdenken bei der Entwicklung von Energieträgern und Rohstoffressourcen für die chemische Industrie unumstößlich. Die Verknappung der für die Herstellung von Chemieprodukten genutzten Rohstoffe Erdöl und Erdgas, die damit zu verzeichnenden dramatischen Preisanstiege für fossile Rohstoffe, das Verlangen nach größerer Unabhängigkeit bezüglich der Rohstofflieferung und die Notwendigkeit der Umsetzung nachhaltigerer (CO₂-neutraler) Produktionsverfahren qualifizieren die Suche nach innovativen Ideen und effizienten Wegen zur Umstellung von fossilen Ausgangsstoffen auf erneuerbare Ressourcen zu einer der größten Herausforderungen der Zukunft.

Obwohl der Anteil der Polymermaterialien auf Basis erneuerbarer Rohstoffe am weltweiten Kunststoffverbrauch auch für die nächsten fünf Jahre nach wie vor marginal sein wird, sagen zahlreiche ernstzunehmende Szenarien eine zukünftig wachsende Bedeutung von Kohle und Biomasse als Rohstoffquellen voraus und entsprechende Technologieentwicklungen zur Ablösung von Erdöl wie »gas-to-liquid« Prozesse, die direkte Alkanfunktionalisierung oder die Biomassekonversion sind heute weltweit Gegenstand intensiver Untersuchungen.

Durch chemische Grundstoffe wie Cellulose, Stärke, Zucker oder natürliche Öle und Fette, die die Natur in Form der nachwachsenden Rohstoffe zur Verfügung stellt, lassen sich über die Kombination von biochemischen mit chemischen Prozessen nachhaltiges Wirtschaften mit materialwirtschaftlichen Innovationen verbinden. Diese als »Weiße Biotechnologie« bezeichnete FuE-Richtung stellt auch innerhalb der FhG einen Forschungsschwerpunkt dar.

Im Rahmen einer internen Verbundforschung sind hier in den vergangenen Jahren Untersuchungen zur stofflichen Konversion von pflanzlichen Ölen und Biodiesel zu Bausteinen für Polymersynthesen durchgeführt worden. Das IAP war an dem Vorhaben mit Arbeiten zur Synthese von Poly-Trimethylenterephthalat auf der Basis von biochemisch erzeugtem 1,3-Propandiol und zur Verifizierung des Eigenschaftsprofils von thermoplastischen Polyurethanen mit Polyesterdiolkomponenten aus biotechnologisch hergestellten höherkettigen α,ω -Dicarbonsäuren und 1,3-Propandiol beteiligt. Nach dem erfolgreichen Abschluss des Projektes ist nunmehr geplant, die Untersuchungen auf neue Bausteine zu fokussieren, indem neben der biotechnologischen Konversion auch chemisch katalytische Verfahren einbezogen werden sollen, um eine breitere Stoffbasis für die Polymersynthese zu realisieren.

Die industrielle Einführung biotechnologisch erzeugter Rohstoffe für die Synthese von Kunststoffen ist heute am weitesten bei der Herstellung, Verarbeitung und Applikation von Poly-L-Lactid fortgeschritten. Über die Stufen Biokonversion stärke- oder zuckerhaltiger Agrarrohstoffe zu Milchsäure, Synthese von Dilactid und Ringöffnungspolymerisation (ROP) kann der Kunststoff Polylactid (PLA) synthetisiert werden.

Im Wesentlichen stehen mit den PLA-Produkten der Firma NatureWorks (USA) thermoplastisch verformbare und biologisch abbaubare Kunststoffe insbesondere für den Verpackungssektor zur Verfügung. Unter applikationstechnischen Aspekten wird auch aus dem Bereich Automotiv und der Textilbranche wachsendes Interesse an solchen Materialien signalisiert.

Im Zusammenhang mit den gegenwärtigen Aktivitäten der Pyramid Bioplastics Guben GmbH zur Errichtung der ersten großtechnischen PLA-Fabrikation in Europa am Standort Guben, die bis 2012 in zwei Ausbaustufen eine Produktionskapazität von 60 000 Jahrestonnen erreichen soll, sind die FuE-Kapazitäten im Forschungsbereich auf dem PLA-Gebiet im vergangenen Jahr erheblich verstärkt worden. Ziel ist es, die Arbeiten zur Entwicklung von PLA-Materialien mit verbesserten Gebrauchseigenschaften für unterschiedliche Anwendungen zu forcieren, um eine schnelle Marktfähigkeit zu erreichen. Im Mittelpunkt standen dabei vorerst orientierende Untersuchungen zur Steuerung der Polymerstruktur über unterschiedliche Synthesemethoden wie Umesterung, gezielte Endgruppenfunktionalisierung, Copolymerisation, Kettenverlängerung oder Kettenverzweigung und deren Auswirkungen auf das Eigenschaftsprofil. Nach Bewertung der Effizienz der einzelnen Methoden mit Bezug auf deren Potenzial für eine Eigenschaftsmodifizierung sollen die Arbeiten in der Folge auf deren technische Umsetzbarkeit konzentriert werden. Gerade mit Blick auf die Erarbeitung technisch umsetzbarer Lösungen wollen wir auch die Nähe zur Anwendung verstärken, indem eine neue Projektgruppe gebildet werden soll, die in das von Pyramid Bioplastics geplante Anwendungszentrum für Biopolymere (Fertigstellung Ende 2009) am Standort Guben integriert wird.

Beiträge zur Verfahrensentwicklung

Neben den vorhanden technischen Möglichkeiten zur Prozessanalyse (Labmax und RC 1) wurden die Bedingungen zur Entwicklung von Syntheseverfahren durch eine anlagenseitige Erweiterung des Miniplant-Labors mit der Realisierung von variablen unterschiedlichen Druckreaktorsystemen mit Reaktorgrößen zwischen 1,5 bis 40 L (Druckbereiche bis 60 bar, Temperatur bis 300 °C) deutlich verbessert. Damit sind nunmehr ausgezeichnete Bedingungen für die Prozessanalyse von Polymersynthesen und die Entwicklung von Verfahrensschritten von Polymersyntheseprozessen oder die Optimierung von Polymersyntheseverfahren gegeben. Projektarbeiten auf diesem Gebiet sind wiederum in enger Zusammenarbeit mit dem PAZ durchgeführt worden. Innerhalb von bilateralen Industriekooperationen wurde einerseits die verfahrenstechnische Umsetzung eines diskontinuierlichen Verfahrens zur radikalischen Lösungspolymerisation zweier Monomere mit sehr unterschiedlichen Reaktivitätsverhältnissen in einen kontinuierlichen Prozess bearbeitet. In einem zweiten gemeinsamen Vorhaben stand die Prozessoptimierung eines Polykondensationsprozesses im Mittelpunkt der Untersuchungen. Der Schwerpunkt der Arbeiten im Forschungsbereich lag dabei bei der Ermittlung von Prozessdaten.

Mikroverkapselung

Die Herstellung polymerbasierter Mikrokapseln und Matrixpartikel durch reaktive und nichtreaktive Kapselungsverfahren bilden einen weiteren Schwerpunkt der FuE-Arbeiten des Forschungsbereiches. Im Mittelpunkt steht hier die anwendungsorientierte Lösung von Problemstellungen innerhalb von bilateralen Forschungs- und Entwicklungsverträgen mit Industriepartnern. Dabei sind komplexe Systemlösungen gefragt, die sowohl die Entwicklung angepasster Techniken und Verfahren zur Einstellung definierter Kapselgrößen oder Kapselwandeigenschaften, als auch die Suche nach geeigneten bzw. die Optimierung von kommerziell verfügbaren Ausgangsmaterialien für die Kapselbildung beinhalten. Beispielgebend dafür wurden u. a. Projekte zur Verkapselung von Wirkstoffen bzw. Additiven bearbeitet, wie

- die Optimierung eines Gewindegewinnsicherungssystems für den Einsatz in wässrigen Systemen,
- die Stabilisierung von Mykorrhiza-Sporen,
- die Mikroverkapselung von Flammenschutzmitteln,
- die Mikroverkapselung von Wirkstoffen gegen Haustierparasiten zur Herstellung eines Abgabesystems mit einer Wirkzeit von drei bis sechs Monaten,
- die Mikroverkapselung von Parfümölen für Anwendungen in Reinigungsprodukten, oder
- die Herstellung von resorbierbaren Mikropartikeln auf der Basis von Polylactiden für die generative Fertigung von Stents mittels Lasersinterprozess.

Die entwickelten Systeme wurden sowohl hinsichtlich der molekularen Parameter (GPC, DSC, TGA, Lösungsviskosimetrie, Polarimetrie) als auch der Partikeleigenschaften (Zetapotenzial, Partikelgröße und -verteilung, release-Verhalten) untersucht.

Zur Erweiterung der Möglichkeiten der Anwendung von Verkapselungsverfahren werden auch neue Techniken, wie die Miniemulsionspolymerisation in das generelle Verfahrensschema eingeführt, um zukünftig auch Anwendungsanforderungen für zu verkapselnde Systeme im Submikrometerbereich gerecht zu werden. In unserem Bestreben nach der Suche von neuen und innovativen Anwendungsfeldern, aber auch neuen Partnern für den Bereich Mikroverkapselung wurde in Zusammenarbeit mit der Fraunhofer TEG ein Workshop »Business Model Innovation – Neue Einsatzmöglichkeiten der Mikroverkapselung« (September 2008, Fraunhofer IAP Golm) mit ca. 80 Teilnehmern aus Industrie und Forschung durchgeführt. Eines der wichtigsten Ergebnisse des Workshops ist die Bildung einer »Technologieplattform Mikroverkapselung«, die zur Vernetzung von Wissenschaft und Industrie im Bereich Mikroverkapselung beitragen soll.

Sustainable synthesis of polymers

Sustainability in the synthesis of polymeric materials

Faced with emerging economies in the past decade, particularly in Asia, it is imperative to rethink the development of energy carriers and alternative raw material sources for the chemical industry. The shortage of petroleum and natural gas, which are used as a feedstock in the synthesis of chemical products, the steep rise in market prices for fossil fuels, the desire to become less dependent on feedstock supply and the need for more sustainable (CO₂-neutral) production methods challenge us to search for innovative ideas and efficient ways of changing over from using fossil fuels to using renewable resources.

Although the forecasted quantities of biopolymers needed for the overall worldwide plastics consumption will remain low for the next five years, numerous serious scenarios predict that coal or biomass will become more important as a feedstock source. Therefore technologies such as gas-to-liquid processes, direct alkane functionalization, or biomass conversion will be investigated much more intensively than heretofore.

Through renewable resources such as starch, celluloses, sugar, vegetable oils and native fats, both sustainable economic management and material innovation can be achieved if biotechnological and chemical processes are combined. This area of research referred to a »white biotechnology« is also a focus of the Fraunhofer-Gesellschaft.

Over the past few years joint research projects have been researching ways to convert native oils or biodiesel into building blocks for polymer synthesis. The IAP contributed to these activities through its investigation of the synthesis of polytrimethyleneterephthalat and thermoplastic polyurethanes using 1,3-propane-diol and longer chain

α,ω -dicarboxylic acids obtained by biotechnological processes. Upon successful completion of the project, a continuation of the collaboration is planned with a focus on new building blocks for the synthesis of polymeric materials resulting from biotechnological conversions of biomass combined with subsequent chemical/catalytic processes.

The industrial implementation of biotechnologically produced raw materials in the synthesis of plastics is most advanced in the production, processing and application of poly-L-lactid. The plastics material polylactid can be synthesized by bioconverting starch or sugar containing agricultural raw materials into lactid acid, synthesizing the dilactid and through ring opening polymerization (ROP).

With the »NatureWorks«-PLA products (US) melt-processable and biodegradable plastics have been supplied particularly for applications in the packaging industry. There has also been increasing interest in PLA materials in the automotive and textile industries from an application technology point of view.

The Pyramid Bioplastics Guben company is currently carrying out the first industrial PLA production in Europe at its Guben site. After two extension steps, a production capacity of 60 kilotons per annum should be achieved by 2012. In connection with these activities the R&D capacities in the IAP were considerably increased based on a collaboration agreement with the company. The aim is to accelerate the R&D work to develop PLA materials with improved performance characteristics for various applications, in order to achieve a fast marketability. Focus was first placed on investigation into controlling the polymer structure via various synthesis methods like transesterification, specific end group functionalization, copolymerization, chain

extending or chain branching and their influence on the polymer properties. After completing the investigation work, focus will be on the technological feasibility of the most efficient synthesis routes. We want to intensify the proximity to practice and application with the view of developing technically transformable solutions. Therefore, a new project group will be integrated into the application center for biopolymers planned by Pyramid Bioplastics (at the end of 2009) at the Guben site.

Contributions to process developments

In addition to the existing technical equipment for process analysis (Labmax, RC 1) the opportunities for the development of polymer synthesis processes were further improved in the past year. New variable pressure reactor systems with reactor sizes between 1.5 and 40 liters (pressure up to 60 bar, temperature up to 300 °C) were installed in the mini-plant lab. This means there are now excellent conditions for process analysis and the development of process steps, as well as the optimization of polymer synthesis processes. The project works in this field was again carried out in collaboration with the Pilot Plant Center in Schkopau. Within bilateral industrial research and development agreements with industrial partners, the subject of the investigation was the process transformation of a discontinuous synthesis process into a continuous cascade process. The synthesis process was a free radical solution polymerization of two monomers characterized by very different reactivity parameters. The process optimization of a polycondensation process was investigated in a further common project. The task of the mini-plant lab was to determine process data.

Microencapsulation

The preparation of polymer based microcapsules and matrix particles by reactive and nonreactive encapsulation processes are one of the main focuses of IAP's research work. The development of adapted technologies and processes for complex system solutions for a wide variety of problems take center stage within bilateral research and development agreements with industrial enterprises. In this context, the adjustment of defined capsule sizes or capsule wall properties were in great demand. Additionally, the search for appropriate starting materials and the optimization of commercial polymer products, useful for the capsule formation and application oriented system optimization, are also subjects of the investigations.

Examples are projects for the encapsulation of agents or additives such as:

- the optimization of a thread safety device for use in aqueous systems,
- the stabilization of mykorrhiza spores,
- the microencapsulation of flame retardants ,
- the microencapsulation of substances to ward off domestic animal parasites which can then be time-released for a period of three to six months,
- the microencapsulation of perfume oils for use with cleaning products,
- the development of absorbable micro particles based on poly lactides for the generative manufacturing of stents using laser sintering.

The developed systems were studied in terms of molecular parameters (GPC, DSC, TGA, viscosimetry, polarimetry), but also with respect to their particle properties (zeta potential, particle size and particle size distribution, and re-release behavior).

Further opportunities for the application of encapsulation processes can be found in new techniques like mini emulsion polymerization which will be adapted in order to meet prospective customer demands for capsule systems at the submicron level. The »Business Model Innovation – New Fields of Applications for Microencapsulation« workshop was organized in collaboration with the Fraunhofer TEG and held at the Fraunhofer IAP in September 2008. Its function was to promote further development of microencapsulation technologies and to find new and innovative application areas. More than 80 participants from industry and research took part in this meeting with interesting contributions and discussions. One of the main achievements of the workshop was the formation of a »Technology Platform Microencapsulation«. The platform is to help link science and industry in the field of microencapsulation.

Anwendungen und Dienstleistungen

Thermoplastische und duromere Polymerwerkstoffe

Polymersynthesen

- Polykondensation in Lösung und Schmelze (linearkettige und Netzwerkpolymere)
- Synthese von Polymeren durch Polyaddition
- Synthese statistischer und nichtstatistischer Heteroketten-Copolymere
- radikalische Polymerisation in Lösung, in Masse und in Heterophasensystemen
- Polymersynthesen und Polymermodifizierungen durch Reaktivextrusionsprozesse
- Optimierung technischer Polymersyntheseprozesse
- Herstellung von Compounds durch in-situ Prozesse (Biokomposite, Nanokomposite)

Mikroverkapselung von Wirkstoffen und Kunststoffadditiven

- Pharmaka
- Lebens- und Futtermittelergänzungstoffe
- Kunststoffadditive
- Reaktionskomponenten für Kleb- und Dichtstoffe
- Controlled-Release-Systeme für Wirkstoffe

Applications and services

Thermoplastic and thermoset polymer materials

Polymer syntheses

- solution and melt polycondensation (linear-chain and network polymers)
- synthesis of polymers by polyaddition
- synthesis of random and non-random heterochain co-polymers
- radical polymerization in solution, in bulk and in heterophase systems
- synthesis and modification of polymers by reactive extrusion processes
- optimization of engineering polymer synthesis processes
- manufacture of compounds by in-situ processes (biocomposites, nanocomposites)

Microencapsulation of active ingredients and plastics additives

- pharmaceuticals
- food and animal feed supplements
- plastics additives
- reaction components for adhesives and sealing compounds
- controlled-release systems for active ingredients

Kontakt Contact



Forschungsbereichsleiter
Division director

Synthese- und Polymertechnik
Synthesis and polymer technology
Dr. Mathias Hahn
Telefon +49 331 568-1320
Fax +49 331 568-3000
mathias.hahn@iap.fraunhofer.de

Mikroverkapselung

Microencapsulation
Dipl.-Ing. Monika Jobmann
Telefon +49 331 568-1213
Fax +49 331 568-2513
monika.jobmann@iap.fraunhofer.de

Polymersynthese

Polymer synthesis
Dr. Antje Lieske
Telefon +49 331 568-1329
Fax +49 331 568-3000
antje.lieske@iap.fraunhofer.de

Polylactidpartikel für selektives Laserschmelzen

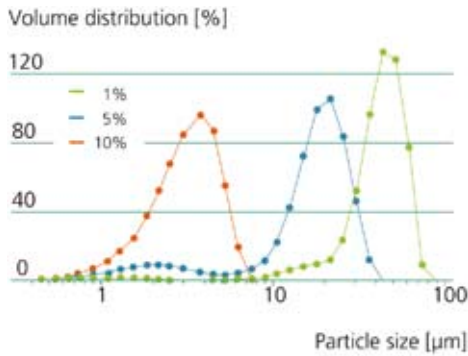


Fig. 1: Dependence of the volume particle size distribution of polylactide particles on the viscosity of the continuous aqueous phase (concentration of polyvinyl alcohol).

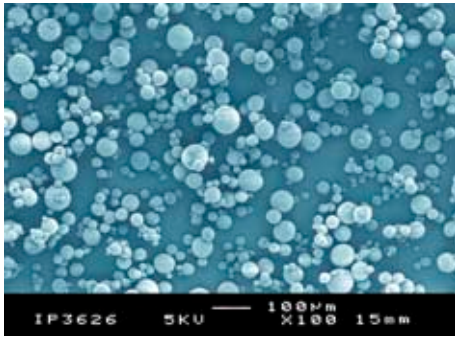


Fig. 2: Scanning electron micrograph of polylactide particles suitable for selective laser melting applications.



Fig. 3: Prototypes of bioresorbable stents (polymer: polylactide, process: selective laser melting).

Polylactide, d. h. Polymere bzw. Copolymere auf der Basis von Milchsäure sind bekanntermaßen bioresorbierbar und folglich für temporäre medizinisch-pharmazeutische Anwendungen gut geeignet und in Form verschiedener Produkte auch bereits kommerziell erhältlich (z. B. Retard-Abgabesysteme in partikulärer Form, Vliese für die Wundabdeckung). Ein weiteres interessantes Anwendungsgebiet ist die regenerative Medizin, in der der Ersatz permanenter durch bioresorbierbare Implantate zunehmend an Bedeutung gewinnt. Für einen optimalen Einheilungsprozess ist einerseits ein passgenaues Implantatdesign erforderlich, andererseits ist eine Versorgung des Implantates durch Zellgewebe über interkonnektive Porositäten im Implantat vorteilhaft. Zur Herstellung derartiger Implantate eignen sich Rapid Prototyping-Technologien, insbesondere das selektive Laserschmelzen (Selective Laser Melting, SLM).

Für den schichtweisen Aufbau der gewünschten Geometrien mittels SLM müssen die Polymermaterialien entsprechend feinteilig vorliegen. Durch Mahlprozesse generierbare Partikel bereiten u. a. aufgrund der unregelmäßigen Partikelformen Probleme beim Auftrag des Polymerpulvers, da die Rieselfähigkeit eingeschränkt ist. Für die Herstellung sphärischer Polymerpartikel wurde deshalb die Einsatzmöglichkeit des Lösungsmittelverdampfungsverfahrens, einer aus dem Bereich der Mikroverkapselung bekannten Technologie, geprüft.

Zur Herstellung feinteiliger Partikel wird das Polylactid in einem organischen, nicht mit Wasser mischbaren Lösungsmittel wie beispielsweise Chloroform gelöst. Die Polymerlösung wird anschließend in einer kontinuierlichen wässrigen Phase dispergiert und nach Einstellung der gewünschten Tröpfchengröße das Polymerlösungsmittel abgedampft. Mithilfe dieses Verfahrens ist es im Prinzip möglich, die gesamte

Palette von kommerziell verfügbaren Polylactiden und entsprechender Copolymere in Partikelform herzustellen. Die Größe der resultierenden Polymerpartikel kann über die Viskosität der Polymerlösung (Konzentration der Polymerlösung bzw. Molmasse des eingesetzten Polymers) und/oder die Viskosität der kontinuierlichen wässrigen Phase, modifiziert durch Zusatz von Hydrokolloiden variierender Molmasse bzw. Konzentration, eingestellt werden (Fig. 1). Vorzeitiger Polymerabbau wurde bei Einsatz dieses Partikelbildungsverfahrens nicht festgestellt.

Für das SLM-Verfahren erwiesen sich Polylactidpartikel in einem Größenbereich von 10-50 µm als besonders geeignet (Fig. 2). Die Rieselfähigkeit der Partikel wurde durch den Einsatz von Polyvinylalkohol als Viskositätsvermittler in der wässrigen kontinuierlichen Phase noch zusätzlich verbessert. Bei Einsatz dieser Partikel konnten mittels SLM Testgeometrien für bioresorbierbare Stents hergestellt werden (Fig. 3).

Weitere Untersuchungen zur Nutzung alternativer Partikelbildungsverfahren, bei denen auf den Einsatz chlorierter Kohlenwasserstoffe als Polymerlösungsmittel verzichtet werden kann, sind geplant.

Poly lactide particles for selective laser melting applications

Poly lactides, polymers or co-polymers based on lactic acid, are known to be bioresorbable and therefore suitable for temporary medical-pharmaceutical applications. Different products based on these polymers and co-polymers are already commercially available today (e.g. retarding release systems in the form of microparticles, fleeces for wound dressing). Regenerative medicine has been identified as another interesting field of application. Substitution of permanent implants by temporary bioresorbable implants is becoming increasingly important. A tailor-made implant design is required for optimum implant healing. At the same time, it is beneficial to feed the implant with cellular tissue through interconnective porosities inside the implant. Rapid prototyping technologies, in particular the selective laser melting process (SLM), are suitable for the manufacture of such tailor-made implants.

The polymer materials must be available as a fine powder to achieve the layer-by-layer design of the tailor-made implant through application of the SLM process. Powdered polymers are not suitable because of their irregular particle shape. Such powders cause problems during the layer-by-layer application because of their bad flowability. The use of a solvent evaporation process, a process applied to microencapsulate active agents, was studied to produce spherical polymer particles.

In this process, the polymer material is dissolved in an organic solvent which is not miscible with water (e.g. chloroform). The dispersion of the polymer solution in a continuous aqueous phase and adjustment of the desired droplet size is followed by polymer solvent evaporation. Using this process, it is possible, in principle, to apply the whole range of commercially available poly lactides and corresponding co-polymers to form the small spherical particles. The size of the resulting poly-

mer particles can be controlled by the polymer solution viscosity (concentration of the polymer solution as well as molecular weight of the selected polymer) and/or by the viscosity of the continuous aqueous phase, modified by the addition of hydrocolloids with varying molecular weight and/or concentration (Fig. 1). Premature polymer degradation was not found when applying the solvent evaporation process to produce spherical poly lactide particles.

Poly lactide particles in the range of 10-50 μm are particularly suited for the SLM process (Fig. 2). The flowability of the small particles can be additionally improved by using polyvinyl alcohol as a viscosity modifier in the aqueous continuous phase. Using poly lactide particles produced in this way resulted in the production of model geometries for bioresorbable stents (Fig. 3).

Further investigations are planned using alternative particle forming processes without the necessary application of chlorinated hydrocarbons.

Kontakt Contact



Dipl.-Ing. Monika Jobmann
Telefon +49 331 568-1213
Fax +49 331 568-2513
monika.jobmann@iap.fraunhofer.de

Kooperation Collaboration
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen

Erweiterung des Eigenschaftsprofils von Polylactid

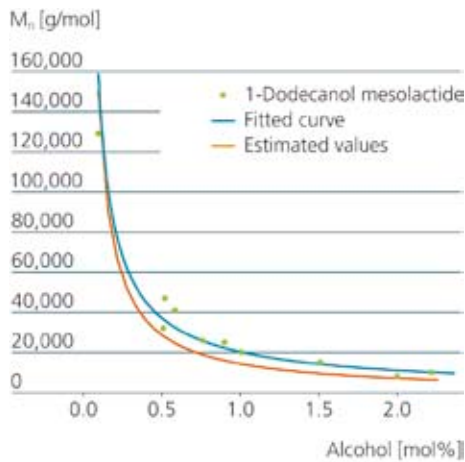


Fig. 1: Comparison of theoretical and measured molecular weights of PLA using different amounts of dodecanol.

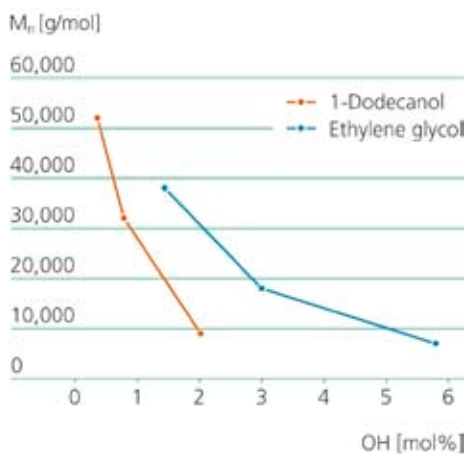


Fig. 2: Influence of mono and bifunctional initiators on the molecular weight of PLA.

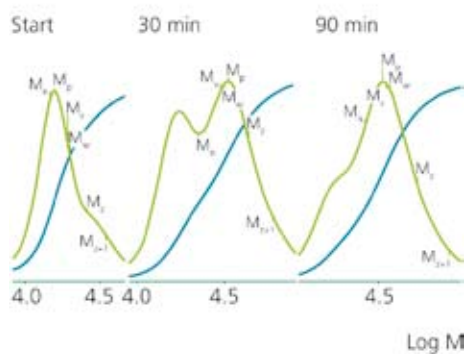


Fig. 3: Time progression of chain extension of PLA ($M_n = 15,000$ g/mol).

Im Rahmen der FuE-Arbeiten zur Entwicklung von neuen Polylactid-Typen mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen wurden Untersuchungen u. a. mit dem Ziel der Erarbeitung von Methoden zur effizienten Steigerung der Molekulargewichte der Polymere durchgeführt. Dabei wurden Möglichkeiten favorisiert, die keine oder nur marginale Änderungen des generellen technischen Syntheseprozesses erfordern.

Die Synthese von Polylactid (PLA) erfolgt technisch über eine Ringöffnungs-polymerisation (ROP) des zyklischen Dilactids mit dem Katalysator Zinnoctat und einem Alkohol (z. B. 1-Dodecanol) als Initiator. Entsprechend des Koordinations-Insertions-Mechanismus der ROP bildet der Alkoholrest über eine Esterfunktion eine der Endgruppen der Polyesterketten, während als zweite Endgruppe eine Hydroxylfunktion entsteht. Das Konzentrationsverhältnis von Alkohol zu Monomer bestimmt die Kettenlänge der entstehenden Polymere. Wie die Untersuchungen zeigen, entsprechen die Molmassen der erhaltenen Polymere bei Variation der Konzentration des Alkohols zwischen 0,1 und 2,2 Molprozent nahezu den theoretisch berechneten (Fig. 1). Damit eröffnen sich neben der Einstellung des Molekulargewichtes eine Reihe von Möglichkeiten, durch Verwendung von OH-endfunktionalisierten Polymeren auch die Polymereigenschaften zu modifizieren.

Verwendet man zweiwertige Alkohole, z. B. Ethylenglykol, besteht die Möglichkeit des Kettenwachstums an beiden Hydroxylgruppen. Aus Fig. 2 geht hervor, dass die damit theoretisch mögliche Verdopplung des Molekulargewichts auch praktisch weitgehend erreicht werden kann. Bei der Initiierung mit polyfunktionellen Alkoholen werden demnach verzweigte oder sogar vernetzte Polymere erhalten. Gleichzeitig enthalten die gebildeten

PLA-Ketten eine jeweils der Funktionalität des Initiators entsprechende Anzahl an Hydroxylendgruppen, so dass sie als Diol- oder Polyolkomponenten für geeignete Folgereaktionen zur Verfügung stehen.

Polymere mit Hydroxylendgruppen lassen sich z. B. mittels Diisocyanaten über die Ausbildung von Urethan-Bindungen verknüpfen. Auf diese Weise lassen sich einerseits Blockcopoly-mere herstellen, andererseits kann das Prinzip auch zur Synthese sehr hochmolekularer Produkte, die im direkten Polymerisationsprozess oft nicht zugänglich sind, verwendet werden. Erste Versuche zur Kettenverlängerung mit dem Ziel einer Optimierung der Reaktionsbedingungen wurden in der Schmelze mit Polylactid-Ketten durchgeführt, die mittels Dodecanol-Initiierung hergestellt wurden. Als Reaktionsgefäß wurde eine Glasapparatur mit Magnetrührer verwendet. Es zeigte sich, dass auf diese Weise eine Verdopplung der Molmassen möglich ist, die Reaktion also prinzipiell zu vollständigem Umsatz abläuft. Für ein Polymer mit einem M_n von 10 000 g/mol ist die Reaktion nach 30 Minuten abgeschlossen. Dagegen beträgt die Reaktionsdauer für ein entsprechendes Polymer mit einem M_n von 15 000 g/mol bereits 90 Minuten (Fig. 3). Dies ist vermutlich auf eine Diffusionskontrolle der Reaktion zurückzuführen. Kürzere Reaktionszeiten könnten in diesem Fall durch eine intensivere Vermischung, wie sie beispielsweise in einem Extruder erzeugt wird, realisiert werden.

Enhancing the property profile of polylactide

Current R&D activities to develop new kinds of polylactides with different properties included an investigation that sought to develop methods that would efficiently increase the molecular weight of these polymers. Options were favored which require no or only marginal changes to the general technical synthetic process.

The technical synthesis of polylactide is carried out using ring opening polymerization (ROP), with cyclic dilactide as the monomer, stannous octoate as the catalyst and alcohol (for example 1-dodecanol) as the initiator. According to the coordination-insertion mechanism of the ROP, one of the end groups of the polyester is formed by the alkyl group of the alcohol through an ester function. A hydroxyl function is generated as the second end group. The alcohol to monomer ratio determines the chain length of the resulting polymer. As our investigations show, the molecular weight of the resulting polymers corresponds nearly to that of the estimated values at alcohol concentrations between 0.1 and 2.2 mole percent (Fig. 1). In addition to adjusting the molecular weight, different options become available that modify the polymer properties through the application of polymers with OH end groups.

Using a bifunctional alcohol like ethylene glycol, the chain growth can occur at both hydroxyl functions. Our investigation has shown that the theoretically possible doubling of the molecular weight is almost achieved (Fig. 2). Accordingly, initiation with polyfunctional alcohols leads to branched or cross-linked polymers. At the same time, the formed PLA chains have a quantity of hydroxyl end groups which corresponds to the number of functionalities of the initiator, so that they can be used as a diol or polyol component in suitable subsequent reactions.

Thus polymers with hydroxyl groups connect by forming urethane linkages using diisocyanates for instance. This allows block co-polymers to be produced. Furthermore this principle can also be used to synthesize very high-molecular polymers, which usually cannot be obtained through direct polymerization. First chain extension experiments, which aim to optimize reaction conditions, were carried out in the melt using dodecanol-initiated polylactide. A glass vessel with magnetic stirrer was used. A doubling of the molecular weight was shown to be possible, so that, in principle, the reaction may achieve complete conversion. If a polymer with $M_n = 10,000$ g/mol is used, the reaction is completed after 30 minutes. In contrast, the reaction time for a corresponding polymer with $M_n = 15,000$ g/mol is 90 minutes (Fig 3). This is presumably caused by the diffusion control of the reaction. Shorter reaction times can possibly be obtained through intensified mixing, as is generated for instance in extruders.

Kontakt Contact



Dr. Jan Broniecki
Telefon +49 331 568-1142
Fax +49 331 568-3000
jan.broniecki@iap.fraunhofer.de

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

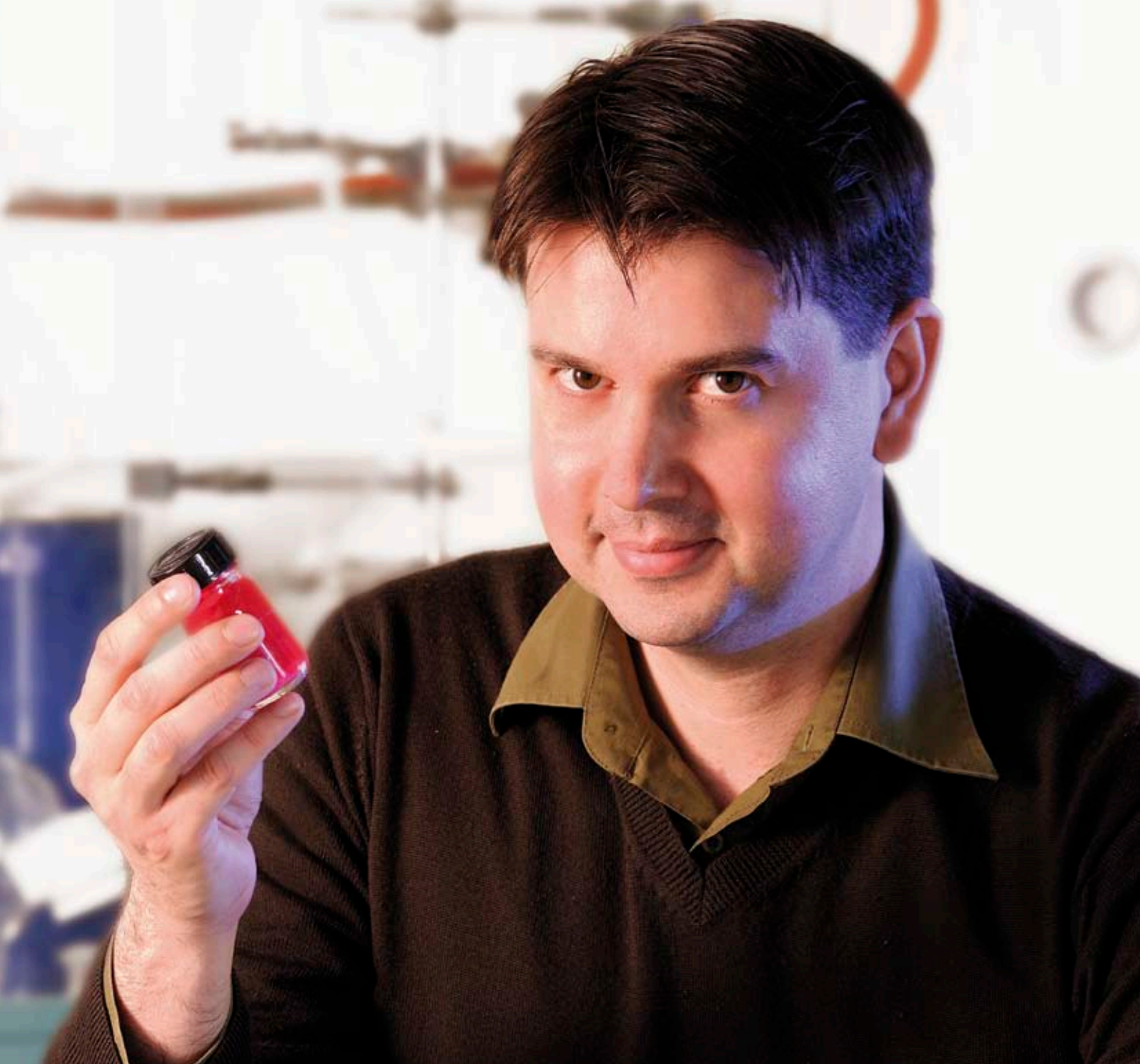
Förderung Funding

Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe

Kooperation Collaboration

Uhde Inventa Fischer;

Pyramid Bioplastics Guben GmbH



Wasserbasierende Polymersysteme

Water-based polymer systems

Wasser – Ein attraktives Medium für Polymere und ihre Technologien
Water – an attractive medium for polymers and their technologies

Anwendungen und Dienstleistungen
Applications and services

Charakterisierung von Papieradditiven in wässriger Lösung
The challenge of characterizing paper additives in aqueous media

Bioaktive Oberflächen durch Modifikation mit Spezialpolymeren
Bioactive surfaces through modification with customized polymers

Biokompatible Hydrogele für Kontaktlinsen
Biocompatible hydrogels for contact lenses

Forschungsgruppe Nanotechnologie für Life-Science
Nanotechnology for Life Science research group

*Oben: Wissenschaftler Dr. Jean-Francois Lutz – Betrachtung einer Lösung aus Rhodamin-B mit markierten Latex Nanopartikeln.
Top: Scientist Dr. Jean-Francois Lutz – consideration of an solution of Rhodamin-B with marked latex nanoparticles.*

*Unten: Rhodamin-B mit markierten Latex Nanopartikeln.
Bottom: Rhodamin-B with marked latex nanoparticles.*

Wasser – Ein attraktives Medium für Polymere und ihre Technologien

Wasser prägt unsere Existenz auf vielen Ebenen. Es ist nicht nur unverzichtbares Medium für alles Leben, Wasser ist auch für viele technische Prozesse und Produkte ideal als Löse-, Dispergier- und Reaktionsmedium. Denn Wasser ist ungiftig, unbrennbar und unbegrenzt recyclefähig und damit einzigartig als Medium geeignet für eine nachhaltige Produktion und Chemie. Daher sind Herstellung, Verarbeitung und Anwendung von Polymeren in wässrigen Systemen unter sicherheitstechnischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten gleichermaßen attraktiv. In vielen Fällen gibt es zu Wasser wegen seiner spezifischen Eigenschaften keine Alternativen, wie bei Polyelektrolyten oder Latices. Dies gilt meist auch für den Einsatz von Polymeren in den Feldern Gesundheit, Kosmetik, Ernährung, Bio- und Lebensmitteltechnologie, wo wasserbasierende Systeme am ehesten mit den Einsatzgebieten vereinbar sind. Aber auch zu Systemen, die klassischerweise auf organischen Lösemitteln beruhen, stellen wasserbasierende Polymersysteme zunehmend eine attraktive Alternative dar und eröffnen neue Möglichkeiten.

Wasserbasierende Polymersysteme umfassen das gesamte Spektrum von Polymeren, die wasserlöslich sind und in wässriger Lösung angewandt werden, über solche, die aus Wasser appliziert werden, deren Endverbleib aber nicht-wässrig ist, bis zu an sich wasserunlöslichen Systemen, in denen Wasser als temporäres Hilfs-, Verarbeitungs- oder Dispergiermittel dient. In die erste Gruppe fallen z. B. Viskositätsregler, Tenside, Emulgatoren und Löslichkeitsvermittler, Anti-Redeposition Agents, Entschäumer, oder Ionenaustauscher und Wasserenthärter. Die zweite Gruppe beinhaltet u. a. Flockungsmittel, Papierchemikalien, Weichspüler, Haarpflegemittel, Lacke, Klebstoffe, Photoresists oder Betonhilfsmittel. Für die dritte Gruppe stehen viele Polymerkol-

loide und Latices, sei es für Anstriche, Kautschuke oder PVC, und diverse Verkapselungsmaterialien.

Das Feld wird ergänzt durch die vielen Polymersysteme, die in ständigem Kontakt mit Wasser eingesetzt werden, ohne in diesem Medium löslich oder hergestellt worden zu sein. Hier sind primär Systeme zu nennen, die von Wasser benetzt werden und die gegebenenfalls auch partiell quellen müssen. In diese Gruppe fallen Hydrogele, Superabsorber, viele Beschichtungen, bakterizide Oberflächen, medizinische Materialien, Membranen oder Absorber.

Der Forschungsbereich deckt mit seinen Kompetenzen und Aktivitäten wasserbasierende Polymersysteme in voller Breite ab. Die Arbeitsthemen erstrecken sich von Monomer- und Polymersynthese über Synthesemethodik, Verfahrensentwicklung, Analytik und Charakterisierung in wässrigen Systemen bis zu diversen Anwendungen auch außerhalb von Wasser. Als Schwerpunkte sind die Arbeitsgebiete Stoffentwicklung, molekular gelöste und kolloidale Systeme sowie Hydrogele und Grenz- bzw. Oberflächen zu nennen.

Besonderheiten

Wasser ist für die meisten organischen Substanzen – und entsprechend auch für Polymere – ein schlechtes Lösemittel und außerdem chemisch nicht inert. Dies ist bei der Herstellung, Lagerung und Anwendung von wasserbasierenden Polymeren zu berücksichtigen. Zusätzlich zu dem oft schwierigen chemischen Verhalten besitzt Wasser eine Reihe besonderer physikalischer Eigenschaften. Gleichzeitig ist für die molekulare Struktur der meisten wasserbasierenden Polymere der Einbau von Gruppen charakteristisch, die eine

starke Affinität zu Wasser haben, also der Einbau von ionischen und/oder hochpolaren Gruppen. Das gilt gleichermaßen für Polymere synthetischer oder natürlicher Herkunft. Dies führt zu komplexen Wechselwirkungen der Polymere bereits untereinander und erst recht mit dem Lösemittel Wasser. Daher ist das Verhalten wasserbasierender Polymere oft sehr kompliziert und verlangt spezielle Synthese-, Analyse- und Untersuchungsmethoden. Parallel zu unserer langjährigen Syntheseerfahrung haben wir daher auch die Analytik und Untersuchung wässriger bzw. wasserbasierender Systeme entwickelt und können so die Entwicklung neuer Produkte und Verfahren unter sehr unterschiedlichen Gesichtspunkten wie auch ganzheitlich betreiben.

Polymerisationsmethoden

Radikalische Polymerisationen bilden einen besonderen Schwerpunkt unserer Entwicklungsarbeiten, da sie in Wasser weitgehend ungestört ablaufen. Dazu kommen chemische Modifizierungen von Polymeren, wie sie in besonderem Maß für Polymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe anfallen. Die Arbeiten erstrecken sich aber auch auf nicht-wässrige Systeme und umfassen sowohl die Stoff- als auch die methodische und die verfahrenstechnische Seite. Die Stoffseite beinhaltet neben der eigentlichen Polymersynthese auch die Synthese neuer Monomere, Initiatoren, Kettenregler und -abbrecher. Die Aktivitäten werden ergänzt durch die Synthese von Additiven, beispielsweise neuen UV-Stabilisatoren oder Verträglichkeitsmachern. Als neuer methodischer Ansatz wurden in den letzten Jahren diverse Techniken der kontrollierten radikalischen Polymerisation entwickelt, vor allem unter anwendungstechnischen Gesichtspunkten für wässrige Systeme, und der Einsatz von ionischen Flüssigkeiten.

Diese Polymerisationsmethoden bieten einen neuen Zugang zu Polymeren mit besser definierten molekularen Parametern und besonderer Architektur. So lassen sich z. B. relativ einfach funktionale Block-Copolymere herstellen, die attraktive Möglichkeiten für die Entwicklung neuer Tenside, Emulgatoren, Dispergiermittel und Verträglichkeitsmacher eröffnen.

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

Neue wasserbasierende Polymere

Neue Stoffe und Produkte werden von uns je nach Anforderungsprofil und Einsatzgebiet auf Grundlage synthetischer – z. B. Polyacrylate – oder natürlicher Polymere – z. B. Polysaccharide –, entwickelt. Dies umfasst sowohl nicht geladene («nicht-ionische») wie auch geladene Polymere, also Polyelektrolyte und Ionomere. Dazu kommen Spezialprodukte wie die Polyampholyte, die gleichzeitig positiv und negativ geladene Gruppen tragen und in ihrem Verhalten oft Proteinen ähneln.

Gekoppelt mit einer intensiven Erforschung der Grundlagen haben uns langjährige Erfahrung in der Herstellung, Charakterisierung und Anwendung speziell im Feld der Polykationen wie auch der Polyampholyte zu einer internationalen Spitzenstellung verhol-

fen. Die Anwendungsgebiete von kationischen Polymeren demonstrieren sehr gut das Nebeneinander des Einsatzes von wasserlöslichen Polymeren in traditionellen wie auch in innovativen Produkten und Verfahren. Das breite Spektrum traditioneller Anwendungen reicht von Abwasserreinigung, Flockungsmitteln, Papierherstellung und Textilveredlung bis zu Haarfestigern und Weichspülern in Waschmitteln. Neue Entwicklungen finden sich in Bereichen wie bakterizide Oberflächen, Löschsäume, kontrollierter Transport und Freigabe von Arzneistoffen oder der Gentherapie.

Polymere Hydrogele

Hydrogele zeichnen sich durch vielfältige Anwendungen aus. Sie finden Einsatz in Hygieneprodukten, Körperpflege, Kosmetik, Pharmazie, Medizin und Lebensmitteln. Bei ihnen ist weit mehr als das Quellverhalten der Polymere und eine Kontrolle des Wasserhaushalts von Interesse. Sie können als Barriere-, Puffer-, Schutz-, Verträglichkeits-, Adhäsions-, Absorptions-, Depot- oder Sensorschicht dienen, aber auch für Schäume oder Trennprozesse. Je nach Einsatzzweck unterscheiden sich chemische Struktur und physikalisches Verhalten der Polymere deutlich, ganz in Analogie zu wasserlöslichen Systemen. Besonders in den letzten Jahren haben wir uns auch mit dem Gebiet der »intelligenten« Hydrogele beschäftigt, deren Quellverhalten durch äußere Reize gesteuert wird.

Polymerdispersionen

Werden an und für sich wasserunlösliche Polymere in Wasser hergestellt bzw. aus Wasser verarbeitet, fallen die Polymere in Form kleiner, kompakter Teilchen an, die sich durch gutes Fließverhalten und große Oberflächen auszeichnen. Sowohl Hartkern- wie auch Weichkernsysteme, einfache oder komplexe Strukturen (wie Kern-Schale-Systeme) oder Hybridstrukturen aus organischen Polymeren und anorganischen Materialien sind möglich. Selbst altbekannte Polymere zeigen als Polymerdispersion zum Teil ungewöhnte Eigenschaften und erlauben neue Anwendungen. In diesem Feld schließen sich unsere Aktivitäten unmittelbar an das Arbeitsgebiet der Dispersionspolymerisation an und ergänzen sich wechselseitig mit diesem. Entsprechend verfügen wir über eine große Erfahrung in Synthese, Analytik und Charakterisierung von Polymerdispersionen.

Water – an attractive medium for polymers and their technologies

Water is an ubiquitous and essential medium in nature and in our daily lives. Moreover, it is an attractive solvent, dispersing agent and reaction medium for many technical processes and products. As water is non-flammable, non-toxic, and easily recycled, it is the ideal medium for sustainable production, application and chemistry. Therefore, aqueous systems are equally profitable from economical, ecological and safety points of view. Frequently, the use of water is indispensable by virtue of its specific properties, for instance when dealing with polyelectrolytes or latexes. This is also generally true for polymers used in the fields of health, cosmetics, personal care, nutrition, food and biotechnology. In these systems, water is the most compatible solvent for the majority of uses. Still, water-based polymer systems are increasingly becoming attractive alternatives to systems which are classically based on organic solvents, and provide new opportunities in well-established applications.

Water-based polymer systems are highly diversified and cover the full spectrum of polymers including those that are water-soluble and are used in solution, those that are applied from water though their final use is non-aqueous, and even those for which water acts as temporary additive only while being inherently insoluble in water. The first group includes viscosity modifiers, surfactants and emulsifiers, anti-redeposition agents, defoamers, ion exchangers or water softeners. The second group comprises for instance flocculants, paper chemicals, fabric softeners, products for hair care, varnishes, adhesives, photoresists or concrete additives. The third group covers many polymer colloids and latexes, be it for paint, rubber or PVC, as well as diverse encapsulation materials.

The broad range of water-based polymer systems is complemented by systems that are regularly used in contact with water, although they are neither produced nor soluble in water. This includes, in particular, systems that are wetted by water and such that have to partially swell. This group contains hydrogels, superabsorbents, many coatings, bactericide surfaces, medical materials, membranes and adsorbents.

The competencies and activities of the research division cover the whole area of water-based polymers. They include monomer and polymer synthesis, synthesis methodology, process development, analytics and application of aqueous systems, including diverse applications outside of water. Core activities are in the fields of customized materials, molecularly dissolved and colloidal systems, as well as hydrogels, surfaces and interfaces.

Particularities of water-born polymer systems

Water is a poor solvent for most organic compounds, including polymers. Furthermore, water is usually not chemically inert. This has to be taken into account in the production, storage and application of water-based polymers. In addition to the chemical difficulties, water presents several exceptional physical properties. Moreover, the molecular structure of most water-based polymers is characterized by a high content of groups which have a strong affinity to water, namely ionic, and/or highly polar groups. This is equally true for synthetic and natural polymers. This molecular structure results in complex interactions between the polymers themselves as well as with the aqueous solvent. Consequently, the behavior of water-based polymers is complex and requires special analysis and testing methods. Therefore, we

have established the analysis and investigation of aqueous and water-based systems in our division too, in order to offer a comprehensive approach when developing new products and processes.

Methods of Polymerization

Our work concentrates a great deal on radical polymerization, as most radical reactions proceed easily and selectively in water. A second focus is on the modification of precursor polymers, as typically applied to natural polymers. Our activities extend beyond purely aqueous systems, and include materials, as well as methodological and processing aspects. The development of new materials includes not only the synthesis of new polymers, but also of new monomers, initiators, chain transfer agents and polymerization inhibitors. These topics are complemented by the synthesis of additives, for instance new UV-stabilizers and compatibilizers. In terms of new methods, we have developed various techniques of controlled radical polymerization with emphasis on their implementation in aqueous systems, as well as the use of ionic liquids. These new polymerization techniques open up new access to polymers with better defined molecular parameters and with complex architecture. For instance, functional block co-polymers can be prepared relatively easily, which offer attractive opportunities for developing new surfactants, emulsifiers, dispersing agents and compatibilizers.

In regards to chemical processes, surface reactions and polymerization in thin films, as well as dispersion polymerizations are of particular importance to us. They include normal and inverse emulsion polymerization, micro and mini-emulsion polymerization, suspension and precipitation polymer-

ization. The skillful selection of the process type and the appropriate choice of the process parameters allows for the optimization of the preparation and the properties of established products, and may even lead to completely new property profiles.

New water-based polymers

We develop new materials and products on the basis of synthetic polymers depending on the requirements and the fields of application – e.g. polyacrylates, or natural polymers like polysaccharides. The materials include uncharged («non-ionic») and charged polymers, i.e. polyelectrolytes and ionomers, as well as specialty products such as polyampholytes which simultaneously carry positively and negatively charged groups and which often exhibit properties similar to the behavior of proteins.

Our long-standing experience in the synthesis, characterization and application of polycations and polyampholytes, combined with basic research, has helped us obtain a top position in the field internationally. The various uses of cationic polymers illustrate the great potential of water-soluble polymers in traditional as well as in novel products and processes. The broad spectrum of traditional uses ranges from waste water treatment, to flocculants, paper production, textile finishing, hair gels and fabric softeners in detergents. New developments cover areas like bactericidal surfaces, fire-fighting foams, organic-inorganic hybrid materials, controlled transport and release of pharmaceuticals and gene therapy.

Polymeric Hydrogels

Hydrogels are versatile materials which are important for various applications. They are employed in food stuff, hygiene and personal care products, cosmetics, pharmaceuticals and medicinal products. Many properties must be adjusted beyond the fundamental behavior of swelling and the control of the water balance for them to function correctly. Hydrogels may act as a barrier, buffer, protective, compatibilizing, adhesive, absorption, storage or sensor layer, but also may be used for foams or for separation purposes. The chemical structure and physical behavior, like in water-soluble systems, vary depending on the intended use. In recent years, we have been increasingly developing »smart« hydrogels, whose swelling is controlled by external stimuli.

Polymer dispersions

When water-insoluble polymers are produced and processed from water, they are typically made as small, compact particles that thrive due to good rheological behavior and large surfaces. The processes are extremely variable and allow for the preparation of hard and soft core systems, simple and complex structures (such as core-shell), or hybrid structures made from organic polymers and inorganic materials. Even well-known polymers can behave unexpectedly in finely dispersed form and may allow for new applications. The activities in this field are closely related to the field of dispersion polymerization, which actually complement one another. Accordingly, we possess extensive experience and sophisticated analytical methods for the preparation, characterization and versatile applications of polymer dispersions.

Anwendungen und Dienstleistungen

Wasserlösliche Polymere

Ausgewählte Anwendungen

- Viskositätsregulierung
- Papierhilfsmittel
- Prozesshilfsmittel für Trennprozesse
- Schwermetall-Immobilisierung
- Verträglichkeitsmacher
- Solubilisatoren, Emulgatoren und Dispersionsstabilisatoren
- Tenside
- Trägerstoffe
- Zusatzstoffe in Kosmetika und Pharmazeutika
- Hydrogele
- Oberflächenmodifizierung
- temporäre und leitfähige Schichten

Neue Synthesen und Verfahren

- Initiatoren, Kettenregler und Funktionsmonomere
- Dispersionspolymerisation im wässrigen Medium
- Pfcopolymerisation in inverser Emulsion
- Polymerisation nach kontrollierten Mechanismen
- Modifizierung von Precursor-Polymeren

Definierte Molekülarchitekturen

- Polyelektrolyte mit gezielt eingestellter Ladungsdichte, Ladungsstärke, variablem Verhältnis hydrophiler und hydrophober Anteile
- amphiphile Blockcopolymerere
- polymere Tenside
- Polyelektrolyte mit alternierenden Ladungen (Pfcop-, Kammstruktur)
- polymere Betaine
- reversible und irreversible Gele
- Ionomere

Dispersionen und Kolloide

Spezialdispersionen

- maßgeschneiderte Partikelgrößen und -verteilungen im Nano- und Mikrometerbereich
- Einstellung von Partikelmorphologien, Funktionalität, Reaktivität
- Steuerung der Viskosität, Lagerstabilität und des Filmbildungsverhaltens für Beschichtungen

Modellkolloide

- Oberflächenpräparation als Träger von Biomolekülen für die medizinische Diagnose und die gezielte Wirkstofffreisetzung
- Farb-, Fluoreszenz- oder magnetische Markierung für medizinische Therapien
- Aufbau zwei- und dreidimensionaler Gitter aus Polymerkolloiden einheitlicher Größe als optische Sensorelemente (z. B. für Farb-erkennung, Abstandsmessung) und als Masken

Synthesen

- Emulsions- und Dispersionspolymerisation in wässrigen und inversen Systemen

Komplexe chemische Analyse

- von Polymeren, Additiven und Tensiden

Applications and services

Water-soluble polymers

Selected applications

- viscosity regulation
- papermaking aids
- process aids for separation processes
- immobilization of heavy metals
- compatibilizers
- solubilizers, emulsifiers and dispersion stabilizers
- surfactants
- carrier materials
- additives for cosmetic and pharmaceutical formulations
- hydrogels
- surface modification
- temporary and conducting layers

New syntheses and processes

- initiators, chain transfer agents and functional monomers
- dispersion polymerization in aqueous systems
- graft polymerization in an inverse emulsion
- polymerization by controlled mechanisms
- modification of reactive precursor polymers

Defined molecular architectures

- polyelectrolytes with adjusted charge density, ionic strength, variable hydrophobic-hydrophilic balance
- amphiphilic block co-polymers
- polymeric surfactants
- polyelectrolytes with alternating charges (graft and comb structures)
- polymeric betaines
- reversible and irreversible gels
- ionomers

Dispersions and colloids

Special dispersions

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

Model colloids

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

Syntheses

- emulsion and dispersion polymerization in aqueous, inverse and non-aqueous systems

Complex chemical analysis

- of polymers, additives and surfactants

Kontakt Contact



Forschungsbereichsleiter
Division director

Wasserbasierende Polymersysteme Water-based polymer systems

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

Wasserbasierende Funktionspolymere und Kolloide

Water-based functional polymers
and colloids

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

Funktionspolymere für die Medizintechnik Functional polymers for medical technology

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

Polymere Nanotechnologie für Life-Science Polymer nanotechnology for life science

Dr. Jean-Francois Lutz
Telefon +49 331 568-1127
Fax +49 331 568-3000
jean-francois.lutz@iap.fraunhofer.de

Charakterisierung von Papieradditiven in wässriger Lösung

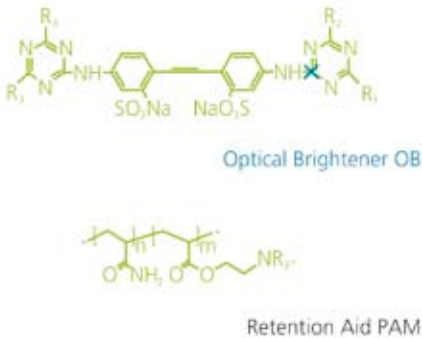


Fig. 1: Interaction of paper additives in aqueous solution: the optical brightener OB, (anionically charged stilbene derivative) and the retention aid PAM (cationically modified polyacrylamide).



Fig. 2: Paper sheet forming using the »drainage & retention« analyzer.

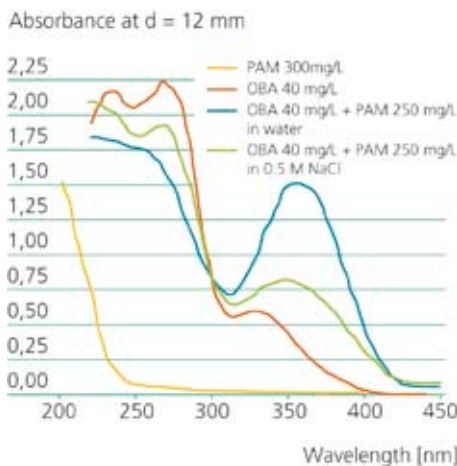


Fig. 3: High concentration ratios of PAM to OB result in a strong increase of absorption in the near UV. This effect can be partly suppressed in a salt solution.

In der Papierproduktion wird eine Vielzahl chemischer Additive eingesetzt, um die Eigenschaften des Papiers und den Herstellungsprozess bestmöglich einzustellen. Der weltweite Markt an Papieradditiven umfasst mehr als 14 Milliarden Euro im Jahr, wovon fast die Hälfte auf Prozesschemikalien entfällt. Diese werden vorrangig im »wet-end«-Bereich der Papiermaschine dosiert. Für weitere Fortschritte in der Papierherstellung ist es wichtig, die Wirkung und das Zusammenspiel der verschiedenen Additive im Gesamtsystem zu verstehen.

Trotz der bestehenden Vielfalt an polymeren Additiven und ihrer spezifischen Nutzung im Papierprozess, stimmen die molekularen Strukturen in markanten Merkmalen überein. Typischerweise enthalten sie hochpolare und/oder ionische Gruppen, deren Wechselwirkungen zu einem komplexen Lösungsverhalten führen. Unerwünschte Wechselwirkungen mit anderen Additiven können im Prozess einen Verlust an Produktivität, kostenintensive Überdosierungen und zusätzlich Produktionsprobleme (Rollenabriss, Ablagerungen) hervorrufen. Papierprodukte minderer Qualität sind die Folge. Die Aufklärung chemisch-physikalischer Wechselwirkungen trägt daher wesentlich zur Optimierung des »wet-end«-Bereiches bzw. des Gesamtprozesses der Papierherstellung bei. Unsere Labore verfügen hierzu über die erforderlichen methodischen und analytischen Voraussetzungen.

Wechselwirkung von Papieradditiven in wässriger Lösung

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes wurden die Wechselwirkungen unterschiedlicher Papieradditive, u. a. anionischer optischer Aufheller und kationischer Retentionsmittel, untersucht (Fig. 1). Die Ergebnisse belegen

im Rahmen der in der Blattbildung (Fig. 2) üblichen Einsatzmengen die hohe Affinität des Aufhellers zum Zellstoff. An das Retentionsmittel bindet der Aufheller unter diesen Bedingungen nur mäßig. Abweichende Bedingungen, speziell Überdosierungen von Retentionsmitteln, führen dagegen zu Polymeraggregaten, welche die Aufhellermoleküle einbinden. Diese Anordnung verändert die optischen Eigenschaften des Aufhellers (Fig. 3), so dass sich das visuelle Erscheinungsbild des Papiers, z. B. durch erhöhten Glanz oder Vergilbung, erheblich verändern kann.

Analytische Beiträge unter den Anforderungen von REACH

Neben der Prozessüberwachung gewinnt die molekulare Charakterisierung von Papieradditiven zunehmend an Bedeutung, insbesondere auch unter den aktuellen Anforderungen der REACH-Initiative. Die Bestimmung molekularer Parameter (absolute Molmasse, Geometrie) erweist sich bei kommerziellen Produkten oft als besonders anspruchsvoll, da diese häufig als komplexe Formulierungen (z. B. Retentionsmittel in Form von Wasser-in-Öl-Dispersionen) angeboten werden. Eine eindeutige Interpretation von Messdaten wird nur nach Einsatz spezifischer Präparationstechniken (Phasenseparation mit nachfolgenden Fällungs-, Wasch- und Dialysesritten) und durch Kombination sich ergänzender Messmethoden (Chromatographie, Viskosimetrie, Lichtstreuung, Osmometrie, Ultrazentrifugation) erreicht. Derartige Ansätze ermöglichen es, zwischen molekularen Parametern und assoziativen Phänomenen zu unterscheiden und so die erforderlichen molekularen Daten der einzelnen Additive zu erfassen.

The challenge of characterizing paper additives in aqueous media

Numerous chemical additives are used in papermaking in order to best synthesize paper properties and the papermaking process. The worldwide market of paper additives comprises over 14,000 million euros per year. Almost half of this amount is due to process chemicals being primarily added within the wet-end section of the paper machine. Hence in order to further improve papermaking, it is crucial to understand and control the effects and mutual interactions of the various additives throughout the entire system.

Despite the diversity of the different polymer additives and their specific uses in papermaking, they have several features in common. Typically, the molecular structure contains highly polar groups and/or ionic groups, i.e. electrically charged groups, whose strong, multiple interactions result in a complex behavior. Unwanted interference of different paper additives may cause a loss of efficiency and cost-intensive over-dosages along with production problems (tear-offs, deposits) leading to paper products of inferior quality. Thus, elucidating chemical-physical interaction of paper additives is a key measure in optimizing the entire papermaking process as well as the final paper product. Our specialized laboratories have the necessary methods and analytical tools at their disposal, also for working under REACH requirements.

Interactions of paper additives in aqueous media

As part of a joint project, we investigated the interactions of various paper additives in aqueous solutions, for example, an anionic optical brightener and a positively charged polymer as it is widely applied to improve pulp reten-

tion (Fig. 1). The results indicate the high affinity of the optical brightener to the pulp when using technically relevant concentrations within paper sheet forming experiments, whereas binding to the retention aid is only moderate (Fig. 2). However, an over-dosage of the retention aid induces different types of interactions and leads to polymer aggregates loaded with brightener molecules. This configuration modifies the optical properties (Fig. 3), so that the visual aspect of the paper product may change significantly, for instance by enhanced brightness or by yellowing.

Analytical contributions under REACH demands

In addition to process monitoring, the molecular characterization of polymer additives is essential for product quality assurance, in particular in accordance with the requirements of the REACH initiative. However, an adequate polymer analysis of molecular parameters (absolute molar mass, geometry) can be challenging for commercial products. High molecular retention aids are often provided as water-in-oil dispersions which add to the complexity. An accurate interpretation of measurements will only be successful by developing specific preparation techniques, e.g. phase separation followed by precipitation, washing and dialysis, as well as combining several complementary analytical methods such as chromatography, viscometry, light scattering, osmometry or ultra centrifugation. Only such a comprehensive approach makes distinguishing between molecular parameters and, for example, associative phenomena possible, and to define the necessary molecular data of the individual additives.

Kontakt Contact



Dr. Stefano Bruzzano
Telefon +49 331 568-1317
Fax +49 331 568-2617
stefano.bruzzano@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: IGF 15172

Kooperation Collaboration
Papiertechnische Stiftung, München;
Hochschule München;
Clariant Products Ltd., Muttenz (Schweiz)

Bioaktive Oberflächen durch Modifikation mit Spezialpolymeren

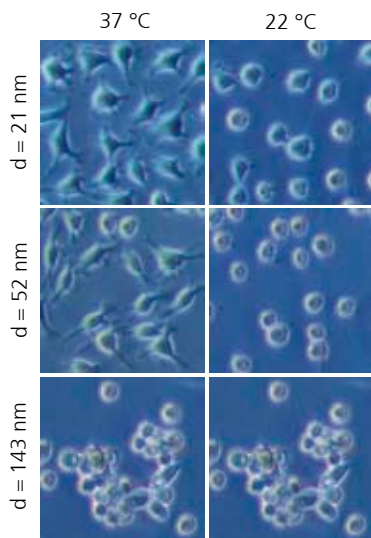


Fig. 1: Cell adhesion experiments with L929 mouse fibroblasts on thermoresponsive PEG copolymer coatings.

Top row: thickness of the thermoresponsive coating 21 nm; cells adhere well to the surface at 37 °C (left), but rounding at 22 °C is incomplete (right). The thickness of the coating is below the optimum.

Middle row: thickness of the thermoresponsive coating 52 nm; cells adhere well to the surface at 37 °C (left), and rounding at 22 °C is good, too (right). This is the desired situation.

Bottom row: thickness of the thermoresponsive coating 143 nm; cell adhesion is hampered at 37 °C (left), and consequently, there is little change when the temperature is lowered to ambient temperature. The thickness of the coating is above the optimum.

Ohne Zellkultur wären die in den letzten Jahren erzielten rapiden Fortschritte in den Lebenswissenschaften undenkbar. Obwohl es sich um eine etablierte Methode handelt, weist der Stand der Technik immer noch gravierende Unzulänglichkeiten auf. Zellen werden an Oberflächen kultiviert und müssen für ihre weitere Verwendung abgelöst werden. Dafür werden üblicherweise proteinabbauende Enzyme eingesetzt, die die Merkmale außerhalb der Zellmembran zerstören.

Intelligente Polymerbeschichtungen ermöglichen es nun, eine Alternative zu dieser unvorteilhaften Methode zu entwickeln – durch die Immobilisierung thermoresponsiver Polymere auf dem Boden der Zellkulturschalen. Unterschreitet die Temperatur einen Schwellenwert, so geht eine mit einem derartigen Polymer beschichtete Oberfläche von einem Zelladhäsion stimulierenden in einen zellabstoßenden Zustand über. Ausgelöst wird der Übergang, indem die Zellkulturschale aus dem 37 °C warmen Inkubator entfernt wird. Bei Raumtemperatur lassen sich dann die intakten Zellen von der intelligenten Oberfläche durch sanftes Spülen ablösen.

Der Effekt wird durch das Phänomen der unteren kritischen Entmischungstemperatur (LCST) hervorgerufen. Polymere, die eine LCST aufweisen, lösen sich in Wasser bei niedrigen Temperaturen, fallen aber aus, wenn die Temperatur einen bestimmten Wert übersteigt. Beschichtungen aus solchen Polymeren ändern nicht nur ihr Benetzungsverhalten, wenn die LCST überschritten wird, sondern auch die Affinität von Zellen zu der Oberfläche. Oberhalb der LCST haften die Zellen an der Oberfläche, breiten sich aus und vermehren sich. Wird die Temperatur unter den Schwellenwert gesenkt, sind die Zellen bestrebt, den Kontakt mit der Oberfläche zu minimieren, indem sie sich abrunden. In diesem Zustand

lassen sich die Zellen durch Spülen von der Oberfläche ablösen, ohne Schaden an ihrem Äußeren oder Beeinträchtigung ihrer Lebensfähigkeit.

Für die thermoresponsiven Beschichtungen wurden Copolymere aus Oligo(ethylenglykol)-Derivaten gewählt, da diese für biomedizinische Anwendungen etabliert sind und eine Reihe inhärenter Vorteile besitzen. Das Oligo(ethylenglykol)-Strukturmotiv hilft von sich aus gegen unspezifische Adsorption. Außerdem überspannen die LCSTs solcher Copolymere den Temperaturbereich von 0 bis 100 °C, je nach Zusammensetzung. Daher ist es leicht möglich, ein Copolymer mit der angestrebten Übergangstemperatur von ca. 34 °C herzustellen. Weiterhin können zusätzliche biofunktionale Gruppen an die oberflächengebundenen Polymerketten gebunden werden – entweder durch Funktionalisierung der Endgruppen oder durch Einbau zusätzlicher Comonomere.

Für den angestrebten Effekt muss die Beschichtung die richtige Dicke haben (Fig. 1). Eine zu dünne Beschichtung ermöglicht gute Zelladhäsion bei 37 °C, allerdings ist die Abrundung bei Raumtemperatur unvollständig. Eine zu dicke Polymerschicht führt zu unvollständiger Zelladhäsion bei erhöhter Temperatur, so dass sich wenig Änderung beim Abkühlen ergibt. Nur wenn die Beschichtungsdicke im optimierten Bereich liegt, kann man einen ausgeprägten Effekt beobachten.

Auf diese Weise eröffnen Beschichtungen mit Spezialpolymeren neue Möglichkeiten für die Zellkultur.

Bioactive surfaces through modification with customized polymers

The rapid advances in life science in the past few years would have been unthinkable without cell culturing. Although it is an established technique, there are still serious shortcomings in the state of technology. Cells are cultured on surfaces and must be lifted off for further use. Common protocols require the use of digesting enzymes for this step, which will destroy any features outside the cell membrane. Hence, with this method, harvesting completely intact cells is impossible.

As a result of our efforts in the field of smart polymer coatings, an alternative to this destructive method is on the horizon with the immobilization of thermo-responsive polymers. When the temperature drops below a certain threshold, a surface coated with such polymers switches from a cell adhesion stimulating to a cell-repellent state. Simply removing the cell culture plate from the incubator where it is kept at a temperature of 37 °C, and cooling it to room temperature does the trick. Intact cells can then be collected from the smart surface by applying mild shear flow.

The effect is caused by a phenomenon called lower critical solution temperature (LCST). Polymers exhibiting a LCST dissolve in water at low temperatures, but precipitate when the temperature passes above a critical value. Coatings made from such polymers not only change their wetting behavior when exceeding the LCST, but the affinity of cells to the surface changes at the same time. Above the LCST, the cells adhere, spread and proliferate on the surface. If the temperature is lowered, the cells tend to minimize contact with the surface by acquiring a round shape. In this state, they can be removed from the surface by mild shear flow. This happens without any damage to the exterior of the cells and without influencing their viability.

We chose to prepare thermo-responsive coatings from co-polymers of oligo(ethylene glycol) derivatives because these polymers are well established in biomedical applications and offer a number of advantages. First, the oligo(ethylene glycol) structural motive is bio-repellent in itself. Therefore, undesirable non-specific interactions are less likely than with other polymer compositions. Secondly, LCSTs of such co-polymers can be adjusted in the range of 0 to circa 100 °C, depending on the precise composition. Therefore, it is easy to prepare a copolymer with the appropriate transition temperature of approximately 34 °C. Thirdly, it is possible to bind additional bio-functional groups to the surface-tethered polymer chains, either by end group functionalization or by incorporating another co-monomer.

It is important that the coating has the right thickness to achieve the desired effect, as illustrated in Fig. 1. If the layer of thermo-responsive polymer is too thin, the cells adhere nicely at elevated temperature of 37 °C, but the rounding at ambient temperature is incomplete. If the polymer layer is too thick, cell adhesion at an elevated temperature is incomplete and consequently, there is little change when the cells are cooled to room temperature. Only in an optimized thickness range pronounced switching from an adherent to a rounded cell state takes place.

Thus, the modification of surfaces with customized polymers brings about new possibilities for cell culturing.

Kontakt Contact



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

Förderung Funding
Fraunhofer-Gesellschaft und
Max-Planck-Gesellschaft im Rahmen des
Campusprojekts »Bioaktive Oberflächen«

Kooperation Collaboration
Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik
IBMT, Potsdam-Golm;
Max-Planck-Institut für Kolloid- und
Grenzflächenforschung, Potsdam-Golm

Literatur Literature
[1] E. Wischerhoff, K. Uhlig, A. Lankenau,
H. G. Börner, A. Laschewsky, C. Duschl,
J.-F. Lutz: *Controlled Cell Adhesion on
PEG-Based Switchable Surfaces*, *Angew. Chem.*
Int. Ed., 47, 5666-5668 (2008)

Biokompatible Hydrogele für Kontaktlinsen



Fig. 1: Front view of a prototype hydrogel contact lens developed in a lab of the Fraunhofer IAP.

Viele Menschen brauchen Kontaktlinsen zur Korrektur ihrer Fehlsichtigkeit. Bereits Leonardo da Vinci träumte im 16. Jahrhundert davon ein Seehilfe zu finden, die direkt auf dem Auge getragen wird. Bis zu dem heutigen High-Tech-Produkt aus hochtransparentem Polymermaterial war es jedoch ein langer Weg intensiver Forschung und Entwicklung. Zur Verbesserung des Eigenschaftsprofils und der Biokompatibilität ist ständige Forschung und Weiterentwicklung notwendig. Meist werden die weichen Kontaktlinsen, die vorwiegend aus Hydrogelen bestehen, bei den Anwendern aufgrund ihres angenehmeren Tragegefühls bevorzugt.

Hydrogele

Hydrogele sind dreidimensional vernetzte hydrophile Polymere, die Wasser aufnehmen, selbst aber darin unlöslich sind. Über eine geschickte Auswahl der Monomerbausteine, des Vernetzungsgrades und der Vernetzungsdichte lassen sich Eigenschaftsprofile je nach gewünschter Anforderung oder Einsatzbereich maßschneidern. Für die Herstellung von Kontaktlinsenmaterialien sind zusätzlich zur geforderten optischen Transparenz eine Vielzahl zusätzlicher Eigenschaften des Materials zu berücksichtigen und zu optimieren.

Biokompatibilität

Eine wesentliche Eigenschaft ist die Biokompatibilität, d. h. die Verträglichkeit des Hydrogels mit dem lebenden Gewebe – der Augenhornhaut sowie dem Augenlid. Die Funktion des Biomaterials im biologischen System muss über einen längeren Zeitraum – von Stunden bis Tagen – gewährleistet sein, ohne die Hornhaut, mit der es in Kontakt steht, zu schädigen. Neben Tragekomfort und Verträglichkeit muss auch die Nährstoffversorgung der Hornhaut, beispielsweise mit Sauerstoff gewährleistet sein.

Während reine wasserhaltige Hydrogele eine geringe Sauerstoffdurchlässigkeit aufweisen, zeigen reine Silikonmaterialien (hydrophob) eine hohe Permeabilität – aber dafür einen geringeren Tragekomfort. Ziel ist es, diese teilweise konträren Eigenschaften geschickt zu kombinieren.

Neue Materialien

Die intensive Forschung nach neuen Kontaktlinsenmaterialien mit verbessertem Eigenschaftsprofil stellt eine besondere Herausforderung dar, da an Biokompatibilität und Tragekomfort hohe Anforderungen gestellt werden. Auch die Optimierung der Funktionalität sowie der Tragzeiten sind Gegenstand aktueller Entwicklungen. Durch ein intelligentes chemisches Polymerdesign kann dabei verhindert werden, dass sich Proteine und Lipide, die im Auge vorkommen, auf der Kontaktlinse ablagern.

Herstellung von Prototypen

Die Entwicklung beginnt im Labor: ausgeklügelte Kombinationen aus Monomeren und Initiatoren werden in Testformen je nach Polymerisationsmethode photochemisch oder thermisch polymerisiert. Dazu werden am Fraunhofer IAP – je nach gefordertem Eigenschaftsprofil – auch maßgeschneiderte Monomere, Initiatoren und Vernetzer synthetisiert und eine geeignete Polymerisationsmethode entwickelt. Nach der Hydratisierung werden die Hydrogelprototypen hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften untersucht. Optische Transparenz, Wassergehalt, Stabilität, Flexibilität, Sauerstoffpermeabilität, Restmonomergehalt und Biokompatibilität sind nur einige von den vielen zu untersuchenden Parametern. Wurden alle Tests erfolgreich durchlaufen, steht einem Anwendungstest in-vivo zur Beurteilung der Trageeigenschaft nichts mehr im Wege.



Fig. 2: Side view of a silicon hydrogel contact lens prototype.

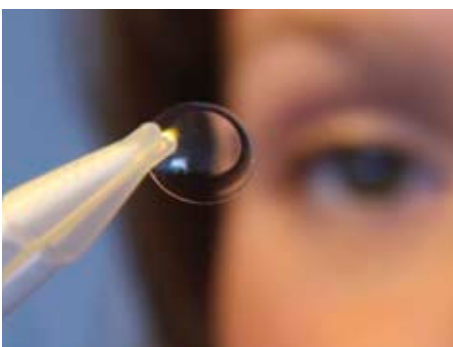


Fig. 3: Visuell and haptic inspection of hydrogel lens prototype.

Biocompatible hydrogels for contact lenses

Many people need contact lenses to correct poor vision. In the 16th century, Leonardo da Vinci was already dreaming of a corrective lens which could be worn directly on the eye. However it was a long journey of research and development before today's high-tech product, made of a highly transparent polymer material, could be achieved. Constant research and further development is necessary to improve its properties and its biocompatibility. Contact lens wearers usually prefer soft contact lenses, made mostly from hydrogels, because they are more comfortable to wear.

Hydrogels

Hydrogels are three-dimensional cross-linked hydrophilic polymers which absorb water but are themselves not water soluble. Properties can be tailored according to desired specifications or application areas by cleverly selecting the monomer building blocks, degree of cross-linking and the cross-link density. In addition to the required optical transparency, numerous other material properties have to be considered and optimized to produce the contact lens materials.

Biocompatibility

Biocompatibility, i.e. the hydrogel's compatibility with living tissue, such as the cornea and the eyelid, is an important property. The biomaterial must be able to function within the biological system over a longer period of time – from hours to days – without damaging the cornea with which it comes into contact. In addition to properties like comfort and compatibility, the cornea must also be supplied with nutrients such as oxygen. Purely hydrous hydrogels exhibit low oxygen permeability.

Pure silicone materials (hydrophobic) have a high permeability, but are less comfortable. The goal is to cleverly combine these often opposing properties.

New materials

The intensive research into new contact lens material with improved properties poses a particular challenge as the biocompatibility and comfort for the wearer are extremely important. Furthermore, optimizing functionality and the period of wear are subjects of current developments. Intelligent chemical polymer design can keep proteins and lipids, found on the eye, from settling onto the contact lens.

Prototype manufacturing

Development starts in the lab: ingenious combinations of monomers and initiators in test form are photochemically or thermally polymerized depending on the polymerization method. For this, the Fraunhofer IAP synthesizes tailor-made monomers, initiators and cross-linking agents according to the properties required and develops a suitable polymerization method. After hydration, the hydrogel prototypes are examined to establish their physical and chemical properties. Optical transparency, water content, stability, flexibility, oxygen permeability, residual monomer content and biocompatibility are only some of the many parameters which are being investigated. If all tests are carried out successfully, nothing stands in the way of an in-vivo application test.

Kontakt Contact



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

Forschungsgruppe Nanotechnologie für Life-Science

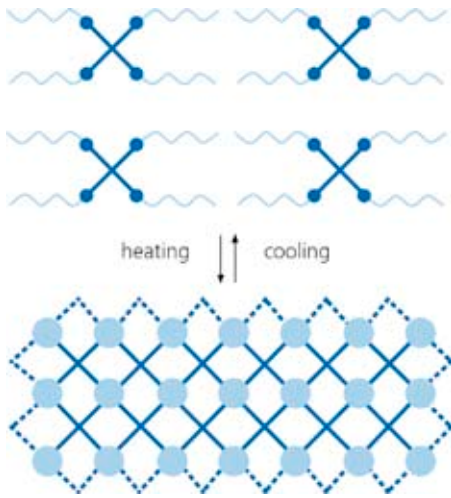


Fig. 1: Thermogelation of four-arm star polymers. Light blue and dark blue segments represent the thermoresponsive blocks and the permanently hydrophilic star-cores, respectively.

Das Ziel der Forschungseinheit »Nanotechnology for Life Science« ist es, innovative Polymermaterialien zur Anwendung in den Biowissenschaften zu designen. Das Forschungsteam besteht aus sieben Mitgliedern und vereint Fertigkeiten in makromolekularer Chemie, Polymer-Physiko-Chemie und Biochemie. Daher werden eine breite Palette biologisch anwendbarer Makromoleküle wie biologisch abbaubare Polymere, amphiphile Blockcopolymere und schaltbare Polymere (z. B. Temperatur- oder pH-schaltbare Polymere) entworfen, synthetisiert und charakterisiert. Diese Polymere können über etablierte Synthesewege (z. B. konventionelle radikalische Polymerisation, Atom Transfer Radikal Polymerisation, ringöffnende Polymerisation oder Polykondensation) oder über die Modifikation von Biopolymeren wie Polysacchariden oder Proteinen hergestellt werden.

Weiterhin können diese Makromoleküle genutzt werden, um einen großen Bereich an nano- oder mikrostrukturierten Materialien zu designen. In den letzten Jahren entwickelte die Gruppe beispielsweise eine große Kollektion polymerbasierter Kolloide (z. B. Mikrogele, Mizellen) und polymerbeschichtete Nanopartikel (z. B. Eisenoxid-Nanopartikel). Insbesondere wurde die Stabilität dieser Materialien unter physiologischen Bedingungen (z. B. Puffern, Zellmedien) und ihre möglichen Anwendungen in verschiedenen Bereichen von »Life Science« wie Gentherapie, Proteintransfer und medizinische Bildgebung untersucht. Neben kolloidalen Systemen werden auch unterschiedliche nanostrukturierte Polymeroberflächen untersucht. Außerdem wird die Modifizierung von Modellpolymersubstraten (z. B. Polypropylen, Polystyrol) oder anorganischen Substraten (z. B. Gold, Glas) mit biokompatiblen Polymeren studiert. Diese modifizierten Oberflächen sind von beachtlichem Interesse für biotechnologische Anwendungen

wie cell engineering, Bio-Assays und Bioseparation.

Das Design makroskopischer Polymermaterialien wie den Hydrogelen ist auch ein wichtiger Teil des Forschungsprogramms. Verschiedene Polymernetzwerktypen, die entweder chemische (kovalente Bindungen) oder physikalische (nicht-kovalente Wechselwirkungen) Quervernetzungen enthalten, werden synthetisiert und charakterisiert. Erst kürzlich berichtete die Gruppe von einem interessanten Beispiel eines thermoschaltbaren Hydrogelnetzwerks. Biokompatible Scaffolds mit zwischen Raumtemperatur und physiologischer Temperatur umschaltbaren Eigenschaften sind Materialien von hohem Interesse für biomedizinische Anwendungen wie regenerative Medizin, transdermale Pflaster und Implantate. Die Bausteine dieser kontrollierbaren Netzwerke sind vierarmige Sternpolymere (Fig. 1), die innen permanent hydrophile Polyethylenglycol-Blöcke und außen wärmeschaltbare Oligoethylenglycol basierte Blöcke enthalten. Unter der unteren kritischen Entmischungstemperatur (LCST) der wärmesensiblen Segmente sind diese Stern-Block-Copolymere doppelt hydrophil, d. h. vollständig löslich in wässrigem Medium, während über der LCST die wärmesensiblen äußeren Blöcke ausfallen. Das resultiert in der Bildung eines definierten Hydrogelnetzwerks. Obwohl sie eigentlich aus demselben biokompatiblen Material – Polyethylenoxid-Einheiten – zusammengesetzt sind, zeigen diese optimierten Architekturen kontrollierbare Sol-Gel-Übergänge in der Nähe physiologischer Temperaturen (Fig. 2).

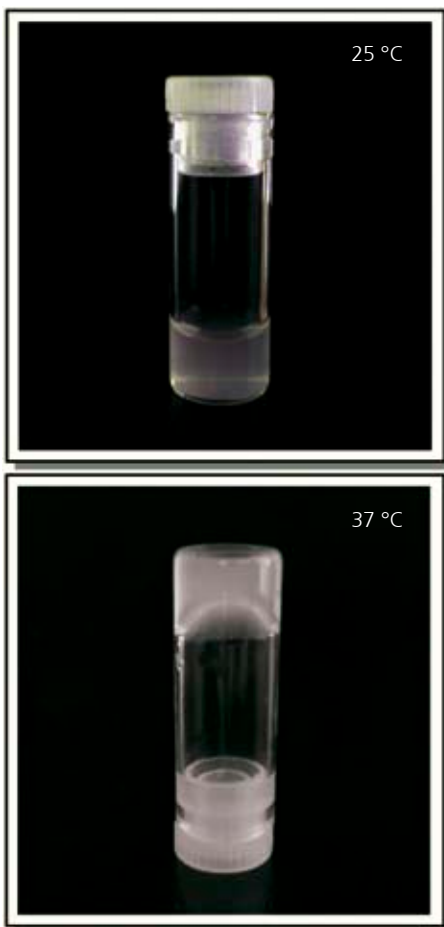


Fig. 2: Typical aspect of four-arm star biocompatible thermogels below (top) and above (bottom) the LCST (concentration: 16 mass percent in phosphate buffered saline solution).

Nanotechnology for Life Science research group

The objective of the research unit »Nanotechnology for Life Science« is to design innovative polymer materials for applications in biosciences. The scientific team is composed of seven members and combines skills in macromolecular chemistry, polymer physicochemistry and biochemistry. Thus, a large range of bio-applicable macromolecules such as biodegradable polymers, amphiphilic block co-polymers and stimuli-responsive polymers (e.g. temperature or pH-responsive polymers) are designed, synthesized and characterized. These polymers can be prepared using established polymerization methods (e.g. conventional radical polymerization, atom transfer radical polymerization, ring-opening polymerization or polycondensation) or by modifying biopolymers such as polysaccharides or proteins.

Moreover, these macromolecules can be exploited to design a wide range of nano- or micro-structured materials. For instance, in recent years the group has developed a broad collection of polymer-based colloids (e.g. microgels, micelles) and polymer-coated nanoparticles (e.g. iron oxide nanoparticles). In particular, the stability of these materials in physiological conditions (e.g. buffers, cell medium) and their possible applications in various areas of life science such as gene therapy, protein delivery and medical imaging were studied. In addition to colloidal systems, the group also investigates a variety of nano-structured polymer surfaces. For example, the modification of model polymer substrates (e.g. polypropylene, polystyrene) or inorganic substrates (e.g. gold, glass) with bio-compatible polymers are studied. These modified surfaces are of considerable interest for biotechnology applications such as cell engineering, bio-assays and bioseparation.

The design of macroscopic polymer materials such as hydrogels is also an important part of the research program. Various types of polymer networks containing either chemical crosslinks (e.g. covalent bonds) or physical crosslinks (e.g. non-covalent associations) are synthesized and characterized. For instance, the group recently reported an interesting example of thermo-reversible hydrogel networks. Biocompatible scaffolds with switchable properties between room temperature and physiological temperature are materials of high interest for biomedical applications such as regenerative medicine, cell engineering, transdermal patches and implants. The building-blocks of these controllable networks are four-arm star polymers (Fig. 1), which possess permanently hydrophilic poly (ethylene glycol) inner-blocks and thermoresponsive oligo (ethylene glycol)-based outer-blocks. Below the lower critical solution temperature (LCST) of the thermo-responsive segments, these star-block co-polymers are double-hydrophilic (i.e. fully soluble in aqueous medium), whereas the thermoresponsive outer-blocks precipitate above the LCST. This results in the formation of a defined hydrogel network. Although essentially composed of the same biocompatible material (i.e. ethylene oxide units), these optimized architectures exhibit controllable sol-gel transitions at near physiological temperatures (Fig. 2).

Kontakt Contact



Dr. Jean-Francois Lutz
Telefon +49 331 568-1127
Fax +49 331 568-3000
jean-francois.lutz@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

DFG (Sfb 448);
BMBF innovative Therapien;
Campusprojekt Bioaktive Oberflächen

Kooperation Collaboration

Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam-Golm;
Universität Potsdam;
Bayer-Schering Pharma AG, Berlin;
Charité, Berlin;
Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT, Potsdam-Golm;
Ludwig-Maximilians Universität München

Literatur Literature

- [1] N. Fechler, N. Badi, K. Schade, S. Pfeifer, J.-F. Lutz: *Thermogelation of PEG-based Macromolecules of Controlled Architecture*, *Macromolecules*, 42, 3 (2009)
- [2] E. Wischerhoff, K. Uhlig, A. Lankenau, H. G. Börner, A. Laschewsky, C. Duschl, J.-F. Lutz: *Controlled Cell Adhesion on PEG-Based Switchable Surfaces*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 47, 5666 (2008)
- [3] J.-F. Lutz: *Polymerization of Oligo(ethylene glycol) (Meth)acrylates: Toward New Generations of Smart Biocompatible Materials*, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, 46, 3459 (2008)
- [4] J.-F. Lutz, H. G. Börner: *Modern Trends in Polymer Bioconjugates Design*, *Prog. Polym. Sci.* 33, 1 (2008)
- [5] J.-F. Lutz: *1,3-Dipolar Cycloaddition of Azides and Alkynes: A Universal Ligation Tool in Polymer and Materials Science*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 46, 1018 (2007)
- [6] J.-F. Lutz, J. Andrieu, S. Üzgün, C. Rudolph, S. Agarwal: *Biocompatible, Thermoresponsive, and Biodegradable: Simple Preparation of "all-in-one" Biorelevant Polymers*, *Macromolecules*, 40, 8540 (2007)
- [7] J.-F. Lutz, Ö. Akdemir, A. Hoth: *Point by Point Comparison of Two Thermosensitive Polymers Exhibiting a Similar LCST: Is the Age of Poly(NIPAM) Over?*, *J. Am. Chem. Soc.*, 128, 13046 (2006)
- [8] J.-F. Lutz, H. G. Börner, K. Weichenhan: *Combining ATRP and „Click“ Chemistry: a Promising Platform toward Functional Biocompatible Polymers and Polymer Bioconjugates*, *Macromolecules*, 39, 6376 (2006)
- [9] J.-F. Lutz, S. Stiller, A. Hoth, L. Kaufner, U. Pison, R. Cartier: *One-Pot Synthesis of PEGylated Ultrasmall Iron-Oxide Nanoparticles and Their in Vivo Evaluation as Magnetic Resonance Imaging Contrast Agents*, *Biomacromolecules*, 7, 3132 (2006)
- [10] J.-F. Lutz, A. Hoth: *Preparation of Ideal PEG Analogues with a Tunable Thermosensitivity by Controlled Radical Copolymerization of 2-(2-methoxyethoxy)ethyl Methacrylate and Oligo(ethylene glycol) Methacrylate*, *Macromolecules*, 39, 893 (2006)



Pilotanlagenzentrum Schkopau

Pilot Plant Center Schkopau

Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum PAZ

Polymer technology in the Polymer Pilot Plant Center PAZ

Anwendungen und Dienstleistungen

Applications and services

Maßstabsübertragung einer Suspensionspolymerisation

Scale-up of a suspension polymerization

Synthese einheitlich zusammengesetzter Copolymere im kontinuierlichen Betrieb

Continuous synthesis of co-polymers with uniform composition

Verarbeitung von Celluloseregeneratfasern im Einstufenverfahren

Processing cellulose fibers using a one step method

Oben: Dr. Ulrich Wendler – Leiter der Abteilung Synthese.

Top: Dr. Ulrich Wendler – Head of the department Synthesis.

Unten: Neuartiges Polyesteramid, entwickelt im Fraunhofer PAZ Schkopau.

Bottom: New kind of polyesteramid, developed at the Fraunhofer PAZ Schkopau.

Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum PAZ

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

Wechsel in der Forschungsbereichsleitung

Zum 01. Juli 2008 ging die Forschungsbereichsleitung von Dr. Mathias Hahn, Gründungsleiter des Pilotanlagenzentrums, auf Prof. Dr. Michael Bartke über, der bislang wissenschaftlicher Leiter des Pilotanlagenzentrums war. Dr. Hahn wird dem Pilotanlagenzentrum jedoch auch in Zukunft in einer neuen Funktion als Koordinator eng verbunden bleiben und insbesondere die Zusammenarbeit und Anbindung an das Mutterinstitut IAP befördern.

Entwicklung des Fraunhofer PAZ

Die Aufbauphase des Fraunhofer PAZ wurde mit dem erfolgreichen Verwendungsmittelnachweis für das initiale BMBF-Projekt zur Schaffung eines »Fraunhofer-Demonstrationszentrums für Polymersynthesen« erfolgreich abgeschlossen.

Fokus des in 2007 mit einer Förderquote von 30 Prozent und einer Laufzeit von drei Jahren bewilligten BMBF-Anschlussprojektes ist es, das PAZ als eine nach dem bestehenden Finanzierungsmodell der Fraunhofer-Gesellschaft erfolgreiche FuE-Einheit zu etablieren. Dies erfordert das Einwerben von Drittmitteln öffentlicher Fördergeber sowie Gelder aus direkter Industriekooperation. In diesem Rahmen soll das PAZ inhaltlich auf folgende Teilaspekte ausgerichtet werden:

- Aufbau und Stärkung der zum erfolgreichen Betrieb des Pilotanlagenzentrums notwendigen Kernkompetenzen,
- Identifizierung und Bearbeitung von wissenschaftlichen Aufgabenstellungen im Zusammenhang mit dem Kampagnenbetrieb (Vorbereitung und Unterstützung),
- Vorlauftforschung im Laborbereich zur Erschließung und Vorbereitung neuer Arbeitsgebiete für das Pilotanlagenzentrum und Transformation Erfolg versprechender Produkt- und Verfahrensentwicklungen in den Pilotmaßstab.

Polymersynthesetechnikum

Hauptarbeitsgebiete im Polymersynthesetechnikum sind neben der Bereitstellung von Mustermengen bis in den Tonnenmaßstab für weitergehende Produkt- und Anwendungsentwicklungen insbesondere auch die Übertragung von neuen Polymersynthesen aus dem Labor- in den Technikumsmaßstab sowie die Entwicklung und Optimierung einzelner Verfahrensstufen bis hin zur Entwicklung neuer Verfahren. 2008 konnte eine gute Auslastung des Polymersynthesetechnikums erreicht werden.

Das vom Umfang her größte Projekt war die Fortführung einer schon bestehenden Industriekooperation auf dem

Gebiet der Synthese eines kundenspezifischen Polyesteramids. Mit einer bereits in früheren Kampagnen optimierten Verfahrensweise wurden in 2008 mehrere mehrwöchige Kampagnen zur Synthese von Mustermengen zur Produkt- und Anwendungsentwicklung durchgeführt, bei der konsistente Produktqualitäten im Tonnenmaßstab erreicht werden konnten. Durch den großen Umfang dieses Projektes im Schichtbetrieb über längere Zeiträume konnten auch die organisatorisch notwendigen Abläufe zum Betrieb der Pilotanlage im Schichtbetrieb trainiert und optimiert werden.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Umsetzung neuer Verfahren in den Pilotmaßstab. So wurde für die BASF SE die Übertragung einer katalytischen Synthese eines aliphatischen Polycarbonats aus Propylenoxid und Kohlendioxid in den Pilotmaßstab durchgeführt. Anschließend wurden in mehreren Ansätzen Mustermengen synthetisiert. Für die Kampagne wurde für einen bestehenden Reaktor ein neues Rührwerk nach Maßstabsübertragungskriterien ausgelegt, montiert und in Betrieb genommen. Hierbei waren eine Reihe technischer Randbedingungen zu beachten. Weiterhin war zur Realisierung eine umfangreiche Sicherheitsanalyse notwendig, da Eingangsstoffe mit nicht unerheblichem Gefährdungspotenzial verwendet wurden und eine potentiell gefährliche Nebenreaktion (Polyetherbildung) auftreten kann. Die Sicherheitskonzeption wurde von der zuständigen Überwachungsstelle geprüft und genehmigt.

In einem weiteren Projekt bestand die Aufgabe ein Laborverfahren zur Herstellung einer Polymerdispersion in den Technikumsmaßstab zu überführen. Das Zielprodukt, ein poröses, hochvernetztes Polymer, wird durch Suspensionspolymerisation unter hohen Stabilisatorkonzentrationen hergestellt. Zur Herstellung der kugelförmigen Teilchen definierter Größe ist ein ver-

gleichsweise großer Energieeintrag notwendig. Auf der Basis geeigneter Maßstabsübertragungskriterien wurde für einen bestehenden Suspensionsreaktor ein neuer Rührer mit Antrieb ausgelegt, montiert und in Betrieb genommen. Im Zuge der Rührermodifikation wurde der Rührwerksflansch mit acht Aussteifungsblechen verstärkt, um Schwingungen zu reduzieren. Mit dem modifizierten Rührwerk konnten Polymerdispersionen gemäß der Kundenspezifikation synthetisiert werden.

Vorlauftforschung Polymersynthese

Im Bereich der verfahrenstechnisch technologisch orientierten Vorlauftforschung wurden mehrere Laborprojekte bearbeitet.

So wurde für einen Kunden eine radikalische Copolymerisation in Lösung von satzweisen auf kontinuierlichen Betrieb umgestellt. Dazu wurde zunächst im Rahmen von satzweisen Laborexperimenten die Kinetik der Copolymerisation untersucht und in ein reaktionstechnisches Modell umgesetzt. Mit Hilfe des entwickelten Modells wurde im Labor eine Rührkesselskaskade mit Zwischeneinspeisung der schneller reagierenden Komponente ausgelegt und aufgebaut. Basierend auf Verweilzeitmessungen wurde ein reales Reaktormodell für die Kaskade abgeleitet, mit dessen Hilfe die stationären Betriebsbedingungen und das Anfahrverhalten der Kaskade vorausberechnet werden konnten. Durch modellbasierte Optimierung konnte die Anfahrzeit bis zum Erreichen des stationären Zustands erheblich reduziert werden.

Abschließend wurden in der Kaskade Copolymerisationsexperimente zur Modellvalidierung durchgeführt. Die gemessenen Umsatz-Zeit-Verläufe und Polymerzusammensetzungen der konti-

nuierlichen Experimente stimmen mit den Modellvorhersagen gut überein.

Weiterhin wurden Laborprojekte auf den Gebieten Polyolefine, Polyamide und anionische Polymerisation von Methacrylaten durchgeführt.

Polymerverarbeitung

Ein Fokus der Arbeiten stellte die Direktverarbeitung verschiedener Materialsysteme durch Compoundierung und Spritzguss sowie die Untersuchung dieser zur Eignung als Werkstoff für Bauteile im Transportwesen dar. Ausgewählte Materialsysteme hierfür waren PET/PE – Blends und PE/Celluloseregeneratfaser (CRF) – Compounds. Ziel war die Entwicklung einer Materialvariante mit erhöhter Biegesteifigkeit und verbessertem Kriechverhalten sowie hoher Schlagzähigkeit im Vergleich zu aktuell eingesetzten Werkstoffen. Die Ausgangsmaterialien wurden in einem einstufigen Compoundier-Spritzgussverfahren an einem Spritzgießcompounder KM1300-14 000 IMC zu einem fertigen Referenzbauteil verarbeitet. Die Blends aus PET/PE wurden mit unterschiedlichen Anteilen an PE (0, 5, 10 und 15 Prozent) hergestellt. Für die Generierung der Bauteile aus faserverstärktem PE wurden in das Matrixmaterial PE Celluloseregeneratfasern (0, 5 und 10 Prozent) in Form von 4 mm langen Schnitffasern sowie ein Haftvermittler in den jeweiligen, dem Faseranteil angepassten Anteilen, eingearbeitet. Aus den Bauteilen wurden Prüfkörper entnommen und auf ihre Materialcharakteristik (mechanische Eigenschaften, Morphologie für die Blendvarianten) hin untersucht. Die morphologischen Untersuchungen zu den Blends zeigten, dass die maschinen- und prozesstechnischen Compoundier- und Verarbeitungsbedingungen am Spritzgießcompounder gut geeignet und auf die Materialsysteme angepasst waren. Alle Blends

zeigten eine sehr gleichmäßige Phasenverteilung. Alle Materialuntersuchungen zusammenfassend konnten die Materialsysteme PET/PE mit einem PE-Anteil von 15 Prozent und PE/CRF mit Faseranteilen zwischen 5 und 10 Prozent für die Anwendung als aussichtsreich eingestuft werden.

Vernetzung in der Forschungslandschaft

Aufgrund der anwendungsnahen Ausrichtung des Fraunhofer PAZ nimmt es eine Schlüsselrolle im Fraunhofer-Innovationscluster Polymertechnologie ein. Der seit Ende 2007 bestehende Innovationscluster verfolgt das Ziel, auf dem Gebiet der Polymertechnologie durch eine Vernetzung der angewandten Forschung und der Hochschulforschung mit der einschlägigen Industrie die Entwicklung innovativer Produkte und Verfahren zu forcieren. Erste Gemeinschaftsprojekte auf den Gebieten »Synthesekautschuk« und »Polymer-/Nanopartikelblends« sind beantragt.

Weiterhin beteiligt sich das Fraunhofer PAZ über eine Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) an einem Verbundvorhaben zum Wissens- und Technologietransfer. Das Projekt »Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung als regionaler Motor des Wissens- und Technologietransfers« hat das Ziel, ein weiteres hohes Wachstum der Kunststoff verarbeitenden Industrie in der Region Mitteldeutschland sicherzustellen und zu befördern. Im Mittelpunkt steht hier der Aufbau von Strukturen für einen effizienten Wissens- und Technologietransfer der Ergebnisse wissenschaftlicher Arbeiten des Fraunhofer PAZ in die regionalen Kunststoff verarbeitenden Unternehmen.

Polymer technology in the Polymer 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 for Applied Polymer Research IAP and Mechanics of Materials IWM in Halle. It carries out research in the areas of polymer synthesis and polymer processing with an emphasis on scale-ups. Equipped with wide-ranging technical facilities for various polymer synthesis processes and plastics processing technologies, the center enjoys a unique selling position on the R&D market. New products and innovative technologies along the entire value chain are developed at the PAZ – from monomers through synthesis and processing of polymers to tested components. Polymer synthesis and processing are closely linked in this work.

New head of research division

Effective July 1, 2008, the head of the research division changed from Dr. Mathias Hahn, founding director of the pilot plant center, to Prof. Dr. Michael Bartke, who had been scientific director of the pilot plant center up until then. Dr. Hahn will still be closely associated with the Pilot Plant Center in the future in a new function as a coordinator, focusing especially on facilitating the collaboration between the PAZ and the parent institute IAP.

Development of the Fraunhofer PAZ

Start-up of the Fraunhofer Pilot Plant Center was finalized with the approval of the appropriate use of funding for the initial BMBF project »Fraunhofer demonstration center for polymer synthesis«. In 2007 the BMBF approved a 30 percent grant for a follow-up project to run for three years. The aim is to develop the PAZ into a successful

R&D unit that will operate on the existing financing model of the Fraunhofer-Gesellschaft. This necessitates acquiring third-party funds in the form of public grants and money stemming from contract research for industry enterprises. This goal is to be attained by focusing Pilot Plant Center activities on the following:

- building up and strengthening the core competencies that are necessary for successful operation of the Pilot Plant Center,
- identifying and working on scientific tasks in connection with customer campaigns (technological adaptations, preparation and assistance),
- fundamental lab research for establishing new tasks and transferring promising products or process developments to a pilot plant scale.

Polymer synthesis pilot plant

The main activities in the polymer pilot plant include supplying polymer samples on a ton-scale level for advanced product and application development, transferring new polymer synthesis processes from laboratory to pilot plant scale, as well as developing and optimizing new polymer synthesis process steps and polymerization processes. The Pilot Plant was well-utilized in 2008.

The biggest project in terms of volume was the continuation of an already existing collaboration with an industrial client in the area of polyesteramide synthesis. Utilizing a process setup already optimized in earlier campaigns, a couple of campaigns, each lasting for several weeks, were carried out in 2008 in order to synthesize custom specific polyesteramide sample material for product development and applica-

tion testing. Consistent product qualities could be reached on a ton-scale level. Because a large extent of this project was done in shifts lasting longer periods of time, the operational sequences for shift operation in the pilot plant could be practiced and optimized.

Further emphasis was placed on the transfer of new processes to a pilot plant scale. An example of this was a project for BASF SE, in which a catalytic synthesis of an aliphatic polycarbonate made from propylene oxide and carbon dioxide was transferred from lab to pilot scale and a number of batches of sample material were synthesized. The campaign was carried out in an existing reactor, which had been modified through the design and installation of a new stirrer drive. A couple of technical boundaries had to be considered. Additionally, an extensive safety analysis was carried out for the campaign, since starting materials with substantial hazard potential were used and the occurrence of a potentially dangerous side reaction (polyether formation) could not be ruled out. The safety concept was checked and approved by the authorities in charge.

The task of a further project was to transfer a lab-scale process for synthesizing polymer dispersions to a pilot scale. The targeted product, a highly cross-linked polymer, was synthesized in suspension polymerization using high stabilizer concentrations. Quite a high power input is needed to synthesize spherical particles of defined particle size. On the basis of appropriate scale-up criteria, a new stirrer with stirrer drive was designed and installed in an existing suspension polymerization reactor. Along with the stirrer modifications, the stirrer flange was reinforced with eight reinforcement plates to reduce oscillations. Polymer dispersions could be synthesized

according to client specifications using the new stirrer drive.

Long term research on polymer synthesis

Several lab-scale projects have been carried out with respect to process and technological oriented long-term research.

For one client, a radical copolymerization in solution was transferred from batch-wise to continuous operation. Starting from lab-scale batch experiments, kinetics of the copolymerization were studied and compiled in a kinetic model. Using the developed model, a lab-scale cascade of stirred tank reactors with additional feed of the faster reacting monomer was designed and set up. Based on residence time distribution measurements, a model reflecting the real mixing behavior in the cascade was derived with which the steady-state operation conditions and the start-up behavior could be estimated. The start-up procedure for reaching a steady-state could be reduced substantially using model-based optimization. Finally, the model was verified experimentally by copolymerization experiments in the cascade. The measured conversion-time profiles and polymer compositions of the continuous experiments concurred with model predictions.

Further lab-scale projects have been carried out the areas of polyolefins, polyamides and anionic polymerization of methacrylates.

Polymer processing

One focus was the direct processing of various material systems through compounding and injection molding in one step and subsequent material investigation to see whether they were suitable for components in transport facilities. Selected material systems were blends of PET/PE and composites of PE with regenerated cellulosic fibers (CRF). The aim was to develop a type of material with increased bending strength, better creep behavior and high impact strength compared to materials currently being used. The raw materials were processed to a reference injection molding part through compounding and injection molding in one process step using an injection molding compounder KM1300-14,000 IMC (Krauss-Maffei). The PET/PE blends were fabricated with different percentages of PE (0, 5, 10 and 15 percent). To generate components made of fiber reinforced PE, PE cellulose regenerated fibers (0,5 and 10 percent) in the form of 4 mm long staple fibers were introduced into the matrix material. The right amount of a coupling agent was adjusted to the fiber amount. Test specimens were extracted from the injection molding part and their material characteristics (mechanical properties, morphology) were analyzed. The morphologic investigations showed that the compounding conditions, as well as the design of the compounding screw, were suitable for the production of the blends. The phase distribution of all the produced blends seemed to be even. In summary, all of the tests showed that the material systems PET/PE, with a PE content of 15 percent, and PE/CRF, with a CRF content of between 5 and 10 percent could be classified as promising for the application.

Network activities in the research community

Due to its application oriented focus, the Fraunhofer PAZ plays a key role within the »Fraunhofer Innovation Cluster Polymer Technology Halle/Leipzig«. The Fraunhofer Innovation Cluster Polymer Technology has existed since the end of 2007 and aims to accelerate the development of innovative products and processes in the field of polymer technology through networking with applied research institutes, universities and industrial partners in this field. Initial joint development projects in the field of »synthetic rubber« and »polymer/ nano particle blends« have been applied for.

Furthermore, the Pilot Plant Center is taking part in a joint project for knowledge and technology transfer funded by the German federal ministry of transport, building and urban affairs (BMVBS). The project »Fraunhofer Polymer Pilot Plant Center for polymer synthesis and processing as regional force behind knowledge and technology transfer« aims to secure and promote the continuation of strong growth in the plastic processing industry in central Germany. The focus of the project is to establish structures to efficiently transfer the knowledge and technology of the Fraunhofer Polymer Pilot Plant Center's scientific findings to the regional plastic processing companies.

Anwendungen und Dienstleistungen

Leistungsangebot

- Entwicklung/Anpassung von Polymersystemen im Labormaßstab
- Übertragung von Syntheseprozessen vom Labor- in den Technikummaßstab
- technologische Optimierung von Reaktionsführungen
- Auftrags-synthese: Herstellung von Klein- und Testchargen
- Entwicklung von Kunststoff-compounds
- Austestung und Optimierung von Compoundier- und Verarbeitungsprozessen
- Ermittlung der Materialstruktur und Korrelation mit den Eigenschaften

Pilotanlage–Synthese

Ausrüstung

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

Designparameter der Synthesereaktoren

- Reaktorvolumina: 50 bis 1000 L
- Betriebsdruck: -1 bis 100 bar
- Betriebstemp.: -25 bis 350 °C
- Durchsatz: 5 bis 100 kg/h
- Endviskositäten: bis 40 000 Pas

Pilotanlage – Verarbeitung

Technische Parameter der Verarbeitungsmodulare

- Schussgewicht: 50 g bis 5 kg
- Spritzguss mit zweiter Komponente
- Hinterspritzen möglich
- Compoundieren bis 400 kg/h

Ausrüstung

- Injection Molding Compounder KM 1300 – 14 000 IMC (Schließkraft 1300 Tonnen)
- gleichlaufende parallele Doppelschneckenextruder unterschiedlicher Größe ZE 40
- Spritzgießmaschine KM 200 (Schließkraft 200 Tonnen)

Applications and services

Services provided

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

Pilot-plant synthesis

Equipment

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

Design parameters of synthesis reactors

- reactor volume: 50 to 1000 L
- operating pressure: -1 to 100 bar
- operating temperature: -25 to 350 °C
- throughput: 5 to 100 kg/h
- final viscosities: up to 40,000 Pas

Pilot-plant processing

Technical parameters of the processing modules

- shot weight: 50 g to 5 kg
- injection molding with second component
- in-mold lamination (backmolding) possible
- compounding up to 400 kg/h

Equipment

- injection molding compounder KM 1300 – 14,000 IMC (clamping force 1300 tonnes)
- co-rotating twin-screw extruders ZE 40
- injection molding machine KM 200 (clamping force 200 tonnes)

Kontakt Contact



Forschungsbereichsleiter
Division director

Pilotanlagezentrum Schkopau
Pilot Plant Center Schkopau
Prof. Dr. Michael Bartke
Telefon +49 3461 2598-120
Fax +49 3461 2598-105
michael.bartke@iap.fraunhofer.de

Synthese

Synthesis

Dr. Ulrich Wendler
Telefon: +49 3461 2598-210
ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de

Verarbeitung

Processing

Dipl.-Ing. Peter Stache
Telefon: +49 3461 2598-321
peter.stache@iap.fraunhofer.de

Maßstabsübertragung einer Suspensionspolymerisation



Fig. 1: 670L Pilot plant reactor C2510.

Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ in Schkopau bietet seinen Kunden eine auf ihre Bedürfnisse zugeschnittene Maßstabsvergrößerung von Polymersynthese- und Verarbeitungsprozessen. Für einen Kunden wurde ein Verfahren zur Herstellung einer speziellen Suspensionspolymerdispersion im Rührkesselreaktor vom Labormaßstab in den Pilotmaßstab (670 L) überführt. Bei kaum einer anderen Rühraufgabe gibt es eine so hohe Vielfalt an unterschiedlichen Scale-up-Kriterien wie beim Emulgieren und Suspensieren [1]. Das Zielprodukt – ein poröses, hochvernetztes Polymer – wird unter hohen Stabilisatormengen hergestellt. Zur Herstellung der kugelförmigen Teilchen eng definierter Größe ist ein sehr großer Energieeintrag beim Emulgieren notwendig.

mische Randbedingungen ausgeschlossen werden. Die Zielteilchengröße von 2 - 30 µm wird mit dem Intermig-Rührer bei ca. 2000 rpm erreicht. Mit dem Scale-up-Kriterium »Umfangsgeschwindigkeit = konst.« ergibt sich ein Intermig-Rührer mit einem Durchmesser von 400 mm und eine Rührerdrehzahl von 230 rpm. Mittels des Büche-Theorems errechnet sich ein theoretischer Energieeintrag von 25,4 kW in den Reaktor. Das sind für Rührapparate dieser Größe völlig unrealistische Werte, so dass aus rein praktischen Gründen eine Anwendung des Büche-Theorem nicht möglich war.

Technische Maßnahmen und Ergebnisse

Am Reaktor C2510 wurden – unter kritischer Bewertung der Scale-up-Ergebnisse – technischen Änderungen vorgenommen: Einsatz eines Motors (7,5 kW) mit Getriebe und Frequenzumformer für eine Rührerdrehzahl von 25 – 500 rpm; Installation eines 3-stufigen Intermig-Rührersystems und von vier Stromstörern. Bei einem Rührapparat stellt die Rührwelle in der Regel nicht das einzige schwingungsfähige Element dar. Resultierend aus einer »Modalanalyse« wurde der Rührwerksflansch mit acht Aussteifungsblechen verstärkt. Die berechnete Scale-up-Drehzahl von 230 rpm war etwas zu gering, um die angestrebte Teilchengröße zu erreichen. Eine mögliche Ursache liegt in der durch Schaumbildung beim Emulgieren (Viskositätsverringerung) resultierende Verringerung des Leistungseintrages. Die durch eine moderate Drehzahlerhöhung hergestellten Polymerisationsdispersionen entsprachen schließlich im vollen Umfang den Anforderungen des Kunden und zeigten, dass das ausgewählte Scale-up-Kriterium für dieses Stoffsystem zutreffend war.

Maßstabsvergrößerung

Die Maßstabsvergrößerung kann hier entweder mit einer Übertragung nahe $P/V = \text{konst.}$ (Büche-Theorem) oder bei konstanter Umfangsgeschwindigkeit erfolgen. Beide werden abhängig von der Schwarmsinkgeschwindigkeit (Funktion der Volumenkonzentration, Teilchen-/Tröpfchendurchmesser, Dichtedifferenz zur kontinuierlichen Phase) eingesetzt. Für die Auswahl der Scale-up-Kriterien wurden in Zusammenarbeit mit dem Forschungsbereich Synthese- und Polymertechnik des IAP Potsdam Vorversuche im 150 mL Maßstab durchgeführt. Hierbei stellte sich der sehr hohe Maßstabübertragungsfaktor problematisch dar.

Für die Anpassung des Rührwerkes wurden universelle Intermig-Rührorgane ausgewählt, welche ein großes Prozessfenster auch für andere Polymerisationstechnologien ermöglichen. Bei den Laborvorversuchen kamen sowohl Intermig- als auch ein Schrägblattrührer zum Einsatz. Durch ihre unterschiedlichen Geometrien konnten einige fluiddyna-

Drive [rpm]	Tilted blade [µm]	Intermig [µm]
500	14-80 (1.18)*	6-70 (1.20)*
1000	10-70 (2.36)*	5-25 (2.41)*
1500	4-20 (3.53)*	5-18 (3.61)*
2000	3-10 (4.71)*	2-15 (4.82)*

* Circumferential speed [m/s]

Fig. 2: Particle size in the 150 mL laboratory reactor.

Scale-up of a suspension polymerization

One task of the Fraunhofer Pilot Plant Center for Polymer Synthesis and Processing (PAZ) in Schkopau is to scale-up polymerization processes from lab size to production size. For one customer, a process to produce a sophisticated polymer dispersion was transferred from a lab-scale stirrer tank reactor to a pilot plant scale (670 L). The target product, a porous high cross-linked polymer, is synthesized in a suspension polymerization with a very high content of stabilizer. To produce spherical particles with a defined dimension, it is necessary to use a relatively high application of energy for the emulsification. There is a dazzling array of various and complex scale-up criteria for the necessary agitation of suspensions and emulsions systems [1].

Scale-up

These two scale-up procedures are possible for the target process: scale-up near $p/V = \text{const.}$ (Bueche theory) and scale-up circumferential speed $u = \text{const.}$ Both procedures are used depending on the particle's declining speed (function of the concentration of volume, particle/droplet diameter, density difference to continuous phase). Some preliminary tests were made in a 150 mL lab reactor in collaboration with the division of research »Synthesis and polymer technology« of the Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research Potsdam. An »Intermig« agitator and a tilted blade agitator were used in this scale.

Due to these different geometries some fluid dynamic boundary conditions could be eliminated. The final particle size of 2 - 30 μm was achieved with the »Intermig« agitator at 2000 rpm. Universal -Intermig- agitator parts were used in the pilot plant to adapt the agitator systems, because they offer large process latitudes. The scale-up

criterion »circumferential speed = const.« required an -Intermig- agitator with a diameter of 400 mm and an agitator speed of 230 rpm. A theoretical application of energy of 25.4 kW in the reactor was calculated on the basis of the »Büche Theory«. Based on the size of the reactor, this is an unrealistic value. Therefore for purely practical reasons, the »Büche Theory« was not applicable.

Technical arrangements and results

Based on a critical analysis of the results of the scale-up, the following technical changes were made in the C2510 reactor: installation of a motor (7.5 kW) with a new gear and frequency converter for an agitator speed from 25 to 500 rpm, installation of a 3 speed -Intermig- agitator system and four baffles for agitation. In an agitator device, the shaft of the agitator is not the only oscillatory element. Based on this knowledge and the results of a »modal analysis«, we strengthened the flange of the agitator with eight stiffening sheets. The calculated scale-up agitator speed of 230 rpm was not enough for the end particle size. A possible cause could be the decrease in the power impact caused by the foam formation during the emulsification (decrease of viscosity). With a moderate increase of the agitator speed, it was possible to synthesize a polymer dispersion which is consistent with our client's requirements. That performance showed the scale-up criterion »circumferential speed $u = \text{const.}$ « is applicable for that process.

Kontakt Contact



Dr. Ulrich Wendler
Telefon +49 3461 2598-210
Fax +49 3461 2598-105
ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de

Literatur Literature

[1] Hentrich: *Handbuch der Rührtechnik*; Schopfheim (2000)

Synthese einheitlich zusammengesetzter Copolymere im kontinuierlichen Betrieb

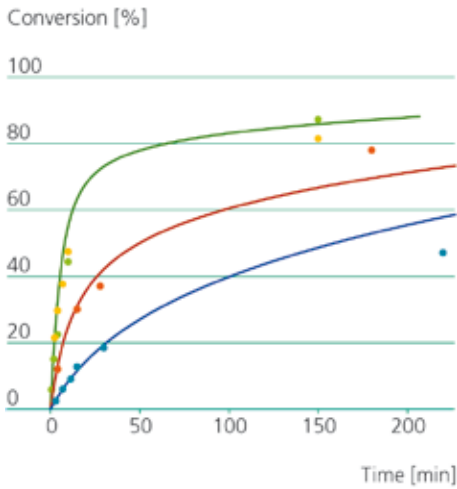


Fig. 1: Conversion-time data for batch experiments with different monomer composition, experimental value (dots) and model (line).



Fig. 2: Lab-scale continuous stirred tank reactor cascade.

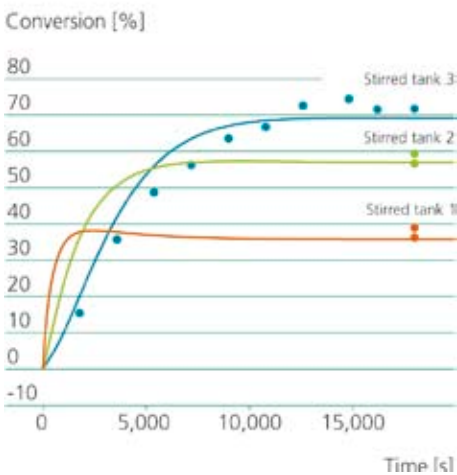


Fig. 3: Conversion-time for optimized start-up procedure in the continuous stirred tank reactor cascade, experimental values (dots) and predictive simulation (lines).

Kontinuierliche Verfahren eröffnen die Möglichkeit, auch bei Copolymerisationen mit sehr unterschiedlich reaktiven Monomeren, Polymere mit einheitlicher Copolymerzusammensetzung zu synthetisieren.

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAP, einem Industriepartner und der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, AG Polymerisationstechnik, wurde am Fraunhofer PAZ die modellbasierte Übertragung der radikalischen Copolymerisation von Diallyldimethylammoniumchlorid (DADMAC) und Acrylamid (AAM) von satzweisen auf kontinuierlichen Betrieb in einer Rührkesselkaskade im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht.

Vorgehensweise

Zunächst wurde die Kinetik der Copolymerisation von DADMAC und AAM in Lösung in einem diskontinuierlichen Rührkessel experimentell untersucht. Dazu wurden Copolymerisationsexperimente mit unterschiedlichen Ansatzverhältnissen der beiden Monomere durchgeführt. Während der Reaktion wurden Polymerproben entnommen und hinsichtlich Umsatz, Molgewicht und Comonomerzusammensetzung analysiert.

Basierend auf diesen experimentellen Ergebnissen wurde ein kinetisches Modell der Copolymerisation aufgestellt. Die entsprechenden Geschwindigkeitskonstanten wurden durch Anpassung der Parameter an die experimentellen Ergebnisse bestimmt. Mit Hilfe des entwickelten Modells wurde anschließend im Labormaßstab eine Rührkesselkaskade mit drei Reaktoren und Zwischeneinspeisung der schneller reagierenden Komponente AAM ausgelegt.

Um das reale hydrodynamische Verhalten der Kaskade auch bei höheren Viskositäten abbilden zu können, wurden Verweilzeitmessungen in der Kaskade durchgeführt. Basierend auf diesen

Messungen wurde ein reales Reaktormodell, bestehend aus idealen Rührkesselanteilen und idealen Rohrreaktoranteilen, abgeleitet. Durch Kombination des kinetischen Modells mit dem realen Reaktormodell wurden die Betriebsbedingungen der Kaskade optimiert.

Die Simulations- und Optimierungsergebnisse wurden anschließend durch Copolymerisationsexperimente in der kontinuierlichen Rührkesselkaskade experimentell verifiziert.

Ergebnisse

Durch modellbasierte Optimierung konnten die stationären Betriebsbedingungen der Kaskade bestimmt werden, um einen gewünschten Endumsatz und eine vorgegebene Copolymerzusammensetzung in jedem Kessel und somit eine engere Verteilung der Copolymerzusammensetzung zu erreichen. Zusätzlich wurde das dynamische Anfahrverhalten der Kaskade simuliert. Durch modellbasierte Optimierung der Anfangszusammensetzungen (Monomere und Initiator), konnte die Anfahrzeit bis zum Erreichen des stationären Zustands von sechs auf drei Stunden reduziert werden.

Die experimentelle Verifizierung der optimierten Betriebsweise zeigt eine gute Übereinstimmung von vorausberechneten und gemessenen Umsatz-Zeit-Verläufen und Polymerzusammensetzungen auf.

Das reale Reaktormodell, basierend auf satzweisen kinetischen Experimenten und Messungen der Verweilzeitverteilung, ist somit ohne weitere Modellparameter in der Lage sowohl den stationären Betriebspunkt als auch das dynamische Anfahrverhalten der Copolymerisation in der kontinuierlichen Rührkesselkaskade im Rahmen der Messgenauigkeit gut vorherzusagen.

Continuous synthesis of co-polymers with uniform composition

Continuous processes make it possible to synthesize co-polymers with narrow product distribution including copolymerization with monomers with very different propagation rates.

In collaboration with the Fraunhofer IAP, an industrial partner, and the polymer reaction engineering group at the Martin-Luther-University Halle-Wittenberg the model-based transfer of free radical copolymerization of diallyldimethyl ammonium chloride (DADMAC) and acrylamide (AAM) from batch to continuous operation in a stirred tank reactor cascade has been studied at the Pilot Plant Center as part of a degree thesis.

Approach

Initially, kinetics of copolymerization of DADMAC and AAM were studied experimentally in a solution. Copolymerization experiments with varying initial monomer composition were carried out. During the course of the reaction, samples were taken and conversion, molecular weight and copolymer composition were analyzed.

Based on these experimental results, a kinetic model for the copolymerization was derived. The corresponding rate constants were determined by adjusting the parameters to the experimental results. A lab-scale continuous stirred tank reactor cascade with three reactors and additional feeding of the faster reacting AAM was designed with the aid of the kinetic model that had been developed.

Residence time distribution measurements were carried out in order to represent the real hydrodynamic behavior of the reactor cascade, also at elevated viscosities. Based on these measurements, a real reactor model consisting of ideal stirred tank reactor sections and ideal plug flow reactor sections was developed.

Operating conditions of the cascade were optimized by combining the real reactor model with the developed kinetic model.

Finally, the results of simulation and optimization were verified experimentally through copolymerization experiments in the continuous stirred tank reactor cascade.

Results

Steady-state operating conditions of the cascade could be established through model-based optimization in order to reach a desired final conversion and specified copolymer composition in each reactor. This resulted in a more uniform copolymer composition.

The dynamic start-up procedure of the cascade was also simulated. Through model-based optimization of the initial reactor composition (monomers and initiator), the start-up time needed to reach a steady state could be reduced from six to three hours.

Experimental verification of the optimized operation regime reveals a good correlation between the measured and calculated conversion-time data and polymer compositions.

The real reactor model, based on kinetic batch experiments and residence time distribution measurements, can predict both the steady operating conditions and the dynamic start-up behavior of copolymerization in the continuous stirred tank reactor cascade, without needing any further model parameters.

Kontakt Contact



Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke
Telefon +49 3461 2598-120
Fax +49 3461 2598-105
michael.bartke@iap.fraunhofer.de

Kooperation Collaboration

Dipl.-Ing. Thomas Kröner, Arbeitsgruppe Polymerisationstechnik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Verarbeitung von Celluloseregeneratfasern im Einstufenverfahren



Fig. 1: twin-screw-belt conveyor (ZBFE) and conventional side feeder (ZSFE).

Polymer- und Regeneratfasern mit hoher Reißdehnung liefern im Komposit hohe Schlagzähigkeitswerte und haben somit für verschiedene Anwendungen das Potenzial, Glasfasern im Komposit zu substituieren. Die Verarbeitung in Form von Stapelfasern mit definierter Schnittlänge erfolgt zweckmäßig an einem parallelen, gleichsinnig drehenden Doppelschneckenextruder. Regeneratfasern wie Celluloseregeneratfasern (CRF) besitzen ein sehr geringes Schüttgewicht und neigen zur Bildung von wirren Faserhaufwerken. Dadurch ergeben sich Probleme bei der Faserdosierung, der gleichmäßigen und ausreichenden Förderung der geschnittenen Fasern hin zum Extruder und beim Einzug in die Extruderschnecken.

Ziel der Arbeit war die Entwicklung einer effizienten, einstufigen und stabilen technologischen Linie für die Einarbeitung geschnittener CRF in Thermoplaste.

Das Förder- und Dosierproblem wurde dadurch gelöst, dass Endlosfasergarne, die ein konstantes Fadengewicht pro Länge (tex) besitzen, mit einer definierten, einstellbaren Abzugsgeschwindigkeit von einer Spule abgezogen und unmittelbar über dem Extruder von einer Schneidanlage (NMC-H 150, Fa. Oerlikon Neumag) auf eine definierte Länge geschnitten werden. Die geschnittenen Fasern fallen unmittelbar in eine darunter befindliche Faserzufuhreinrichtung. Die Faserzufuhr und der Fasereinzug der großen Faservolumina zum, bzw. in den Extruder konnten durch eine neu entwickelte und patentierte Faserzufuhrtechnik, eine zweiwellige Bandfördereinrichtung (ZBFE), gelöst werden (Fig. 1). Es handelt sich um eine Zufuhrtechnik mit als Bandförderung ausgebildeten Behälterwänden. Diese weisen eine aufgeraute Oberfläche auf. Im Zentrum des Behälters ist ein gleichsinnig drehendes Förderschneckenpaar mit dicht kämmendem Profil angebracht, welches im

Zusammenspiel mit den Förderbändern eine Zwangsförderung der Fasern in den Extruder gewährleistet. Die ZBFE wird vertikal auf den Extruder aufgesetzt und transportiert die von der Schneidanlage zugeführten Fasern von oben in den Zwickelbereich der beiden Extruderschnecken. Das Schneiden der Fasern direkt vor dem Compoundierprozess verhindert die Bildung von Faserhaufwerken und die optimierte Zufuhrtechnologie zum Extruder ermöglicht eine signifikante Erhöhung der Durchsatzmenge geschnittener Fasern im Vergleich zu einer konventionellen Seitenfüttereinrichtung (Fig. 2). Der an einer ZE40A mit der Prototyp-Anlage erzielte maximale Durchsatz geschnittener Regeneratfasern (Faserlänge 4 mm, Schüttgewicht ca. 30 g/L) lag bei deutlich über 60 kg/h, während mittels konventioneller Seitenfüttereinrichtung (ZSFE) lediglich ca. 8 kg/h erreicht werden konnten. Bei einem angenommenen Faseranteil von 25 Prozent könnte mit dieser Anlagenkonfiguration ein Komposit-Massedurchsatz von 240 kg/h realisiert werden. Durch das Zusammenwirken von Schneidanlage, ZBFE und Doppelschneckenextruder konnte eine einstufige, flexible und produktionstypische Verarbeitungslinie für Polymer- und Regeneratfasern entwickelt werden.

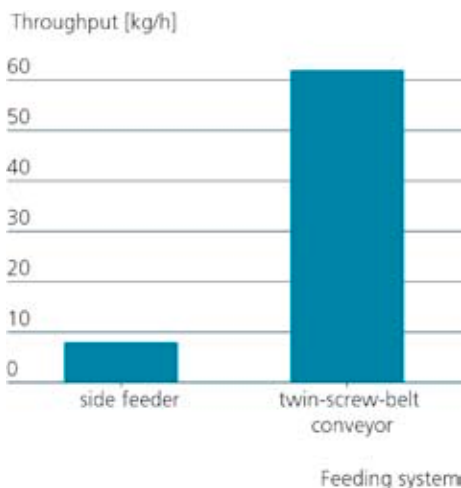


Fig. 2: Maximum throughput of cellulose staple fibers in a ZE40A extruder with different feeding systems.

Processing cellulose fibers using a one step method

Polymer and regenerated cellulose fibers with high elongation at break demonstrate good impact strength in a composite with a thermoplastic matrix. Thus in various applications they can replace glass fibers as a reinforcing material. Staple fibers with defined cutting length were processed for this purpose using a parallel, co-rotating twin screw extruder. Regenerated cellulose fibers (CRF) have a low density and tend to accumulate confused fiber debris. This results in problems with gravimetric dosing and the consistent and sufficient conveyance of the cut fibers to and into the extruder.

The objective of the work was to design an efficient, one step, stable process of incorporating cut cellulose fibers into thermoplastic materials.

The conveyance and dosing issues were overcome by cutting continuous filaments with a constant weight per length (tex) to a defined length directly over the extruder using shearing equipment with an adjustable speed. The sliced fibers fall directly into a subjacent fiber conveyance unit. The fiber conveyance to, and the feeding of large fiber volumes into the extruder was improved through an innovative and patented technique of a twin-screw-belt conveyor (ZBFE, Fig. 1). The walls of the conveyor are designed as a belt conveyor with a roughened surface. In the center of the system there is a co-rotating twin screw and the unit works as a force feeder. The ZBFE transports the cut fibers top-down to the gusset of the screws in the extruder. The formation of fiber debris is prevented by cutting the fibers immediately before the compounding process. The improved feeding technique offers a significant increase of the fiber throughput in comparison with a conventional side feeder (Fig. 2). The maximum throughput of cellulose staple fibers (fiber length 4 mm, bulk density ca. 30 g/L) in a co-rotating twin screw extruder

ZE40A (KraussMaffei Berstorff) was clearly higher than 60 kg/h. Only about 8 kg/h were possible when a conventional side feeder was used. With an assumed fiber rate of 25 percent, an overall composite throughput of 240 kg/h is practicable with this system configuration. Because of the coaction of the shearing equipment, the twin screw conveyor and the twin screw extruder, it was possible to develop a flexible, one-step process on a pilot plant scale to process polymer and synthetic fibers.

Kontakt Contact



Dipl.-Ing. Ivonne Jahn
Telefon +49 3461 2598-324
Fax +49 3461 2598-105
ivonne.jahn@iap.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke
Telefon +49 3461 2598-120
Fax +49 3461 2598-105
michael.bartke@iap.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Stache
Telefon +49 3461 2598-321
Fax +49 3461 2598-105
peter.stache@iap.fraunhofer.de



Identifizieren
Sie sind einzigartig

ICH BIN ICH

Namen, Daten, Ereignisse

Names, data, events

Laboraustattung

Laboratory equipment

Graduierungsarbeiten

Theses

Wissenschaftliche Zusammenarbeit

Scientific collaboration

Ereignisse

Events

Präsentationen und Publikationen

Presentations and publications

Patente

Patents

Anreise

How to reach us

LaboraAusstattung

Analytik

Chemische Analyse

- Geräte zur Elementaranalyse (C, H, N, S, O)
- ICP-Emissionsspektrometer
- Nasschemische Methoden
- Gaschromatographen
- Ionenchromatograph
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatographen (HPLC)
- Massenspektrometer
- Online-IR-Spektrometer
- Online-Raman-Spektrometer

Physikalisch-chemische Charakterisierung von Polymerlösungen

- Gel-Permeations-Chromatographie mit Multi-deteKtion (VISCO, MALLS, UV, RI)
- Statische und dynamische Lichtstreuung
- Interferometrisches Refraktometer (dn/dc-Bestimmung)
- Präparative Molmassenfractionierung
- Analytische Ultrazentrifugation
- Dampfdruckosmometer
- Membranosmometer
- Kryoskopie
- Automatische Verdünnungs-Viskosimeter
- Partikelcharakterisierung (Partikelgrößenanalyse, Zeta-Potenzial, Oberflächenladung)
- Tensiometer (Platte/Ring), Spinning-drop-Tensiometer
- Oszillationsrheologie (Speicher- und Verlustmodul, Netzwerkbildung)
- Trübungsphotometer
- Elektrochemische Charakterisierung
- Biegeschwinger (partiell spezifisches Volumen, Polymerisationskinetik)
- Polyelektrolyttitration

Strukturanalyse von Lösungen und Festkörpern

- Röntgenbeugungsmethoden (Klein- und Weitwinkelstreuung)
- NMR-Spektrometer (400 und 500 MHz)
- FTIR-, UV-VIS- und Fluoreszenz-Dioden-Array-Spektrometer
- Fluoreszenz-Spektrometer (Spex Fluorolog)
- Elektronenmikroskop (TEM, REM, EDX)
- Rasterkraftmikroskop
- Fluoreszenzmikroskop mit CCD-Kamera
- Elektronenspektrometer zur chemischen Analyse (ESCA)
- Lichtmikroskop
- Automatisches Kontaktwinkelmesssystem
- Geräte zur thermischen Analyse
- Reaktionskalorimeter
- Schmelzindexbestimmung
- Bestimmung von Porengrößenverteilungen und Oberflächen poröser Festkörper
- Automatisches Wasserdampfsorptionsmessgerät
- FT-Raman-Spektrometer
- Sauerstoffpermeationsmessgerät

Ausführliche Informationen zu unserem umfangreichen Analytikangebot finden Sie unter:

www.polymer-analytik.de

Ausstattung

- Reinraum (Klasse 1000 und 10 000)
- Syntheselabors
- Labore zur physikalischen Charakterisierung

Kombinierte Messverfahren

- Messplatz zur Bestimmung der elektrischen und optischen Eigenschaften von OLED
- OLED-Lebensdauer-messplatz
- Messplatz zur Bestimmung der Eigenschaften von organischen Feldeffekttransistoren
- Messplatz zur Bestimmung der Effizienz von Solarzellen
- Spektroelektrochemischer Messplatz
- Schichtdickenmesstechnik im Bereich 20 nm bis 20 µm
- Elektrische Polarisierung
- Messplätze zur Bestimmung der piezo- und pyroelektrischen Eigenschaften

Lasertechnik

- Holographischer Messplatz
- Aufbau zur laserinduzierten Anisotropie
- Ar⁺Laser
- Kr⁺Laser
- Diodengepumpter Festkörperlaser
- HeCd Laser
- HeNe Laser

Optische Messtechnik

- UV-VIS, Fluoreszenz und FTIR Spektrometer mit Mikroskopiermöglichkeiten
- Spektroskopische Ellipsometer
- Polarisationspektrometer
- Messplätze für nichtlineare optische Eigenschaften
- Spektroradiometer zur winkelabhängigen Charakterisierung optischer Bauelemente
- Oberflächen-Plasmon-Resonanz-Spektroskopie

Mechanische Prüfung

- Bestimmung der Kennwerte Zug-, Biege- und Weiterreißfestigkeit
- Zug- und Biegemodul
- Brucharbeit
- Schälkraft
- Reibungskoeffizient
- Abrieb
- Härte und Schlagzähigkeit
- Standzeiten unter verschiedenen Dauer- oder Wechselbeanspruchungen

Polymersynthese und -derivatisierung

- Labor- und kleintechnische Apparaturen zur Polymersynthese durch Schmelzpolykondensation, Masse-, Emulsions- und Lösungs-polymerization sowie für polymeranaloge Umsetzungen
- Explosionsgeschützter 50 L-Reaktor zur heterogenen Modifizierung von Cellulose und Stärke
- Automatische Reaktorsysteme RC1, LabMax
- Laborautoklaven
- Hochdruckreaktorsystem mit Gasdosieranlage

Modifizierung von Oberflächen und Filmen

- Anlagen zur Oberflächenmodifizierung von Polymeren mit Niederdruck-Atmosphärendruckplasma und VUV-Strahlung

Herstellung dünner Schichten

- Sprüh- und Spin-coater
- Tintenstrahldruck von OLEDs
- Aufdampfen und Sputtern von Metallschichten und Oxiden

Polymerverarbeitung

- Verarbeitung von Polymeren und Polymerlösungen
- Einrichtungen zur kleintechnischen Herstellung und Verformung thermoplastischer Kunststoffe
- Nassspinn-Technikum für Viskose und Carbamat
- Lyocell-Technologie für Fasern und Folien
- Technika zur Herstellung dünner Polymerschichten
- Messextruder mit diversen Verformungswerkzeugen
- Technikums-Sprühtrockner
- Gefriertrocknungsanlagen
- Wirbelschichttrockner
- Jet-Kocher
- Mikrowellenreaktor
- Ultrafiltrationsanlagen (bis zu 15 L)
- 5-Schicht-Flachfolien-Extruderanlage
- Berghofzellen zur Latexreinigung (bis zu 2 L)
- Konischer Mini-Doppelschneckenextruder
- Mikro-Spritzgießgerät
- Spritzgießautomat
- Doppelschneckenextruder für reaktive Extrusion
- Labor-Bikomponenten-Schmelzspinnanlage

Laboratory equipment

Analytics

Chemical analysis

- instruments for elemental analysis (C, H, N, S, O)
- ICP optical emission spectrometer
- wet chemical methods
- gas chromatographs
- ion chromatograph
- high performance liquid chromatographs (HPLC)
- mass spectrometers
- online IR-spectrometer
- online Raman spectrometer

Physical-chemical characterization of polymer solutions

- gel permeation chromatography with multi-detection (VISCO, MALLS, UV, RI)
- static and dynamic light scattering
- interferometric refractometer (dn/dc-determining)
- preparative molar mass fractionation
- analytical ultracentrifugation
- vapor pressure osmometer
- membrane osmometer
- cryoscopy
- automatical dilution viscometer
- particle characterization (particle size analysis, zeta potential, surface charge)
- tensiometer (plate/ring), spinning drop tensiometer
- oscillation rheology (storage and loss modulus, network forming)
- turbidity photometer
- electrochemical characterization
- bending vibration (partial specific volume, polymerization kinetics)
- polyelectrolyte titration

Structural analysis of solutions and solids

- X-ray diffraction methods (small-angle and wide-angle scattering)
- NMR spectrometer (400 and 500 MHz)
- FTIR, UV-VIS and fluorescence diode array spectrometer
- fluorescence spectrometer (Spex Fluorolog)
- electron microscope (TEM, REM, EDX)
- atomic force microscope
- fluorescence microscope with CCD camera
- electron spectrometer for chemical analysis (ESCA)
- light microscope
- automatic contact angle measuring system
- instruments for thermal analysis
- reaction calorimeter
- melt-flow index determination
- test station for determining pore-size distribution and surfaces of porous solids
- ellipsometer
- automatic water vapor sorption measuring device
- FT Raman spectrometer
- oxygen permeability tester

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

www.polymer-analysis.com

Equipment

- clean room (class 1000 and 10,000)
- laboratories for synthesis
- laboratories for physical characterization

Combined measuring methods

- test station for determining electronic and optical properties
- OLED durability test station
- test station for determining properties of organic field-effect transistors
- test station for determining the efficiency of solar cells
- spectro-electrochemical test station
- test station for layer thickness within the range 20 nm – 20 μm
- electrical polarization
- test stations for determining piezo- and pyroelectric properties

Laser technology

- holographic test station
- station for laser-induced anisotropy
- Ar⁺ laser
- Kr⁺ laser
- diode-pumped solid laser
- HeCd laser
- HeNe laser

Optical measuring methods

- UV-VIS and FTIR microscope spectrometer
- spectroscopic ellipsometer
- polarization spectrometer
- test stations for measuring non-linear optical properties
- spectroradiometer for angle-dependent characterization of optical components
- surface plasmon resonance (SPR) spectroscopy

Mechanical testing

Determination of the parameter:

- tensile, flexural and tearing strength
- tensile and flexural modulus
- fracture work
- peeling force
- abrasion
- shore hardness and impact strength
- service life under various long-term and alternating stresses

Polymer synthesis and derivatization

- laboratory and pilot-plant scale equipment for polymer synthesis by melt polycondensation, bulk, emulsion and solution polymerization and polymer analog reactions
- explosion-proof 50 L reactor for heterogeneous derivatization of cellulose and starch
- equipment for UV crosslinking and UV stability
- automatic reactor systems RCI, LabMax
- laboratory vessels
- high-performance reactor system with gas dosing plant

Modification of surfaces and films

- equipment for surface modification of polymers with low-pressure and atmospheric pressure plasma and VUV radiation

Preparation of thin layers

- spray and spin coater
- ink-jet printing of OLEDs
- evaporation and sputtering of thin metal and oxide layers

Polymer processing

- processing of polymers and polymer solutions
- equipment for pilot-scale production and extrusion of thermoplastics
- equipment for production and wet spinning of polymers from solution, particularly viscose and carbamate
- lyocell technology for fibers and films
- equipment for pilot-scale production of thin polymeric layers
- laboratory extruder with various dies
- pilot-scale spray drier
- lyophilizer
- turbulent-layer drier
- jet boiler
- microwave reactor
- ultrafiltration (up to 15 L)
- 5-layer flat film extruder plant
- Berghof cells for latex cleaning (up to 2 L)
- conical twin screw micro-compounder
- micro injection molding machines
- injection molding machines
- twin screw extruders for reactive extrusion
- lab bicomponent spinning-line

Graduierungsarbeiten

Theses

Preparation and application of trimethyl silyl labeled RAFT agents

Ina Dambowsky

Diploma thesis, University of Potsdam

The determination of the molar mass of polymers typically requires special, mostly painstaking techniques. Therefore, end group analysis by common techniques, such as NMR or UV spectroscopy, would be an attractive alternative, but requires crucially defined end groups. The modern techniques of »controlled« free radical polymerization enable the fine-tuning of the chemical structures of polymers such as geometry (e.g. block co-polymers, stars or brushes), or functional end groups. Hence, the radical addition fragmentation chain transfer (RAFT) method was employed to incorporate unsymmetrical, silylated end groups into polymers. Two novel trithiocarbonate RAFT agents with distinguishable TMS labels at both the »R« and the »Z« group were synthesized, and engaged in the polymerization of 2-ethylhexyl acrylate (EHA). The conversion of the polymerizations was followed by in-line attenuated total reflectance (ATR) IR spectroscopy, and corroborated by off-line NMR spectroscopy. Molar masses were analyzed by GPC, and by end group analysis via NMR. The polymerizations behaved as living reactions, and the feasibility as well as the efficiency of the end-group labeling was shown.

Microencapsulation of L-ascorbic acid with poly (D,L-lactide-co-glycolide) – Influence of the primary dispersion composition on the capsule properties

Jördis Eisenblätter

Diploma thesis, TU Berlin

Sensitive substances like pharmaceutical agents can be transported by microparticles (microcapsules or matrixdepots) to the place of activity without unwanted side reactions. These microparticles release the encapsulated agent under controlled rate. Often matrixdepots meet this requirement in a more predefined way than microcapsules. Suitable microparticles possessing an optimized relationship between particle size (as small as

possible) and loading (as high as possible) can be fabricated. This thesis presents the results of studies analyzing the influence of varied reaction conditions to the design of optimized matrixdepots and influence factors on the release behavior. The non-reactive multi emulsion-technique including solvent evaporation was applied as particle formation process. Three kinds of poly (D,L-lactide-co-glycolides) (PLGA) were used as biodegradable wall materials. L-ascorbic acid and sodium salicylate were used as pharmaceutical related agents. Neutral, acidic and basic inorganic solvents, synthetic gastric juice and synthetic enteric juice were used as degradation media. The synthetic organic solvents were used to analyze the enzymatic influence on the decomposition behavior.

The varying preparation conditions resulted in optimized matrixdepots of about 50 µm size with a high loading. The concentration ratio between polymer and continuous phase (poly vinyl alcohol) in the second step of the particle formation process influences the particle size and the formation of matrixdepots significantly. In addition it was demonstrated that the loading capacity of PLGA increases with increasing molecular weight and hydrophobicity of the polymer. The PLGA decomposition and its therewith linked agent release showed a strong pH-dependency. In neutral and acidic media the decomposition proceeds predominantly by bulk erosion, in basic media rather through surface erosion. Therefore a basic media provides better conditions for a controlled agent release from PLGA-matrixdepots. Enzymes do not have a significant influence on the decomposition at early stages of decomposition. However it could be assumed, that the enzymatic influence will increase with increasing hydrolytic decomposition. This has to be proved by further experiments.

Modification of copper electrodes in organic field effect transistors

Johannes Frisch

Diploma thesis, HU Berlin

Very important for the development of practical applications in organic field effect transistors (OFETs) are high On-current and ON/Off ratio. The On-current in p-type OFET devices is limited by the hole injection density. One way to modify charge injection properties is to introduce a monolayer of the strong electron acceptor tetrafluorotetracyanoquinodimethane (F4-TCNQ) at the Cu-electrode/ organic hole transport layer (OHTL) interface. The adsorbed monolayer of F4-TCNQ results in an increase in work function and consequently in a reduction of the hole injection barrier. XPS analysis showed a significant difference between untreated and modified surfaces. Top gate structure OFETs with bottom contact and flexible substrates were produced to evaluate the influence of the modified Cu-electrode/OHTL interface. The OFET-performance was evaluated in comparison to the conventional device structure without F4-TCNQ. The results of the Transfermeasurements and Output-characteristics corroborate the advantages of the modification with respect to high On-current, lower threshold voltage and operational stability.

Synthesis of ferrocene containing monomers and polymers

Christoph Herfurth

Diploma thesis, University of Potsdam

X-ray analysis of thin films of amphiphilic block co-polymers demands a good contrast of the single blocks to be able to distinguish them. As the intensity in x-ray analysis depends on the atomic number it is necessary to introduce heavy atoms into at least one of the blocks of the polymer. Thus two novel ferrocene containing monomers were synthesized and characterized, namely 4-ferrocenylbutyl acrylate (FBA) and methacrylate (FBMA). Both monomers were polymerized by free radical polymerization. FBA was also polymerized by radical addition fragmentation chain transfer (RAFT) polymerization.

The RAFT polymerization of FBA proceeds slower than the RAFT polymerization of the unsubstituted n-butyl acrylate. Furthermore, the synthesis of block co-polymers was attempted using N-isopropyl acrylamide for the second block. GPC and XPS analysis of the polymers indicate that chain extension has taken place.

Lignocellulosic TMP fibers for reinforcing polypropylene and poly(lactic acid) composites

Melanie Horbens
Diploma thesis, TU Dresden

In the first part of the present thesis, the influence of fiber content, morphology and shape factor of wood fibers on the basic mechanical properties of injection moldable Wood-Polypropylen (PP)-Composites was investigated. Wood flour-, pressurized groundwood- and thermo-mechanical fractions from spruce (*Picea abies* Karst.) as an example of soft wood, and beech (*Fagus silvatica* L.) as an example of hard wood were chosen as reinforcing fibers. In order to feed the fiber fractions into the extruder in a technically feasible way, a method was developed to convert the fibers into free flowing fiber agglomerates. The opening of the agglomerates to individual fibers in the composite was proven by optical microscopy of thin cuts. The highest reinforcing potential was shown by fractionated fibers from spruce and thermo-mechanical pulp, both having separated individual fibers with a high shape factor. Significant improvements of the properties of composites could be achieved by increasing fiber content and using the coupling agent system MAH-PP (five mass percent) giving a good fiber-matrix-adhesion. The heat distortion temperature (HDT-A) of the composite was increased by 37 °C for a fiber content for 37 mass percent, the tensile strength by 92 percent, flexural strength by 167 percent, tensile modulus by 185 percent and flexural modulus by 251 percent. The experimental tensile modulus values are moderately lower than values calculated by the Halpin-Tsai/Tsai-Pagano and Cox equations. Charpy impact strength (unnotched sample at room temperature) decreases below the level of polypropylene.

In the second part, the effect of fiber content of completely biodegradable composites having a matrix of Poly(lactid acid) has been studied. Fibers fractions were chosen from spruce thermo-mechanical pulp, as best performing in the polypropylene case. With increasing fiber content tensile modulus increased by 90 percent, flexural modulus by 145 percent without any loss in strength of the composites. Charpy impact strength (unnotched sample at room temperature) decreased below the level of Poly(lactid acid), and heat distortion temperature (HDT-A) was constant. Scanning electron microscopy (SEM) of cryo fractures surfaces revealed insufficient fiber-matrix-adhesion. In this respect, experiments to synthesise a suitable coupling agent followed. Along the lines of polypropylene fiber coupling, maleic anhydride was tried to graft onto the Poly(lactid acid) backbone in solution. However, a successful graft synthesis could not be proved by ¹H-NMR, neither an increased tensile strength of the composites was observed. Possible reasons for that are discussed based on preferential chain degradation and/or steric hindrance due to the proximity of the carbonyl group in PLA.

Model based transfer of a free-radical copolymerization from batch-wise to continuous operation and experimental verification

Thomas Kröner
Diploma thesis, Martin-Luther-University of Halle-Wittenberg

Transfer from batch to continuous operation can be of significant economic importance for a given process. Furthermore, continuous operation enables to achieve narrow product distributions also for monomers with very different propagation rates.

Research objective of this study has been the model based transfer of the free radical copolymerization of dimethyldiallylammoniumchloride (DADMAC) and acrylamide (AAM) from batch to continuous operation in a stirred reactor cascade.

Initially, the copolymerization kinetics of DADMAC and AAM have been studied by batch

experiments in solution at 50 °C and ambient pressure in a one liter stirred tank glass reactor, varying the initial monomers composition. During the course of reaction, samples were taken and conversion, molecular weight and copolymer composition were analyzed. Based on these experimental results, a kinetic model has been derived and the corresponding rate constants have been determined. New information with regard to the reaction order of the DADMAC propagation step could be gained. By use of the developed kinetic model, a continuous lab-scale stirred tank reactor cascade with three reactors of one liter volume each, and additional feeding of the faster reacting AAM has been designed.

In order to represent the real hydrodynamic behavior of the reactor cascade, also at elevated viscosities, residence time distribution measurements have been carried out. Based on these results, a real reactor model consisting of ideal stirred tank reactors and ideal plug flow reactors has been developed.

Combining the real reactor model with the developed kinetic model, the operating conditions for the cascade have been optimized. Target for the optimization have been a final conversion of 70 percent, a final copolymer composition of 25:75 DADMAC:AAM and the same copolymer composition in each reactor yielding to a narrow copolymer composition distribution.

Additionally, the start-up procedure of the cascade has been simulated. By model-based optimization of the initial reactor composition (monomers and initiator), the start-up time to reach steady state could be reduced from six to three hours.

Finally, copolymerization experiments in the cascade have been carried out using the start-up procedure calculated beforehand. The measured conversion-time data and polymer compositions of the continuous experiments are in good agreement with the model predictions. The real reactor model based on kinetic batch experiments and residence time distribution measurements can describe both, the dynamic and the steady state kinetic behavior of the cascade, without any further model adaptations needed.

Synthesis and characterization of thermo-responsive co-polymers incorporating PEG repeat units. A study of properties in solution and at the interface.

Andrea Mauro
Diploma thesis, Sapienza University of Rom

Based on the state of the art it was the intention of this work to synthesize and characterize new thermoresponsive polymers, based on oligo(ethylene glycol) monomers. The structure-property relationships of these polymers were investigated and with the goal of »smart« biofunctional coatings in mind, methods for their immobilization at interfaces were developed. Polymers with three kinds of molecular architectures were synthesized and characterized, in which hydrophilic chains, charged groups, and hydrophobic backbones were arranged in different ways.

The characterization was performed both in solution and at the surface. LCSTs (lower critical solution temperatures) were monitored in aqueous solution in dependence of polymer concentration, ionic strength and pH.

The study at interface was performed on two different substrates: gold and silica. These were initially modified with a polyelectrolyte multilayer structure, which provided functional groups for the immobilization of the thermo-responsive polymers. In the case of gold surfaces, a surface plasmon resonance instrument was used to monitor the various deposition steps and the stability of the layer systems thus created. Equivalent tests were accomplished on silicon wafers. In this case, the thickness of the layer systems was determined with an ellipsometer, to corroborate the previously obtained results. In addition, some of the thermoresponsive coatings were tested in cell adhesion experiments. These tests were performed in collaboration with the Fraunhofer Institute for Biomedical Engineering (IBMT).

Fabrication and Characterization of Polymer Based Luminescent Solar Concentrators Containing Luminescent Dyes, Nanoparticles and Dye-Nanoparticle-Combinations

Jana Quilitz
Diploma thesis, HU Berlin

The concept of a luminescent solar concentrator (LSC) for photovoltaic applications was proposed in the late 1970s by Goetzberger and Weber. LSCs traditionally consist of a planar sheet of transparent polymer or glass, doped with luminescent organic dyes. The incident sunlight is absorbed by the luminescent dye and the red-shifted re-emitted light is wave guided by total internal reflection to the small edges, where it is coupled into a photovoltaic cell (PVC) and converted into electricity. A main advantage of LSCs over bare PVCs is their capability to collect both direct and diffuse sunlight and concentrate it. In addition, LSCs can convert a major part of the higher-energy spectrum into photons which are energetically more favorable to the attached solar cell. Furthermore they reduce cell heating and can be fabricated much cheaper than silicon PVCs.

Thick acrylic polymer plates (3-5 mm) and hybrid concentrators consisting of a thin polymer layer of cellulose triacetate (CTA) or poly(methyl methacrylate) (PMMA) on a glass or Plexiglas® substrate were fabricated, containing either quantum dots (QDs), nanorods (NRs) or organic dyes as luminescent centers. Highly transparent collector plates, without bubbles and high surface quality were obtained, wherein the dyes or the inorganic semiconducting nanoparticles are dispersed homogeneously, respectively. Stability tests were performed by illuminating the dye doped hybrid concentrators with UV-A radiation over 300 hours. The stability of the organic dyes could be improved by the use of UV absorber or the combination of UV absorber and free radical scavenger. In addition a completely new design for a LSC, the multilayered hybrid concentrator was presented. This new concentrator contains a perylenediimide dye, CdSe core/multishell quantum dots and core/shell nanorods in different polymer layers, to prevent catalytic destruction of the organic dye by semiconducting nanoparticles. The multilayered hybrid concentrator shows a five times higher luminescence intensity than the hybrid concentrator doped with the dye only.

Packaging Materials based on Polylactide: comparative studies of properties of statistic and non-statistic co-polymers

Henning Sawatzki
Diploma thesis, TFH Berlin

Polylactide (PLA) is one of the most important representatives of biodegradable plastics. The raw materials for the synthesis of PLA (lactic acid and its dimer dilactide) are derived indirectly from plants. While building polymer chains via ring opening polymerization (ROP) of dilactide it is possible to integrate comonomer units accessible to a ROP. Within the scope of this work the co-polymers of L,L-dilactide and δ -lactones were focused to investigate influences of several differently side-branched δ -lactones on chemical and physical properties in comparison to PLLA homopolymers. The main aim was to investigate, how crystallinity and glass transition temperature of PLLA are affected in statistical and non-statistical (block) co-polymers with δ -lactones.

All experiments were conducted discontinuously in batch or semi-batch mode with tin 2-ethylhexanoate as standard catalyst. However, measurable insertion of δ -lactone-derived units occurred only with δ valerolactone, but not after adding side-branched δ lactones, such as δ hexano-, δ octano-, δ decano- and δ dodecanolactone, which did not polymerize at typical ROP-conditions and catalyst concentrations. For δ valerolactone, various amounts of comonomer were introduced, both from the starting point of the ROP and after certain times of PLLA homopolymerizations, when PLLA chains were already assembled. The latter led to definite block co-polymers, but caused by different reactivities of L,L-dilactide and δ valerolactone predominantly non-statistical co-polymers were obtained in all other cases, too. Compared to PLLA homopolymers all co-polymers exhibit lower glass transition temperature, elastic modulus and tensile stress at break, but higher breaking elongation.

Wissenschaftliche Zusammenarbeit

Scientific collaboration

Fraunhofer-Institute

Fraunhofer Institutes

Fraunhofer FOKUS
Institut für Offene Kommunikationssysteme
(Berlin)

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

Fraunhofer IBMT
Institut für Biomedizinische Technik
(St. Ingbert/ Potsdam-Golm)

Fraunhofer ICT
Institut für Chemische Technologie (Pfinztal)

Fraunhofer IFAM
Institut für Fertigungstechnik und Angewandte
Materialforschung, Klebetechnik und
Oberflächen (Bremen)

Fraunhofer IGB
Institut für Grenzflächen und Bioverfahrens-
technik (Stuttgart)

Fraunhofer IIS
Institut für Integrierte Schaltungen (Erlangen)

Fraunhofer ILT
Institut für Lasertechnik (Aachen)

Fraunhofer IOF
Institut für Angewandte Optik und
Feinmechanik (Jena)

Fraunhofer IPK
Institut für Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik (Berlin)

Fraunhofer IPMS
Institut für Photonische Mikrosysteme (Dresden)

Fraunhofer ISE
Institut für Solare Energiesysteme (Freiburg)

Fraunhofer IWM
Institut für Werkstoffmechanik (Halle)

Fraunhofer IZM
Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration
(Berlin/ Teltow/ München)

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

Universitäten in Deutschland

Universities in Germany

BTU Cottbus,
Lehrstuhl Thermophysik

Charité - Universitätsmedizin Berlin,
Berlin

Fachhochschule Münster,
Physikalische Chemie

Freie Universität Berlin,
Institut für Chemie

Humboldt-Universität-Berlin,
Institut für Physik

Ludwigs-Maximilian-Universität München,
Institut für Chemie

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Institut für Physik, Institut für Chemie,
Zentrum für Ingenieurwissenschaften

Phillips-Universität Marburg,
Fachbereich Chemie

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

Technische Universität Berlin,
Institut für Physik, Institut für Chemie, Institut
für Optik, Institut für Werkstoffwissenschaften

Technische Fachhochschule Wildau,
Institut für Plasma- und Lasertechnik

Technische Universität Braunschweig,
Institut für Hochfrequenztechnik, Institut für
Partikeltechnik

Technische Universität Darmstadt,
Materialwissenschaften und Chemie

Technische Universität Dresden,
Fakultät Maschinenwesen, Lehrstuhl für Holz-
und Faserwerkstofftechnik, Institut für Holz- und
Papiertechnik

Technische Universität Ilmenau,
Fachbereich Elektrotechnik

Technische Universität Karlsruhe,
Institut für Technische Chemie und Polymerchemie

Technische Universität München,
Institut für Physik

Universität Bayreuth,
Polymer Engineering, Physik, Chemie

Universität Jena,
Kompetenzzentrum Polysaccharidforschung

Universität Kassel,
Institut für Werkstofftechnik

Universität Potsdam,
Institut für Physik und Astronomie, Physik weicher
Materie, Angewandte Physik kondensierter Ma-
terie, Institut für Chemie, Physikalische Chemie

Universität Siegen,
Institut für Festkörperphysik

Universität Würzburg,
Physik

Universitäten im Ausland

Foreign universities

Bristol University,
School of Chemistry, Bristol (UK)

CNRS, Institute de Physique et Chimie des Maté-
riaux de Strassbourg IPCMS, Strassbourg (France)

École Nationale Supérieure de Chimie de Lille
ENSCL, Lille (France)

École des Mines de Paris CEMEF,
Sophia Antipolis (France)

Ghent University,
Institut of Polymer Chemistry, (Belgium)

Imperial College,
Department of Physics, London (UK)

Johannes Kepler Universität,
Linz (Austria)

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

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

Technical University of Lisbon,
Institute of Superior Technology, Lisbon (Portugal)

Université catholique de Louvain,
Unité Chimie des Matériaux CMAT/Unité Chimie
et Physique des Hauts Polymères POLY,
Louvain (Belgium)

Universität Graz,
Institut für Chemie, Graz (Austria)

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

University of Lille,
Laboratoire de Formulation, Lille (France)

University of Nottingham,
School of Biosciences, Loughborough (UK)

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

University of Waterloo,
Department of Chemical Engineering,
Waterloo (Canada)

University of York,
Chemistry Department, York (UK)

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

Universität Utrecht,
Copernicus Institute of Sustainable Development
and Innovation, Debye Institute for Nanomaterials
Science, Utrecht (Netherlands)

Wageningen University and Research,
Wageningen (Netherlands)

Wissenschaftliche Zusammenarbeit

Scientific collaboration

Andere Forschungseinrichtungen

Other research institutes

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Dublin Institute of Technology, Focas Institute, School of Physics, Dublin (Ireland)

GKSS Forschungszentrum GmbH, Geesthacht

Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung GmbH, Braunschweig

Forschungsinstitut für Leder- und Kunststoffbahnen gGmbH (FILK), Freiberg

Institut für Dünnschichttechnologie und Mikrosensorik e.V., Teltow

Joanneum Research Graz, Graz (Austria)

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Hamburg

Joint Research Centre of the European Commission, Institute for Energy, Renewable Energies Unit, Ispra (Italy)

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

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

Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz

Papiertechnische Stiftung Heidenau, Heidenau

Papiertechnische Stiftung, München

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Chemnitz

Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz

Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoffforschung, Rudolstadt-Schwarz

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

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

Firmenkooperationen

Cooperations with companies

aap Implantate AG, Obernburg

Allresist GmbH, Strausberg

Arkema S.A., Serquigny (France)

ASHLAND Deutschland GmbH, Krefeld

Atotech Deutschland GmbH, Berlin

Austrianova Biomanufacturing AG, Wien (Austria)

BASF AG, Ludwigshafen

BASF Plant Science Holding GmbH, Limburgerhof

Bayer Bioscience GmbH, Potsdam

Bayer-Schering Pharma AG, Berlin

biax fiberfilm Corp., (USA)

BIOP Biopolymer Technologies AG, Dresden

BIS-Prozesstechnik, Bingen

bebro electronic GmbH, Frickenhausen

Borealis Polymers Oy, Porvoo (Finnland)

Bundesdruckerei GmbH, Berlin

Byk-Chemie GmbH, Wesel

CBW Chemischer Betrieb Wertingen GmbH, Wertingen

CERESAN Erfurt GmbH Markranstädt, Markranstädt

Clariant Products Ltd., Muttentz (Switzerland)

Cognis GmbH, Düsseldorf

Cordenka GmbH, Obernburg

Dow Olefinverbund GmbH, Schkopau

Emsland-Stärke GmbH, Emlichheim

Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Petten (The Netherlands)

ENKA GmbH & Co. KG, Obernburg

EP Elsterberg GmbH & Co. KG, Elsterberg

Evonk Oxeno GmbH, Marl

FUMA-Tech GmbH, St. Ingbert (Austria)

Glanzstoff Austria GmbH, St. Plöten (Austria)

Henkel KGaA, Düsseldorf

Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde

Hexion S.A., Ottignies-Louvain-La-Neuve (Belgium)

Honda R&D Europe, Swindon (UK)

Hörmann KG, Steinhagen

HWT- Wassertechnische Anlagen GmbH, Erzhausen

IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH, Nuthetal OT Bergholz-Rehrbrücke

KATPOL-Chemie GmbH, Bitterfeld

Kartonfabrik RIEGER GmbH & Co. KG, Trostberg

Kelheim Fibres GmbH, Kelheim

KLINGELE Papierwerke GmbH & Co., Weener

Kompetenzzentrum Wood K+, Lenzing (Austria)

Konarka Technologies, Linz (Austria)

Krauss-Maffei AG, München

Lea Artibai Ikastetxea, Markina-Xemein (Spain)

LEIPA Georg Leinfelder GmbH, Schwedt

Lenzing AG, Lenzing (Austria)

LIST AG, Arisdorf (Switzerland)

Merck KGaA, Darmstadt

Mühle RÜNINGEN GmbH & Co. KG, Braunschweig

NanoDel Technologies GmbH, Magdeburg

OSRAM Opto Semiconductors, Regensburg

Papierfabrik ALBBRUCK GmbH, Albbbruck

Papierfabrik Julius SCHULTE Söhne GmbH & Co., Düsseldorf

Papierfabrik HEIL GmbH, Darmstadt

Peter Kölln KGaA, Elmshorn

Pyramid Bioplastics Guben GmbH, Guben

Radio Frequency Systems GmbH, Hannover

Reifenhäuser REICOFIL GmbH & Co. KG, Troisdorf

Rigips GmbH, Brieselang

ROQUETTE, Frankfurt/Main

SAPPI, Alfeld

SCA PACKAGING Containerboard Deutschland GmbH, Witzenhausen

SE Tylose GmbH & Co. KG, Wiesbaden

Sensile Medical AG, Hägendorf (Switzerland)

SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Piesteritz

SMURFIT Kappa GmbH - Hoya-Papier, Hoya

Solaromix SA, Aubonne (Switzerland)

Stadentwässerungsbetrieb Köln, AöR, Köln

STORA ENSO, Hagen-Kabel

SYNTHON Chemical GmbH & Co. KG, Wolfen

SYRAL SAS, Z.I. et portuaire, Aalst (Belgium)

Uhde Inventa-Fischer GmbH & Co. KG, Berlin

TES Frontdesign GmbH, Neuruppin

Toho Tenax Europe GmbH, Wuppertal

UP Transfer GmbH, Potsdam

Uvex Arbeitsschutz GmbH, Fürth
ViskoTeepak N. V., Lommel (Belgium)
VTS Kunststoffe GmbH, Zimmern
Werner & Mertz GmbH, Mainz
Weyerhaeuser Company, (USA)

Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal GmbH & Co. KG, Blankenstein

Netzwerke Networks

- CeChemNet
- Center of Innovative Materials for Advanced Technologies (CIMAT)
- Cluster Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland
- Deutsches Flachdisplayforum (DFF) im VDMA, Frankfurt
- European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE)
- Fraunhofer-Allianz POLO
- Fraunhofer-Netzwerk Elektrochemie
- Kunststoffnetzwerk Berlin-Brandenburg KuBra e.V.
- Polykum e.V.
- Optec-Berlin-Brandenburg (OpTecBB) e.V. Kompetenznetz für Optische Technologien
- Organic Electronic Assoziation (oe-a) im VDMA, Frankfurt
- Sonderforschungsbereich 448, Mesoskopisch strukturierte Verbundsysteme
- »WeiBe Biotechnologie« Brandenburg

Mitarbeit in Fachorganisationen und Gremien

Involvement in professional organizations and committees

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

- Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e.V., AGEF
- AVK Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe
- Centre of Innovative Materials for Advanced Technologies (CIMAT), Potsdam
- DECHEMA
- Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V.
- Deutsches Flachdisplayforum, DFF
- International Advisory Board IUPAC
- International Materials and their Synthesis, NMS
- International Advisory Board Chiral Compounds and Special Polymers, CCSP
- Kunststoffnetzwerk Brandenburg KuBra e.V.
- Landesvereinigung außeruniversitärer Forschung in Brandenburg (LAUF) e.V.
- Leibniz-Kolleg Potsdam
- OpTec Berlin-Brandenburg, Berlin
- Organic Electronic Association, oe-a

- Photonik Brandenburg-Berlin e.V.
- Polykum e.V., Fördergemeinschaft für Polymerentwicklung und Kunststofftechnik in Mitteldeutschland
- Society for Information Displays-Mid Europe Chapter, SID-MEC
- VDMA Organic Electronic Association
- Vereinigung der Seifen-, Parfüm- und Waschmittelfachleute e.V. (SEPAWA)
- Zellcheming

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

- Mitglied im Berlin-Brandenburgischen Polymerverband
- Mitglied des Forschungsbeirates der Papiertechnischen Stiftung München (PTS)
- Vorstandsmitglied der Forschungsvereinigung Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen
- Vorstandsmitglied Kunststoffnetzwerk Brandenburg KUBRA
- Verein Zellcheming, Fachausschuss Cellulose und Cellulosederivate
- Kooperationsrat des Innovativen Regionalen Wachstumskerns Faserverbunde ALFA, Haldensleben
- Editorial Boards der Zeitschriften »Cellulose«, »Cellulose Chemistry and Technology« »Carbohydrate Polymers«, »Natural Fibres«

Dr. C. Fanter

- NA 005-11-43 AA Arbeitsausschuss Partikelmesstechnik; Oberflächenmessverfahren (Sp ISO/TC 24/SC 4/WG3)

Dr. M. Hahn

- Mitglied im Gutachterausschuss in der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V. (AiF)

Dr. A. Holländer

- International Advisory board der Zeitschrift »Plasma Processes and Polymers«
- Mitglied des Arbeitskreises Plasmaoberflächentechnologie

Prof. Dr. A. Laschewsky

- Mitglied im Berlin-Brandenburgischen Polymerverband
- Vorstandsmitglied der GDCh-Fachgruppe Waschmittelchemie

Dr. A. Seeboth

- International Advisory Board International Symposium on Fine Chemistry and Functional Polymers
- International Advisory Board International Conference on High-Tech Polymers and Polymeric Complexes
- Mitglied im Gutachterausschuss in der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V. (AiF)

Dr. W. Vorweg

- Mitglied des Stärkefachausschusses der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung, Detmold

Lehrveranstaltungen Lecturing activities

Prof. Dr.-Ing. M. Bartke

- Vorlesung »Polymerisationstechnik« Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- Vorlesung »Polymer Reaction Engineering« Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

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

- Vorlesung »Strukturcharakterisierung von biobasierten Polymerwerkstoffen« Universität Kassel

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

- Vorlesung »Moderne Aspekte der Elektrochemie« Universität Potsdam

Prof. Dr. A. Laschewsky

- Praktikum zum Wahlpflichtfach »Kolloid- und Polymerchemie« Universität Potsdam
- Vorlesung »Technische Chemie I und II« Universität Potsdam
- Vorlesung »Polymeric Amphiphiles« im Rahmen des Internationalen Master-Studiengangs »Chimie et Ingénierie de la Formulation« der Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Lille (France)
- Vorlesung »DECHEMA Weiterbildungskurs Chemische Nanotechnologien« Universität Würzburg

Prof. Dr. A. Laschewsky und Dr. J.-F. Lutz

- Vorlesung »Stimuli-responsive Polymers: Synthesis, Self-organization and Application« Universität Potsdam

Prof. Dr. A. Laschewsky, Dr. J.-F. Lutz, Dr. J. Storsberg

- DECHEMA Weiterbildungskurs »Polymere mit nano-skaligem Aufbau: Synthese und Anwendungen von (Block)-Copolymeren« Würzburg

Prof. Dr. A. Laschewsky, Dr. V. Strehmel

- Praktikum Polymerchemie Universität Potsdam

Dr. J. Storsberg, Prof. Dr. A. Laschewsky

- Vorlesung »Kunststoffe - Luxus für alle« Schülercampus 2008, Universität Potsdam

Priv.-Doz. Dr. habil. J. Stumpe

- Vorlesung »Photochemie in Polymeren und Supramolekularen Systemen« Universität Potsdam

Ereignisse

Events

Seminare, Tagungen, Messen

Seminars, meetings, fairs

4th European Detergency Conference,
Würzburg (Germany), 15.1.-17.1.2008

Eröffnung SecurityLab,
Bundesdruckerei, Fraunhofer IAP,
Potsdam-Golm (Germany), 26.2.2008

Starch Primer,
Nottingham (GB), 16.3.2008

Starch 2008: 4th International Meeting on Starch
Structure and Functionality, Nottingham (GB),
17.-19.3.2008

1. Ausbildungsmesse Teltow, »Gemeinsam
gewinnen«, Teltow (Germany), 5.4.2008

235th ACS National Meeting,
New Orleans (USA), 6.-10.4.2008

59th Starch Convention,
Detmold (Germany), 16.-17.4.2008

14th International Conference for Renewable
Resources and Plant Biotechnology NAROSSA,
Magdeburg (Germany), 9.-10.6.2008

Gehr Eco Workshop,
Mannheim (Germany), 13.6.08

7th Global WPC and Natural Fibre Composites
Congress and Exhibition, Kassel (Germany),
18.-19.6.2008

Zellcheming Jahrestagung und Expo,
Wiesbaden (Germany), 24.-26.6.2008

11th European Conference on Organized Films
ECOF11, Potsdam (Germany), 9.-11.7.2008

8th International Symposium »Alternative
Cellulose«, Rudolstadt (Germany), 3.-4.9.2008

Tag der offenen Türen,
Potsdam-Golm (Germany), 6.9.2008

Organic Semiconductor Conference OSC' 08,
Frankfurt (Germany), 29.9.-1.10.2008

Sepawa-Kongress,
Würzburg (Germany), 15.-17.10.2008

glasstec 2008,
Düsseldorf (Germany), 21.-25.10.2008

Eröffnung Fraunhofer-Innovationscluster
Sichere Identität,
Potsdam-Golm (Germany), 6.11.2008

Institutskolloquien, Workshops

Institute colloquia, workshops

Prof. Dr. M. Dröscher,
Evonik Degussa GmbH,
»Nano, Biotech und mehr: Innovation@Evonik
Degussa«
14.1.2008

Prof. Dr. W. Binder,
Universität Halle,
»Engineering order in polymers by hydrogen
bonds«
24.1.2008

Prof. Dr.-Ing. G. Ziegmann,
TU-Clausthal Institut für Polymerwerkstoffe und
Kunststofftechnik,
»Innovative Leichtbau- konzepte mittels Faser-
verbundsystemen«,
30.1.2008

Prof. Dr. J. Kirbs,
Hochschule Merseburg,
»Angewandte Kunststoffforschung auf dem
Campus Merseburg«,
27.2.2008

Prof. H.-A. Klok,
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL),
Schweiz,
»Polymer brushes as platforms for the fabrica-
tion of protein microarrays, bioactive surface
coatings and microstructured inorganic films«,
17.3.2008

Workshop, Campusprojekt,
»Bioaktive Oberflächen«,
9.5.2008

Dr. P. Theato,
Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
»Reactive polymers: A synthetic toolbox to
prepare functional and smart materials«,
23.5.2008

Dr. R. Koeppe,
LIOS/SOMAP, JKU Linz,
»Current challenges in organic solar cell research
and technology - Photon Harvesting and Charge
Carrier Transport«,
2.6.2008

M. Jobmann,
Workshop, Mikroverkapselung
»Business Model Innovation - Neue Einsatz-
möglichkeiten für Mikroverkapselung«,
18.9.2008

Prof. Ch. Barner-Kowollik,
Uni Karlsruhe,
»From mechanism to material: a journey into
polymer design«,
19.9.2008

Dr. B. N. Chichkov,
Laserzentrum Hannover e.V.,
»3D Laser-based Nanoengineering of Polymer
Materials«,
22.9.2008

Prof. F. Du Prez ,
Ghent University,
»Click Chemistry and Step-growth Polymerization:
the Ideal Combination for the Rejuvenation of
Industrial Polymers«,
18.11.2008

Internationale Gäste

International guests

Prof. F. Du Prez,
Polymer Chemistry Research Group, Department
of Organic Chemistry, Ghent (Belgium)

Prof. W. G. Glasser,
Virginia Tech, Virginia (USA)

Prof. Dr. H.-A. Klok,
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL),
Institut des Matériaux, Lausanne (Switzerland)

Dr. A. Potthast,
Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien (Austria)

Dr. J. Scott,
Buckeye Technologies Inc., Memphis (USA)

Prof. L. C. Simon,
Department of Chemical Engineering,
University of Waterloo, Waterloo (Canada)

Dr. T. N. Smirnova,
Ukraine Academy of Sciences, Institute
of Physics, Kiev (Ukraine)

Prof. S. Songsivilai,
National Science and Technology Development
Agency, Pathumthani (Thailand)

Dr. B. Van Lengerich and Co-workers,
General Mills, (USA)

Auszeichnungen

distinctions

Ivonne Jahn,
Rehau-Preis

Dr. Jean-Francois Lutz,
Joint-Preis der Société Française de Chimie, SFC

Präsentationen und Publikationen

Presentations and publications

Vorträge

Lectures

F. Börner: *Neue Entwicklungen zur Mikroverkapselung auf Basis von Aminoharzen*, Workshop Business Model Innovation – Neue Einsatzmöglichkeiten für Mikroverkapselung, Fraunhofer IAP, Potsdam-Golm (Germany), 18.9.2008

J. Bohrisch: *Reversibel verkapselte Hydrogele für verschiedene Anwendungen*, Workshop Business Model Innovation – Neue Einsatzmöglichkeiten für Mikroverkapselung, Fraunhofer IAP, Potsdam-Golm (Germany), 18.9.2008

R. Bose, D. J. Farrell, A. J. Chatten, M. Pravettoni, A. Büchtemann, J. Quilitz, A. Fiore, L. Manna, K. W. J. Barnham: *Luminescent solar concentrators: Nanorods and raytrace modelling*, 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego (USA), 11.-16.5.2008

R. Bose, N. Chan, Y. Xiao, D. J. Farrell, A. J. Chatten, A. Büchtemann, J. Quilitz, A. Fiore, L. Manna, J. Nelson, A. P. Alivisatos, K. W. J. Barnham: *The Role of Self-absorption in Luminescence Solar Concentrators*, Material Research Society Fall Meeting 2008, Boston (USA), 1.-5.12.2008

C. Fanter: *Möglichkeiten zum Einsatz von Chitosan als Papierhilfsmittel*, PTS Heidenau, Heidenau (Germany), 28.10.2008

H.-P. Fink, M. Pinnow, C. Fanter, J. Kunze: *Characterization of Highly Porous Materials from Cellulose Carbamate*, Inv. lecture, 235th ACS Meeting, New Orleans (USA), 6.4.2008

H.-P. Fink, H. Ebeling: *Schmelzartige Verarbeitung von Cellulose*, Zellcheming Jahrestagung, Cellulose Symposium, Wiesbaden (Germany), 24.6.2008

H.-P. Fink: *Werkstoffe aus Biopolymere - Stand der Technik und Zukunftsperspektiven für die Region Berlin-Brandenburg*, Kreativworkshop Biopolymere »Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie«, Berlin (Germany), 8.7.2008

H.-P. Fink: *Towards melt-like processing of cellulose*, Internationale Fachtagung Polymerwerkstoffe 2008 – P2008, Halle (Germany), 26.9.2008

H.-P. Fink, H. Ebeling: *Novel cellulose based materials and processing routes*, GDCh Fachgruppe Makromolekulare Chemie, Tagung Bio & Polymers, New Polymer Technologies with water, Aachen (Germany), 29.9.2008

H.-P. Fink: *Cellulose fiber reinforced synthetic and biobased thermoplastics*, DGM Fachauschuss Gefüge und Eigenschaften von Polymerwerkstoffen, Kassel (Germany), 7.11.2008

J. Ganster, M. Pinnow, H.-P. Fink: *Untersuchungen zum Einsatz alternativer Verstärkungsfasern in unidirektionalen Compositen*, Fachtagung »Unidirektionale Hochleistungsbundwerkstoffe«, Haldensleben (Germany), 30.5.2008

J. Ganster, R. Rihm, H.-P. Fink: *Bioplastics Reinforced with Cellulose Spun Fibres*, 14th International Conference for Renewable Resources and Plant Biotechnology, NAROSSA, Magdeburg (Germany), 9.6.2008

S. Garnier, A. Laschewsky, P. Ott, E. Wischerhoff: *New Hydrophilic Polymers and Polymeric Surfactants Bearing the Sulfoxide Moiety*, 4th European Detergency Conference, Würzburg (Germany), 15.10.2008

E. Goernitz, B.-R. Paulke, J. Wagner: *Light Diffraction on Polymer Particle Arrays in the Optical Far- and Near-Field*, Particles 2008, Orlando (USA), 10.-13.5.2008

T. Greco, M. Hassan-Nejad, B. Volkert: *Polymere Nanocomposite auf Polysaccharidbasis*, BMELV-Tagung »Förderung von Nachwuchsgruppen im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe«, Jena (Germany), 29.5.2008

S. Gruner, R. Geis, M. Meyer, J. Bohrisch: *A permanent and environmental stable marking system for leather - traceability via encapsulated DNA*, 4th Freiberg Collagen Symposium, Freiberg (Germany), 11.9.2008

M. Hassan-Nejad, J. Ganster, B. Volkert: *Starch esters with improved mechanical properties by melt compounding with nanoclays*, 7th Global WPC and Natural Fiber Composites Congress and Exhibition, Kassel (Germany), 18.6.2008

K. Hettrich, W. Wagenknecht, B. Volkert, St. Fischer: *Microencapsulation of biological objects with cellulose sulphate*, 235th ACS National Meeting, New Orleans (USA), 6.-10.4.2008

K. Hettrich, W. Wagenknecht, B. Volkert, St. Fischer: *Regioselektive Synthese von Celluloseestern*, Zellcheming, Wiesbaden (Germany), 24.-26.6.2008

A. Holländer, F. Pippig, J.-F. Lutz: *Hydrogelsynthese an Polymeroberflächen*, Statusseminar Nanochem, Bonn (Germany), 18.6.2008

A. Holländer, St. Kröpke: *Surface modification with pressure pulse plasmas*, 11th International Conference on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen (Germany), 15.-19.9.2008

A. Holländer, St. Kröpke, C.-Ch. Fels: *Vorbehandlung von Kunststoffen für die Metallisierung*, 16. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden (Germany), 16.-17.10.2008

D. Janietz, A. Kohlmeier: *Hydrogen-Bonded Block Mesogens with Fluorinated Molecular Fragments*, 22nd International Liquid Crystal Conference, Jeju (Korea), 29.6.-4.7.2008

S. Janietz, H. Krüger, M. Niggemann, H.-F. Schleiermacher: *Tailoring of low band gap polymer structure for efficient organic solar cells*, TPE 08, Rudolstadt (Germany), 20.-22.5.2008

S. Janietz: *Gewusst wie: vom Kohlenstoffatom zum molekularen Glühfaden*, Leibniz Kolleg, Potsdam (Germany), 28.-30.5.2008

S. Janietz, H. Krüger, M. Niggemann, F.-J. Schleiermacher: *Tailoring of low band gap polymer structure for efficient organic solar cells*, ICSM, Porto de Galinhas (Brasilien), 6.-11.7.2008

Präsentationen und Publikationen

Presentations and publications

- S. Janietz**, T. Egorov-Brening, B. Gruber: *Formation of solution processable organic composites with functionalized carbon nanotubes for OTFT*, Material Research Society Fall Meeting 2008, Boston (USA), 1.-5.12.2008
- M. Jobmann**: *Mikroverkapselung von A-Z: Grundlagen der Mikroverkapselungstechnologie*, Workshop »Business Model Innovation – Neue Einsatzmöglichkeiten für Mikroverkapselung«, Fraunhofer IAP, Potsdam-Golm (Germany), 18.9.2008
- K. A. Kobuch**, J. Storsberg, W. A. Herrmann, A. Messner, G. Duncker, S. Foja, S. Sel: *Towards an artificial cornea: evaluation of a new designed hydrophobic one-material implant with modified surfaces in vitro and in vivo*, ARVO 2008 Annual Meeting, Fort Lauderdale, Florida (USA), 27.4.-1.5.2008
- A. Kohlmeier**, T. Vlad-Bubulak, J. Buchs, M. Bruma, D. Janietz: *Hydrogen-Bonded Polyphobic Block Mesogens Derived from Aryl Substituted Diamino-1,3,5-Triazines and Partially Fluorinated Benzoic Acids*, 6th German Topical Meeting on Liquid Crystals, Arbeitstagung Flüssigkristalle, Magdeburg (Germany), 12.-14.3.2008
- H. Krüger**, M. Thesen, S. Janietz, B. Fischer, A. Wedel: *Solution – processible multilayer phosphorescent PLEDs based on crosslinkable copolymer structures*, TPE 08, Rudolstadt (Germany), 20.-22.5.2008
- H. Krüger**, M. Thesen, S. Janietz, B. Fischer, A. Wedel: *Solution – processible multilayer phosphorescent PLEDs based on crosslinkable copolymer structures*, ICSM, Porto de Galinhas (Brasilia), 6.-11.7.2008
- A. Laschewsky**, P. Ott, E. Wischerhoff, I. Dönch, A. Fery: *Reactive Polyelectrolyte Thin Films. From Static Structures to Functional Coatings*, Symposium »Charged Polymers in Contact with Water« am Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Dresden (Germany), 22.4.2008
- A. Laschewsky**, A. M. Bivigou Koumba, J.-F. Lutz, J. Kristen, K. Skrabania, J. Storsberg, W. Li: *Designing Block Co-polymers as »Smart« Surfactants*, 7th World Surfactant Congress CESIO, Paris (France), 22.6.2008
- A. Laschewsky**, J. Kristen, J.-N. Marsat, K. Skrabania, J.-F. Lutz, M. Päch: *Controlled free radical polymerization as pathway to new polymeric surfactants bearing fluorocarbon fragments*, 1st International Workshop Fluorinated Surfactants: New Developments (Synthesis-Analysis-Fate-Regulation), Idstein (Germany), 26.6.2008
- A. Laschewsky**: *Bioinspired Block Co-polymers: Translating Structural Features from Proteins to Synthetic Polymers*, Bio & Polymers/ New Polymer Technologies with Water, Tagung der Fachgruppe Makromolekulare Chemie der GDCh, Aachen (Germany), 28.9.2008
- A. Laschewsky**: *Recent Developments and Perspectives of Block Co-polymers in Nanotechnology*, Joint Symposium of Colloid and Surface Science (C&SS) and Polymer Communities of Practice (CoP) of Procter & Gamble, Darmstadt (Germany), 7.10.2008
- A. Laschewsky**: *Block Co-polymers as »Smart« Surfactants.*, AkzoNobel Surfactant Research, Stenungssund/Göthenburg (Sweden), 5.11.2008
- D. Löttsch**, O. Mühling, R. Ruhmann, A. Seeboth: *Development of Thermochromic Polymer Materials*, The Polymer Processing Society, 24th Annual Meeting, Salerno (Italy), 15.-19.6.2008
- J.-F. Lutz**: *Design of New Generations of Biorelevant polymers using Controlled Radical Polymerizations Techniques*, 30. Berliner Genthherapie-Seminar, Berlin (Germany), 9.1.2008
- J.-F. Lutz**: *Design of New Generations of »Smart« Materials using Controlled Radical Polymerizations Techniques*, University of Cambridge, Melville Laboratory for Polymer Synthesis, Cambridge (UK), 7.2.2008
- J.-F. Lutz**: *Design of New Generations of »Smart« Materials for Biomedical Applications*, Makromolekulares Kolloquium 2008, Freiburg (Germany), 28.2.2008
- J.-F. Lutz**: *Design of New Generations of »Smart« Materials for Biomedical Applications*, Laboratoire du Futur, CNRS-Rhodia, Bordeaux (France), 14.3.2008
- J.-F. Lutz**: *Development of PEGylated Organic-Inorganic Hybrids as Potential Contrast Agents for Medical Imaging*, ACS 235th National Meeting, New Orleans (USA), 8.4.2008
- J.-F. Lutz**: *Modern Toolbox for Macromolecular Design: Dual-Platform ATRP + Copper Catalyzed [3+2] Huisgen Cycloadditions*, ACS 235th National Meeting, New Orleans (USA), 8.4.2008
- J.-F. Lutz**: *Synthesis and Applications of PEG-based Stimuli-Responsive Materials*, ACS 235th National Meeting, New Orleans (USA), 9.4.2008
- J.-F. Lutz**: *Synthesis and Applications of PEG-based Stimuli-Responsive Materials*, Seminar of the Sfb 448, Berlin (Germany), 24.6.2008
- J.-F. Lutz**: *Synthesis of Biorelevant Polymers by Controlled Radical Polymerization*, ACS 236th National Meeting, Philadelphia (USA), 20.8.2008
- J.-F. Lutz**: *Combining ATRP and »click« Chemistry: a Promising Platform towards Functional Biocompatible Polymers and Polymer Bioconjugates*, NATO ASI meeting: New smart materials via metal-mediated macromolecular engineering: from complex to nanostructures, Antalya (Turkey), 1.9.2008
- J.-F. Lutz**: *Design of Novel Stimuli-responsive Materials via ATRP*, NATO ASI meeting: New smart materials via metal-mediated macromolecular engineering: from complex to nanostructures, Antalya (Turkey), 9.9.2008
- J.-F. Lutz**: *Synthesis and Applications of PEG-based Stimuli-Responsive Materials*, 4th STIPO-MAT conference, Bordeaux (France), 24.9.2008
- J.-F. Lutz**: *Polymer-based Nanotechnology for Life Science*, Interdisciplinary Workshop on Polymer-based Drug-delivery Systems for Women's Healthcare, Berlin (Germany), 26.9.2008

- J.-F. Lutz:** *Synthesis and Applications of PEG-based Stimuli-Responsive Materials*, Institut Charles Sadron, Strasbourg (France), 29.9.2008
- J.-F. Lutz:** *Synthesis and Applications of PEG-based Stimuli-Responsive Materials*, Polydays 2008, Berlin (Germany), 2.10.2008
- J.-F. Lutz:** *Vers des dérivés poly(éthylène glycol) intelligents : ou comment transformer un polymère biocompatible en un polymère stimuable*, GFP 2008, Lyon (France), 26.10.2008
- O. Mühling:** *Thermotrope Kern/Schale-Partikel für den Sonnenschutz*, Workshop »Business Model Innovation – Neue Einsatzmöglichkeiten für Mikroverkapselung«, Fraunhofer IAP, Potsdam-Golm (Germany), 18.9.2008
- A. Neudeck,** Y. Zimmermann, S. Janietz, B. Gruber, Ch. Kallmeyer, Ch. Diels, F. Weigand, H. Illing-Günther, U. Möhring: *Texoled - Textilintegrierte und textilibasierte LEDs und OLEDs - Entwicklung neuer Technologien zur Erzeugung textiler Flächen und Fäden mit hoher Leuchtdichte*, Clustermeeting des VDE/VDI-IT, Berlin (Germany), 1.-2.10.2008
- S. Radosta,** W. Vorwerk, M. Ulbrich: *Molecular Properties of Starches for Paper Application*, 59th Starch Convention, Detmold (Germany), 17.4.2008
- A. Seeboth,** O. Mühling, R. Ruhmann, D. Löttsch: *Chromogenic Polymer Materials for Sun Protection*, 17th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy, Sydney (Australia), 27.7.-1.8.2008
- A. Seeboth:** *Chromogene Polymere - Energieeffiziente Materialien*, 9. Schwarzheider Kunststoffkolloquium, Schwarzheide (Germany), 17.9.2008
- S. Sel,** T. Duncker, S. Foja, E. Vetter, G. I. W. Duncker, K. Kobuch, J. Storsberg: *In-vivo-Untersuchungen einer neuen Keratoprotthese im Kaninchenauge*, DOG Kongress 2008, Berlin (Germany), 17.9.2008
- J. Storsberg,** B.-R. Paulke, E. Goernitz, A. Laschewsky: *The Multiple Faces of Latices: From Large Industrial Scale Products to Nanoscience for Medical Applications*, 5th International Conference on Latex and Latex-Based Products, Madrid (Spain), 23.-24.1.2008
- J. Storsberg:** *Künstliche Hornhaut - Rettung fürs Augenlicht*, ZDF Drehscheibe, Fernsehbeitrag, 4.4.2008
- J. Storsberg,** K. Kobuch, E. Vetter, S. Foja, G. Duncker, S. Sel: *Künstliche Cornea - Polymerchemische Materialentwicklung und in vitro Untersuchungen*, 21th Internationaler Kongress der Deutschen Ophthalmochirurgen, Nürnberg (Germany), 12.-15.6.2008
- J. Storsberg,** S. Sel: *Nanotechnologie in der Ophthalmologie – Stand und Perspektiven für mehr Lebensqualität*, DOG-Kongress 2008, Berlin (Germany), 18.9.2008
- J. Storsberg,** A. Laschewsky, St. Bruzzano, St. Eichhorn, S. Stapel, A. Voigt, E. Donath: *Block-Copolymere als flexible Haftvermittler*, Heidenau (Germany), 2.10.2008
- J. Storsberg:** *Forschen in Europa- Information zur Nachwuchsförderung*, Universität Potsdam, Potsdam (Germany), 10.12.2008
- B. Volkert,** W. Wagenknecht: *Influence of the synthetic pathway on the properties of cellulose ethers*, 235th ACS National Meeting, New Orleans (USA), 6.-10.4.2008
- B. Volkert,** M. Hassan Nejad, T. Greco, H. Wetzel: *Synthese und mechanische Eigenschaften stärkebasierter Werkstoffe*, BMELV-Tagung »Förderung von Nachwuchsgruppen im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe«, Jena (Germany), 29.5.2008
- B. Volkert,** St. Fischer: *Influence of the activation on the properties of cellulose derivatives*, 8th International Symposium »Alternative Cellulose«, Rudolstadt (Germany), 4.9.2008
- W. Vorwerk,** S. Radosta: *Starch Modification*, Starch Primer, Nottingham (GB), 16.3.2008
- W. Vorwerk,** S. Radosta: *Characterization and Modification of Starch*, BASF, Ludwigshafen (Germany), 8.4.2008
- W. Vorwerk,** S. Radosta, K. Hettrich: *Synthesis and Properties of Hydrophobic Starches*, 59th Starch Convention, Detmold (Germany), 16.4.2008
- W. Vorwerk,** S. Radosta, U. Schuldt: *Technical Applications for Starch Based Biopolymers*, Gehr Eco Workshop, Mannheim (Germany), 13.6.2008
- A. Wedel,** S. Janietz, H. Krueger, M. Thesen, B. Fischer, St. Kreissl: *Influence of hole and electron transport layers on the device performance of polymer based triplet emitter systems*, 1st International Symposium on Flexible Organic Electronics (IS-FOE), Halkidiki (Greece), 9.-11.7.2008
- A. Wedel,** S. Janietz, H. Krueger, M. Thesen, B. Fischer, St. Kreissl: *New device structures of polymer based triplet emitter systems*, Organic Semiconductor Conference '08, Frankfurt (Germany), 29.9.-1.10.2008
- M. Wegener,** K. Arlt: *PZT / P(VDF-HFP) 0-3 composites: Preparation, electrical poling and piezoelectric properties*, Tokyo (Japan), 15.9.2008
- M. Wegener:** *Piezoelectric polymer foams: Recent developments in polyolefine, polyester and cyclo-olefine ferroelectrets*, Beijing (China), 2.11.2008
- E. Wischerhoff:** *Synthetic bioactive surfaces by controlled free radical polymerization*, European Coatings Conference – Medical Coatings and Adhesives, Berlin (Germany), 11.4.2008
- E. Wischerhoff,** P. Ott, A. Mauro, A. Laschewsky, A. Fery: *Thin defined layers from charge-diluted polyelectrolytes and their applications*, Polyelectrolytes 2008, Coimbra (Portugal), 18.6.2008

Präsentationen und Publikationen

Presentations and publications

E. Wischerhoff, A. Mauro, A. Laschewsky, J.-F. Lutz: *Thermoresponsive polymers for bioactive surfaces*, 4th International Symposium on Macro- and Supramolecular Architectures and Materials, Düsseldorf (Germany), 9.9.2008

E. Wischerhoff, J.-F. Lutz, A. Laschewsky: *Thermoresponsive Polymers for Biomedical Applications*, Polymeric Materials P2008, Halle/Saale (Germany), 25.9.2008

Poster Posters

A. M. Bivigou-Koumba, Ch. Herfurth, J. Kristen, A. Laschewsky, A. Kulkarni, P. Müller-Buschbaum, Ch. M. Papadakis: *Synthesis, aqueous self-organization and »smart« behavior of amphiphilic triblock co-polymers*, POLYDAYS 2008, Berlin (Germany), 1.10.2008

A. M. Bivigou-Koumba, J. Kristen, A. Laschewsky: *»Missing« end-group peak occurring in bulk polymerization of styrene via the RAFT process*. Symposium on Microstructural Control in Free-Radical Polymerization, Clausthal University of Technology, Clausthal (Germany), 5.10.2008

A. M. Bivigou-Koumba, J. Kristen, A. Laschewsky, A. Kulkarni, P. Müller-Buschbaum, Ch. M. Papadakis: *Micellar Aggregation, Hydrogel Formation and »Smart« Behavior of Amphiphilic ABA Triblock Co-polymers*, 4th European Detergency Conference, Würzburg (Germany), 15.10.2008

J. Bohrisch, S. Bruzzano, A. Laschewsky, J. Storsberg: *Modified Carbohydrates, a Versatile Access to Functional and Smart Polymers*, Makromolekulares Kolloquium, Freiburg (Germany), 28.2.- 1.3.2008

J. Bohrisch, S. Bruzzano, A. Laschewsky, J. Storsberg: *Functional and Smart Polymers from Renewable Sources: From Modified Polysaccharides to Innovative Performance Materials*, Tag der Chemie - Innovationskongress Chemie und Biotechnologie, Berlin (Germany), 23.-24.4.2008

R. Bose, D. J. Farrell, A. J. Chatten, A. Büchtemann, K. W. J. Barnham: *The luminescent solar concentrator: Thin films and large area modelling*, 4th Photovoltaic Science Application and Technology (PVSA-4) Conference and Exhibition, Bath (GB), 2.-4.4.2008

N. Fandrich, J. Falkenhagen, S. Weidner, B. Staal, A. Thünemann, A. Laschewsky: *Characterization of new blocky copolymers of N-vinyl pyrrolidone and vinyl acetate by using of liquid chromatography and hyphenated techniques*, 10th International Symposium on Hyphenated Techniques in Chromatography and Hyphenated Chromatographic Analyzers (HTC-10), Brugge (Belgium), 30.1.-1.2.2008

J. Frisch, N. Koch, A. Holländer, S. Janietz: *Surface Modification for improved charge injection at copper electrode/ organic semiconductor interfaces for p-type OFET applications*, DPG Tagung, Berlin (Germany), 25.-29.2.2008

P. Frübing, F. Wang, R. Gerhard, M. Wegener, M. Jaunich, W. Stark: *Comparison of dielectric and mechanical relaxations in different poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene) films*, 5th International Conference on Broadband Dielectric Spectroscopy and Its Applications Lyon (France), 26.8.2008

P. Frübing, F. Wang, H. Bernigau, A. Lack, M. Wegener, M. Jaunich, W. Stark, R. Gerhard: *Dielectric and mechanical relaxations in different poly(vinylidene fluoride - hexafluoropropylene) films*, POLYDAYS 2008, Berlin (Germany), 1.10.2008

M. Hassan-Nejad, J. Ganster, B. Volkert: *Nanoclay modified cellulose acetate*, ZELLCHEMING Jahrestagung und Expo, Wiesbaden (Germany), 24.6.2008

K. Hettrich, W. Wagenknecht, B. Volkert, St. Fischer, O. Hauser, W. Tabotta: *Micro encapsulation of biological objects with cellulose sulfate*, POLYDAYS Berlin (Germany), 1.10.2008

A. Holländer, F. Pippig: *Determination of Functional Groups in Hydrogel Nanofilms*, POLYDAYS 2008, Berlin (Germany), 1.-2.10.2008

I. Jahn, M. Busch: *Innovative Entwicklungen bei cellulose regeneratfaserverstärkten Thermoplasten*, 13. Internationale Fachtagung Polymerwerkstoffe 2008, Halle/Saale (Germany), 24.-26.10.2008

D. Janietz, A. Kohlmeier: *Self-Assembly of Hydrogen-Bonded Polyphilic Block Molecules*, Gordon Research Conference »Organic Structures and Properties – Molecular Design and Supramolecular Assemblies«, Lucca (Italy), 27.4-2.5.2008

S. Janietz, B. Gruber, A. Neudeck: *Entwicklung neuer Technologien zur Erzeugung textiler Flächen und Fäden mit hoher Leuchtdichte*, Effekte Tagung, Zeulenroda (Germany), 28.-29.2.2008

M. Kennedy, S. J. McCormack, J. Doran, B. Norton, A. J. Chatten, D. J. Farrell, R. Bose, K. W. J. Barnham, A. Büchtemann: *Thermodynamic Modelling and Ray-Trace Modelling of Luminescent Solar Concentrators: A Comparison of the two Approaches*, 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia (Spain), 1.-5.9.2008

H. Krüger, S. Janietz: *Polymer materials for organic photovoltaics*, International Symposium towards organic photovoltaic, Linz (Austria), 6.-8.2.2008

A. Kulkarni, K. Troll, W. Wang, C. Darko, S. Funari, A. M. Bivigou Koumba, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis: *Stimuli-sensitive self-organized polymeric micelles*, HASYLAB user meeting, HASYLAB at DESY, Hamburg (Germany), 25.1.2008

A. Laschewsky, J. Kristen, J.-N. Marsat, K. Skrabania, H. von Berlepsch, Ch. Böttcher: *Novel polymeric surfactants and surfactant aggregates bearing fluorocarbon fragments*, 1st International Workshop Fluorinated Surfactants: New Developments (Synthesis-Analysis-Fate-Regulation), Hochschule Fresenius, Idstein (Germany), 26.6.2008

- J. Matousek**, J. Pavlik, Z. Stryhal, F. Pippig, L. Kovacic: *RF magnetron sputtering of tin in Ar/n-hexan working gas mixture*, International Conference on Plasma Surface Engineering Garmisch-Partenkirchen (Germany), 15.-19.9.2008
- P. Ott**, A. Laschewsky, I. Dönch, A. Fery: *Reactive Polyelectrolytes for Crosslinkable LbL-multilayers*, 11th European Conference on Organized Films ECOF11, Universität Potsdam, Potsdam (Germany), 9.7.2008
- S. Pfeifer**, J.-F. Lutz: *A Facile procedure for Controlling Monomer Sequence Distribution in Radical Chain Polymerizations*, NATO ASI meeting: New smart materials via metal-mediated macromolecular engineering: from complex to nanostructures, Antalya (Turkey), 3.9.2008
- S. Pfeifer**, J.-F. Lutz: *A Facile procedure for Controlling Monomer Sequence Distribution in Radical Chain Polymerizations*, POLYDAYS 2008, Berlin (Germany), 1.10.2008
- S. Radosta**, W. Vorwerg, M. Ulbrich: *Cationic starch derivatives for paper production: adsorption behaviour and paper strength*, Starch 2008: 4th International Meeting on Starch Structure and Functionality, Nottingham (GB), 18.3.2008
- S. Radosta**, W. Vorwerg, M. Ulbrich: *Cationic starch derivatives for paper production: adsorption behaviour and paper strength*, Zellcheming Wiesbaden (Germany), 25.6.2008
- O. V. Sakhno**, J. Stumpe, L. M. Goldenberg, E. Goernitz, T. N. Smirnova: *Organic-Inorganic Nanocomposites for Volume Holographic Elements*, Particles 2008, Orlando (USA), 10.-13.5.2008
- V. Strehmel**, H. Wetzel, A. Laschewsky: *Synthesis of Co-polymers Based on Different Polar Methacrylates in Ionic Liquids*, Tag der Chemie 2008, Humboldt-Universität, Berlin-Adlershof (Germany), 23.4.2008
- V. Strehmel**, E. Reynaud, H. Wetzel, E. Görnitz, A. Laschewsky: *Free Radical Polymerization of n-Butylmethacrylate and Styrene in Imidazolium Tosylates*, EUCHEM 2008 Conference on Molten Salts and Ionic Liquids, Copenhagen (Denmark), 24.8.2008
- V. Strehmel**, Ch. Melchert, S. Beuermann, E. Görnitz, A. Laschewsky: *Radical polyaddition of 1,3-diisopropenylbenzene with dithiols in various solvents*, POLYDAYS 2008, FU Berlin, Berlin (Germany), 1.10.2008
- V. Strehmel**, E. Reynaud, H. Wetzel, E. Görnitz, A. Laschewsky: *Aspects of Free Radical Polymerization of Styrene and n-Butylmethacrylate in Imidazolium Tosylates*, Symposium on Microstructural Control in Free-Radical Polymerization, Clausthal University of Technology, Clausthal (Germany), 5.10.2008
- M. Thesen**, H. Krueger, S. Janietz, A. Wedel, M. Debeaux, H.-H. Johannes: *Solution-processible multilayer phosphorescent PLEDs based on crosslinkable copolymer structures*, POLYDAYS 2008, Berlin (Germany), 2.10.2008
- K. Thümmel**, B. Volkert, K. Hettrich, S. Fischer: *Cellulose acetate as raw material for synthesis cellulose beads*, 235th ACS National Meeting, New Orleans (USA), 6.-10.4.2008
- B. Volkert**, St. Fischer, B. Wolf: *Application of modified bead cellulose as a carrier of active ingredients*, Zellcheming, Wiesbaden (Germany), 24.-26.6.2008
- J. Wagner**, B.-R. Paulke, E. Goernitz: *Self-Assembly of Polymer Microspheres for the Preparation of 3D Optical Phase Gratings*, Particles 2008, Orlando (USA), 10.-13.5.2008
- J. Wagner**, E. Görnitz, B.-R. Paulke, J. Stumpe: *Light Diffraction on Thin Layers of Polymer Particle Arrays in the Optical Near-Field*, 4. Thüringer Grenz- und Oberflächentage & 1. Thüringer Kolloquium »Dünne Schichten in der Optik«, Jena (Germany), 16.-18.9.2008
- W. Wang**, K. Troll, G. Kaune, E. Metwalli, M. Ruderer, K. Skrabania, A. Laschewsky, S. V. Roth, C. M. Papadakis, P. Müller-Buschbaum: *Thin films of poly(N-isopropylacrylamide) end-capped with n-butyltrithiocarbonate*, HASYLAB user meeting, HASYLAB at DESY, Hamburg (Germany), 25.1.2008
- F. Wang**, P. Frübing, W. Wirges, R. Gerhard, M. Wegener: *Enhanced piezoelectric activity in melt-quenched and stretched poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene) films*, 8th International Symposium on Electrets, Tokyo (Japan), 15.9.2008
- Z. Zarafshani**, J.-F. Lutz: *In-situ Modifications of Polymeric Micellar Aggregates using »click« Chemistry in Aqueous Solution*, NATO ASI meeting: New smart materials via metal-mediated macromolecular engineering: from complex to nanostructures, Antalya (Turkey), 3.9.2008
- Z. Zarafshani**, J.-F. Lutz: *In-situ Modifications of Polymeric Micellar Aggregates using »click« Chemistry in Aqueous Solution*, POLYDAYS 2008, Berlin (Germany), 1.10.2008
- D. Zehm**, A. Laschewsky, H. Liang, J. Rabe, P. Jürgen: *Amphiphilic graft block co-polymers »double brushes« from consecutive RAFT polymerization and NMP*, POLYDAYS 2008, FU Berlin, Berlin (Germany), 1.10.2008
- D. Zehm**, A. Laschewsky, H. Liang, J. Rabe, P. Jürgen: *Synthesis, aggregation and surface investigations of amphiphilic graft block co-polymers »double brushes«*, 4th European Detergency Conference, Würzburg (Germany), 15.10.2008

Publikationen Publications

- C. Borde**, V. Nardello, L. Wattebled, A. Laschewsky, J.-M. Aubry: *A Gemini Amphiphilic Phase Transfer Catalyst for Dark Singlet Oxygenation in Biphasic System*, Journal of Physical: Organic Chemistry 21, p. 652-658 (2008)

Präsentationen und Publikationen

Presentations and publications

- V. Bovtun**, J. Döring, M. Wegener, J. Bartusch, U. Beck, A. Erhard, V. Borisov: *Air-coupled ultrasonic applications of ferroelectrets*, *Ferroelectrics* 370/1, p. 11-17 (2008)
- R. Czerwieniec**, W. J. Finkenzeller, T. Hofbeck, A. Starukhin, A. Wedel, H. Yersin: *Photophysical properties of $Re(pbt)(CO)_4$ studied by high resolution spectroscopy*, *Chemical Physics Letters*, Volume 468, Issues 4-6, p. 205-210 (2008)
- S. Darougar**, D. Darougar, J. Storsberg: *Toward An Artificial Cornea: The Flexicornea (Feature Story)*, *Cataract and Refractive Surgery Today Europe* Vol. 3, No. 2, p. 34-36 (2008)
- C. L. Dennis**, A. J. Jackson, J. A. Borchers, R. Ivkov, A. R. Foreman, J. W. Lau, E. Goernitz, C. Gruettner: *The influence of collective behavior on the magnetic and heating properties of iron oxide nanoparticles*, *J. Appl. Phys.* 103 07A319, (2008)
- P. L. Dubin**, Y. Li, W. Jaeger: *Mesophase separation in polyelectrolyte-mixed micelle coacervates*, *Langmuir* 24, p. 4544-4549 (2008)
- O. Ernst**, A. Lieske, A. Holländer, A. Lankenau, C. Duschl: *Tuning of Thermo-responsive Self-Assembly Monolayers on Gold for Cell-Type-Specific Control of Adhesion*, *Langmuir* 24/18, p. 10259 - 10264 (2008)
- P. Fang**, W. Wirges, M. Wegener, L. Zirkel, R. Gerhard: *Cellular polyethylene-naphthalate films for ferroelectret applications: foaming, inflation and stretching, assessment of electro-mechanically relevant structural features*, *e-Polymers* 43/43, p. 43 (2008)
- St. Fischer**, K. Thümmel, B. Volkert, K. Hettrich, I. Schmidt, K. Fischer: *Properties and Applications of Cellulose Acetates*, *Macromol. Sympos.* 262, p. 89 (2008)
- J. Ganster**, H.-P. Fink, K. Uihlein, B. Zimmerer: *Cellulose man-made fibre reinforced polypropylene - correlations between fibre and composite properties*, *Cellulose* 15, p. 561-569 (2008)
- L. M. Goldenberg**, O. V. Sakhno, T. N. Smirnova, P. Helliwell, V. Chechik, J. Stumpe: *Holographic composites with gold nanoparticles: nanoparticles promote polymer segregation*, *Chem. Mater.* 20/14, p. 4619-4627 (2008)
- L. M. Goldenberg**, Y. Gritsai, O. Kulikovska, J. Stumpe: *3D diffraction structures based on surface relief gratings in azobenzene materials*, *Opt. Lett.* 33/12, p. 1309-1311 (2008)
- L. M. Goldenberg**, Y. Gritsai, O. V. Sakhno, O. Kulikovska, J. Stumpe: *All-optical fabrication of 2D, 3D and hierarchic structures using step-by-step approach and a single polymer phase mask*, *Proc. First Mediterranean Photonics Conference* 1/1, p. 28-30 (2008)
- Y. Gritsai**, L. M. Goldenberg, O. Kulikovska, J. Stumpe: *3D structures using surface relief gratings of azobenzene materials*, *J. Opt. A* 10/12, p. 125304-125310 (2008)
- J. Hentschel**, K. Bleek, O. Ernst, J.-F. Lutz, H. G. Börner: *Easy Access to Bioactive Peptide-polymer Conjugates via RAFT*, *Macromolecules* 41, p. 1073 (2008)
- K. Hettrich**, W. Wagenknecht, B. Volkert, St. Fischer: *New Possibilities of the Acetylation of Cellulose*, *Macromol. Sympos.* 262, p. 162 (2008)
- A. Holländer**, F. Pippig, M. Dubreuil, D. Vangeneugden: *Distinguishing Surface OH and NHx Using TFAA Derivatization and XPS*, *Plasma Processes and Polymers* 5/4, p. 345-349 (2008)
- A. Holländer**, St. Kröpke, F. Pippig: *Chemical analysis of functionalized polymer surfaces*, *Surface and Interface Analysis* 40/0, p. 379-385 (2008)
- O. Kulikovska**, L. Kulikovsky, L. M. Goldenberg, J. Stumpe: *Generation of microstructures in novel supramolecular ionic materials based on azobenzene*, *Proc. SPIE* 6999/1, p. 699901 (2008)
- O. Kulikovska**, L. M. Goldenberg, L. Kulikovsky, J. Stumpe: *Smart Ionic Sol-Gel-Based Azobenzene Materials for Optical Generation of Microstructures*, *Chem. Mater* 20, p. 3528 (2008)
- A. Lehmann**, B. Volkert, St. Fischer, A. Schrader, H. Nerenz: *Starch based thickening agents for personal care and surfactant systems*, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 331/0, p.150-154 (2008)
- J.-F. Lutz**: *Copper-Free Azide-Alkyne Cycloadditions: New Insights and Perspectives*, *Angewandte Chemie International Edition* 47/12, p. 2182-2184 (2008)
- J.-F. Lutz**: *Polymerization of Oligo(ethylene glycol) (Meth)acrylates: Toward New Generations of Smart Biocompatible Materials*, *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry* 46/11, p. 3459-3470 (2008)
- J.-F. Lutz**, Z. Zarafshani: *Efficient Construction of Therapeutics, Bioconjugates, Biomaterials and Bioactive Surfaces using Azide-Alkyne «click» Chemistry*, *Advanced Drug Delivery Reviews* 60/9, p. 958-970 (2008)
- J.-F. Lutz**, K. Weichenhan, O. Akdemir, Z. Zarafshani: *Modern Toolbox for Macromolecular Design: Dual-Platform ATRP + Copper Catalyzed [3+2] Huisgen Cycloadditions*, *Polymer Preprints* 49/1, p. 186-187 (2008)
- J.-F. Lutz**: *Synthesis and Applications of PEG-based Stimuli-Responsive Materials*, *Polymer Preprints* 49/1, p. 1076 (2008)
- J.-F. Lutz**, E. Ortel: *Development of PEGylated Organic-Inorganic Hybrids as Potential Contrast Agents for Medical Imaging*, *PMSE Preprints* 98/98, p. 289-290 (2008)
- J.-F. Lutz**, J. Andrieu, A. Hoth, S. Agarwal: *Synthesis of Biorelevant Polymers by Controlled Radical Polymerization*, *Polymer Preprints* 49/2, p. 312-313 (2008)
- J.-F. Lutz**, H. G. Börner: *Modern Trends in Polymer Bioconjugates Design*, *Progress in Polymer Science* 33, p. 1 (2008)

- J.-F. Lutz, H. Schlaad:** *Modular Chemical Tools for Advanced Macromolecular Engineering*, Polymer 49 (2008), p. 817 (2008)
- A. Mellinger, R. Flores-Suárez, R. Singh, M. Wegener, W. Wirges, R. Gerhard, S. B. Lang:** *Thermal-pulse tomography of space-charge and polarization distributions in electret polymers*, International Journal of Thermophysics 29/6, p. 2046-2054 (2008)
- O. Mühlung:** *Fließender Wechsel*, Glaswelt 04 2008, p. 14-16 (2008)
- G. M. Pavlov, H. Cölfen, E. Görnitz:** *OBITUARY: Peter N. Lavrenko (02. 09. 1943–16. 06. 2007)*, Colloid Polym. Sci. 286, p. 119–120 (2008)
- S. Pfeifer, J.-F. Lutz:** *Development of a Library of N-substituted Maleimides for the Local Functionalization of Linear Polymer Chains*, Chemistry – A European Journal 14/35, p. 10949-10957 (2008)
- M. Pinnow, H.-P. Fink, C. Fanter, J. Kunze:** *Characterization of Highly Porous Materials from Cellulose Carbamate*, Macromol. Symp. 2008, 262, p. 129-139 (2008)
- O. V. Sakhno, T. N. Smirnova, L. M. Goldenberg, J. Stumpe:** *Holographic patterning of luminescent photopolymer nanocomposites*, Materials Science and Engineering C 28, p. 28–35 (2008)
- W. G. J. H. M. Van Sark, K. W. J. Barnham, L. H. Sloof, A. J. Chatten, A. Büchtemann, u.a.:** *Luminescent Solar Concentrators - A review of recent results*, Optics Express 16/26, p. 21773 - 21792 (2008)
- Ch. Schuetz, B. Hoefler, F. Jaiser, H. Krüger, M. Thesen, S. Janietz, A. Koehler:** *Exciton dynamics in blends of phosphorescent emitters*, Physica Status Solidi (b) 5/245, p. 810 -813 (2008)
- K. Skrabania, A. Laschewsky, W. Li:** *Synthesis of Double-Hydrophilic BAB Triblock Co-polymers via RAFT Polymerization and Their Thermoresponsive Self-Assembly in Water*, Macromol. Chem. Phys. 209, p. 1389-1403 (2008)
- L. H. Sloos, E. E. Bende, A. R. Burgers, T. Budel, M. Pravettoni, R. P. Kenny, E. D. Dunlop, A. Büchtemann:** *A luminescent solar concentrator with 7.1 percent power conversion efficiency* Physica Status Solidi, Rapid Research Letters 2/6, p. 257-259 (2008)
- J. Storsberg:** *Intelligente Transportcontainer für Therapeutika - Nanotechnologie in der Ophthalmologie eröffnet Perspektiven für neue Therapeutika Diagnostika und Implantate*, Ophthalmologische Nachrichten 2008/10, p. 14-15 (2008)
- J. Storsberg, B.-R. Paulke, E. Goernitz, A. Laschewsky:** *The multiple faces of latices: from large industrial scale products to nanoscience for medical applications*, Latex and Synthetic Polymer Dispersions 2008, conference proceedings, paper 11, (2008)
- J. Storsberg, K. Kobuch, E. Vetter, S. Foja, G. Duncker, S. Sel:** *Künstliche Cornea (Keratoprothese) – Polymerchemische Materialentwicklung und in vitro Untersuchungen*, Fortschritte der Ophthalmochirurgie 2008, p. 159 (2008)
- V. Strehmel, H. Wetzler, A. Laschewsky, E. Moldenhauer, Th. Klein:** *Influence of imidazolium-based ionic liquids on the synthesis of amphiphilic co-polymers based on n-butylmethacrylate and a zwitterionic methacrylate*, Polymers for Advanced Technologies 19, p. 1383-1390 (2008)
- K. Troll, A. Kulkarni, W. Wang, Ch. Darko, A. M. Bivigou-Koumba, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, Ch. M. Papadakis:** *The collapse transition of poly(styrene-b-(N-isopropylacrylamide)) diblock copolymers in aqueous solution and in thin films*, Colloid & Polymer Science 286, p. 1079-1092 (2008)
- B. Volkert, W. Wagenknecht:** *Substitution Patterns of Cellulose Ethers - Influence of the Synthetic Pathway*, Macromol. Sympos. 262, p. 97 (2008)
- O. Voronina, M. Wegener, W. Wirges, R. Gerhard, L. Zirkel, H. Münstedt:** *Physical foaming of fluorinated ethylene-propylene (FEP) copolymers in supercritical carbon dioxide: single-film fluoropolymer piezoelectrets*, Applied Physics A 90/4, p. 615-618 (2008)
- W. Vorwerg, S. Radosta:** *Maisstärke – Gewinnung, Eigenschaften, Anwendung*, Mais 3/1, p. 84-87 (2008)
- M. Wegener:** *Polarization – electric field hysteresis of ferroelectric PVDF films: Comparison of different measurement regimes*, Review Scientific Instruments 79/1, p. 106103 (2008)
- M. Wegener, K. Arlt:** *PZT / P(VDF-HFP) 0-3 composites as solvent-cast thin films: Preparation, structure and piezoelectric properties*, Journal of Physics D: Applied Physics 41/16, 165409 (2008)
- L. Werner, J. Storsberg, O. Mauger, K. Brasse, R. Gerl, M. Müller, M. Tetz:** *Unusual pattern of glistening formation on a 3-piece hydrophobic acrylic intraocular lens*, Journal of Cataract & Refractive Surgery 34/9, p. 1604-1609 (2008)
- E. Wischerhoff, K. Uhlig, A. Lankenau, H. G. Börner, A. Laschewsky, C. Duschl, J.-F. Lutz:** *Controlled Cell Adhesion on PEG-based Switchable Surfaces*, Angewandte Chemie International Edition 47, p. 5666-5668 (2008)
- S. A. Yeroshina, N. Kh. Ibrayev, S. E. Kudaibergenov, F. Rullens, M. Devillers, A. Laschewsky:** *Spectroscopic properties of mixed Langmuir-Blodgett films of rhodamine dyes and poly(N,N-diallyl-N-octadecylamine-alt-maleic acid)*, Thin Solid Films 516, p. 2109 (2008)
- M. Yoldi, C. Arcos, B.-R. Paulke, R. Sirera, W. González-Viñas, E. Görnitz:** *On the parameters influencing the deposition of polystyrene colloidal crystals*, Materials Science and Engineering C 28, p. 1038–1043 (2008)
- Z. Zarafshani, O. Akdemir, J.-F. Lutz:** *A »click« Strategy for Tuning in situ the Hydrophilic-Hydrophobic Balance of AB Macrosurfactants*, Macromolecular Rapid Communications 29/0, p. 1161-1166 (2008)

Patente

Patents

J. Bohrisch, J. Storsberg, St. Bruzzano, A. Zimmermann (Fit): Beschichtungsmaterialien auf Stärkebasis mit kontrollierbarem Auflösverhalten, deren Herstellung und Verwendung,
DE 10 2006 035 659 A1

J. Bohrisch, M. Meyer, I. Stachel: Kohlehydrat-Derivate zur reversiblen Eigenschaftsveränderung von Gelatinen,
AZ: 10 2008 059 857.7

S. Bruzzano, J. Bohrisch, J. Storsberg, A. Zimmermann: Starch-based coating materials with controllable dissolution behavior, their production and use,
WO 2008/014914 A1

R. Danz, B. Elling, A. Büchtemann, T. Greco: Herstellung und Applikation multifunktionaler optischer Module zur photovoltaischen Stromerzeugung und für Beleuchtungszwecke,
AZ: 10 2008 006 955.8

U. Drechsler, K. Hettrich, F. Loth: Verfahren zur Herstellung von Gelen auf Basis von Hemicellulose,
US 2008-0199573 A1

H. Ebeling, H.-P. Fink: Blasfolien aus Cellulose und Verfahren zu deren Herstellung,
AZ: 10 2008 018 745.3

H. Ebeling, H.-P. Fink: Cellulosecarbamatspinnlösung, Cellulosecarbamats-Blasfolie sowie Verfahren zu deren Herstellung und Verwendungsmöglichkeiten,
AZ: 10 2008 018 745.3-43

H. Ebeling, H.-P. Fink: Cellulosische Fasern und Verfahren zu deren Herstellung,
AZ: 10 2008 018 743.7

H. Ebeling, H.-P. Fink, M. Doß: Vliesstoffe und ein Verfahren zu deren Herstellung,
US-2008-0287025 A1

H. Ebeling, H.-P. Fink, M. Doß: Vliesstoffe und ein Verfahren zu deren Herstellung,
EP 1 896 635

G. Engelmann, A. Ebert, H.-P. Fink: Reaktive und nichtreaktive thermoplastische Ligninderivate mit teilweise elastomeren Eigenschaften,
AZ: 09150619.6

G. Engelmann, E. Bonatz, I. Bechthold, G. Rafler: Hydrophobe Stärkecarbamate und Verfahren zu ihrer Herstellung,
DE 101 29 312

J. Ganster, M. Hassan-Nejad: Cellulosebasierte thermoplastische Formmasse und Formteile, Verfahren zu deren Herstellung und deren Verwendung,
AZ: 10 2009 005 640.8

M. Hahn, A. Lieske: Verfahren zur Herstellung von pulverförmigen hochmolekularen wasserlöslichen Polymeren für die Anwendung in fest/flüssig-Trennprozessen,
EP 1 891 119

M. Hahn, A. Lieske: Verfahren zur Herstellung von pulverförmigen hochmolekularen wasserlöslichen Polymeren für die Anwendung in fest/flüssig-Trennprozessen,
US-2008-0234429 A1

M. Hahn, B. Paulke, W. Jaeger: Verfahren zur Polymerisation wasserlöslicher Vinylmonomere in wässrigen höherkonzentrierten Dispersionen und Stabilisator zur Durchführung des Verfahrens,
EP 1332164 B1

M. Hahn, W. Jaeger, B. Paulke: Verfahren zur Polymerisation wasserlöslicher Vinylmonomere in wässrigen höherkonzentrierten Dispersionen und Stabilisator zur Durchführung des Verfahrens
EP 1 332 164 B1

M. Hassan-Nejad, J. Ganster: Hochfester bio-basierter Thermoplastwerkstoff und Verfahren zu dessen Herstellung,
AZ: 10 2008 028 544.7

M. Hassan-Nejad, J. Ganster: Stärkebasierter Thermoplastwerkstoff und Verfahren zu dessen Herstellung,
AZ: 10 2008 025 697.8-44

K. Hettrich, W. Vorweg, K. Woll, J. Dijksterhuis: Hydrophobierung von Stärke und Stärkederivaten durch Reaktion mit Alkenylsäureanhydriden in wässrigen Salzlösungen,
WO 2008/095654

A. Holländer, H. Holeczek, S. Amberg-Schwab: Verfahren zur spezifischen Markierung und Identifizierung von transparenten Materialien,
AZ: 10 2009 008 172.0

A. Holländer, F. Pippig: Verfahren zur Herstellung von nanoskaligen Netzwerken auf Oberflächen,
AZ: 10 2008 045 982.8

A. Holländer, M. Keusgen, J. Krämer, A. Ferner: Verfahren zur Bindung, Trennung und Identifizierung von Zellen,
JP 2007-551577

W. Jaeger, B.-R. Paulke, S. Schwarz, M. Mende: Verfahren zur Abtrennung suspendierter Feststoffe aus wässrigen Systemen mit kolloidalen Flockungsmitteln,
US 2008-0314840-A1

S. Janietz, H. Krüger, A. Wedel: Verfahren zur Herstellung hochreiner, ionenfreier halbleitender Polythiophene und deren Einsatz in elektronischen Bauelementen,
EP 1631 611 B1

S. Janietz, A. Wedel, H. Krüger, M. Thesen: Verfahren zur Herstellung modifizierter Polyvinylcarbazol-Matrixmaterialien für den Einsatz in organischen Leuchtdioden mit Phosphoreszenz-Emittern,
EP 07 70 3031

M. Jobmann, G. Rafler: Mikroverkapselter Schwefel und Verfahren zu seiner Herstellung,
EP 1 915 424

A. Lehmann, B. Volkert, H. Nerenz, A. Schrader: Stärkebasierende Verdickungsmittel für tensidhaltige Systeme,
WO 2008/119513

A. Lehmann, B. Volkert, H. Nerenz, A. Schrader: Stärkebasierende Verdickungsmittel für tensidhaltige Systeme,
DE 10 2007 015 282 A1

M. Meyer, J. Bohrisch, R. Geis, S. Gruner: Verkapselte Polynukleotide, deren Verwendung und Verfahren zur Freisetzung der Polynukleotide,
AZ: 102008041764.5-43

B.-R. Paulke, A. Laschewsky, A. Dworak,
K.Manczyk: *Permanente Antigrffiti-Schutz-*
schichten, die sich unter milden Bedingungen
wieder entfernen lassen,
AZ: 08 006 867.9

A. Seebboth, O. Mühling, R. Ruhmann, R. Vetter:
Verfahren zur Herstellung eines invers schalten-
den thermochromen Composites,
DE 10 2007 017 791

A. Seebboth, O. Mühling, R. Ruhmann, R. Vetter:
Verfahren zur Herstellung eines invers schalten-
den thermochromen Composites,
WO 2008/125350 A1

J. Storsberg, A. Laschewsky, St. Eichhorn,
S. Stapel: *Verfahren zur Herstellung von flächigen*
Papiererzeugnis,
WO 2008/025426 A1

J. Storsberg, A. Laschewsky, St. Eichhorn,
S. Stapel: *Verfahren zur Herstellung von flächigen*
Papiererzeugnis,
DE 10 2006 040 771 B3

J. Storsberg, St. Bruzzano, A. Laschewsky,
N. Sieverling, St. Eichhorn, S. Stapel: *Verfahren*
zur Herstellung von Papiererzeugnissen mit
erhöhter Nassfestigkeit,
US 2008-0302497 A1

A. Thünemann, S. General: *Pharmakologische*
Zubereitung, enthaltend nanopartikuläre
Polyelektrolyt-Lipid-Komplexe mit mesomorpher
Struktur,
EP 1 404 305 B1

B. Volkert, St. Fischer, F. Loth: *Stärkephosphate*
und Verfahren zu deren Herstellung,
EP 1 891 117

B. Volkert, St. Fischer, F. Loth: *Stärkephosphate*
und Verfahren zu deren Herstellung,
EP 1 891 118

P. Weigel, H.-P. Fink:
Nonwovens aus Cellulosecarbammat,
JP 2007-522360

P. Weigel, H.-P. Fink, M. Doss: *Verfahren zur*
Herstellung von Nonwovens aus Cellulosecarbammat
JP 2007-522359

Y. Zakrevskyy, Ch. F. J. Faul, J. Stumpe:
Film forming materials for the light induced
generation of optical anisotropy based on
Dye-Surfactant Complexes,
JP 2008-541 147 A

Y. Zakrevskyy, Ch. F. J. Faul, J. Stumpe:
Film forming materials for the light induced
generation of optical anisotropy based on
Dye-Surfactant Complexes,
US 2008/0220339 A1

Anreise

How to reach us

Anreise mit Bahn/Bus

ab Berlin Hauptbahnhof

- Regionalexpress RE1 (Richtung Magdeburg Hbf.) bis Potsdam Hbf.
- Busse 605, 606, 612 bis Wissenschaftspark Golm

ab Flughafen Berlin Tegel

- Bus X9 bis S+U Zoologischer Garten
- Regionalexpress RE1 (Richtung Magdeburg Hbf.) bis Potsdam Hbf.
- Busse 605, 606, 612 bis Wissenschaftspark Golm

ab Flughafen Berlin Schönefeld

- Regionalbahn RB22 bis Potsdam Hbf.
- Busse 605, 606, 612 bis Wissenschaftspark Golm

Anreise mit dem Auto

- Autobahn A10 (Berliner Ring), Ausfahrt Leest (nördlich des Autobahndreiecks Werder), Richtung Potsdam
- am Ende der Wublitzstraße rechts Richtung Golm
- am Kreisverkehr nach links
- Parkplätze des Fraunhofer IAP auf der rechten Seite

Arrival by train/bus

from Berlin main station

- Regional express RE1 (towards Magdeburg main station) to Potsdam main station
- Buses 605, 606, 612 to Wissenschaftspark Golm

from airport Berlin Tegel

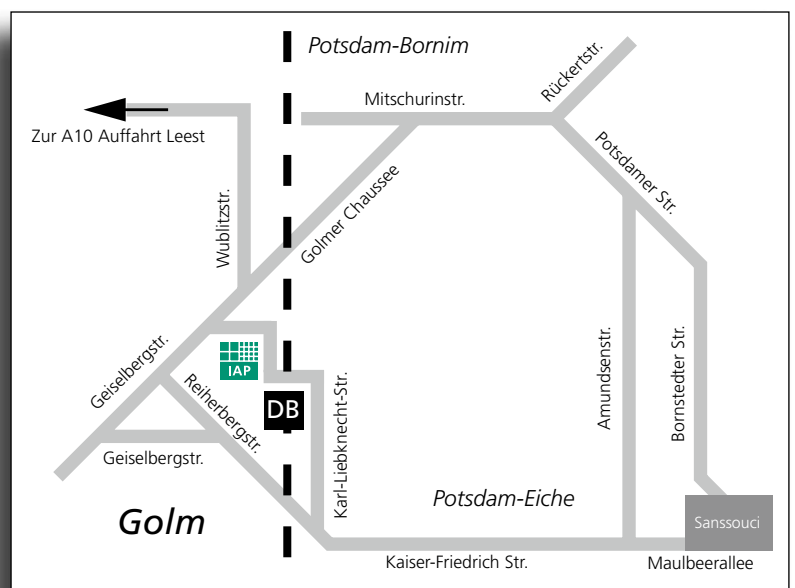
- Bus X9 to S+U Zoologischer Garten
- Regional express RE1 (towards Magdeburg main station) to Potsdam main station
- Buses 605, 606, 612 to Wissenschaftspark Golm

from airport Berlin Schönefeld

- Regional train RB22 to Potsdam main station
- Buses 605, 606, 612 to Wissenschaftspark Golm

Arrival by car

- Freeway A10 (Berlin orbital), exit Leest (north of the Werder interchange), towards Potsdam
- at the end of Wublitzstrasse turn right towards Golm
- at the roundabout turn left
- parking places of the Fraunhofer IAP on the right side



Übersichtskarte Golm
 Outlinemap Golm

