

# Das Institut





## 1. Das Institut

Organigramm

Wegweiser für Kunden

Laboraausstattung

Kuratorium

Institut in Zahlen

Wissenschaftlicher Nachwuchs

2. Kooperationen

3. Native Polymere

4. Funktionale Polymersysteme

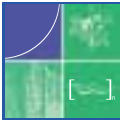
5. Synthese- und Polymertechnik

6. Wasserbasierende Polymersysteme

7. Namen, Daten, Ereignisse



# Wegweiser für Kunden - Organigramm der Forschungsbereiche



Forschungsbereich  
*Native Polymere*



Dr. Fritz Loth  
*Cellulose*



Dr. Peter Weigel  
*Processing*



Dr. habil. Hans-Peter Fink



Dr. Waltraud Vorwerg  
*Stärke/Molekulare Eigenschaften*



Dr. habil. Hans-Peter Fink  
*Strukturcharakterisierung*



Forschungsbereich  
*Funktionale Polymersysteme*



Dr. habil. Rudi Danz  
*Physikalisch aktive Polymersysteme*



Dr. Andreas Holländer  
*Oberflächen*



Dr. Ulrich Buller



Dr. Armin Wedel, Dr. Silvia Janietz  
*Polymere und Elektronik*



PD Dr. habil. Joachim Stumpe  
*Polymerphotochemie*



Forschungsbereich  
*Synthese- und Polymertechnik*



Dr. habil. Gerald Rafler

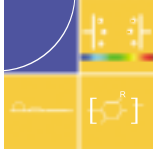


Forschungsbereich  
*Wasserbasierende Polymersysteme*



Dr. habil. Werner Jaeger

Stand 1.1.2001



# Forschungsbereich Funktionale Polymersysteme

## Polymere Bauelemente

### *Materialsynthese und Verarbeitung Funktionaler Polymersysteme*

- halbleitende Polymere
- elektrolumineszierende Polymere
- photolumineszierende Polymere
- photochrome Polymere
- piezoelektrische Polymere
- flüssigkristalline Polymere

### *Polymerphotochemie*

- Laserphotochemie
- Grenzflächenphotochemie
- Supramolekulare Photochemie
- Lichtinduzierte Orientierung
- Photoalignment

### *Optische Bauelemente*

- Leuchtdioden
- Displays
- Laserstäbe für die Messtechnik
- spektrale Lichtwandler
- Lichtsender und -empfänger
- holographische Bauelemente
- anisotrope Bauelemente
- optische Datenspeicher
- Funktionsstrahler für die Medizin

### *Elektronische Bauteile*

- Feldeffekt- und bipolare Transistoren
- Schaltkreise
- Dioden
- Flüssigkristalldisplays

### *Sensoren und Druckwandler*

- Piezoelektrische Sensoren für die Umform- und Drucktechnik sowie Strömungsmessungen
- Polymere Elektrete für Wandler und Aktuatoren
- 3D-Phasengitter für Abstandssensoren

## Oberflächentechnik

### Kopplung von biologisch aktiven Substanzen auf polymere Oberflächen

- Diagnosekits z. B. für Salmonellentest
- Biozide Oberflächen für Folien oder Textilien

### *Hydrophile oder hydrophobe Oberflächen*

- wasserabweisende Textilien
- Präparation von Textilien für die Färbung
- medizinische Objektträger für Blutserum

### *Klebstofffreie Verbindungen*

- Verbinden von Kunststoffteilen in der Mikrofluidik

### *Ultrabarrieren*

- für aufrollbare Displays
- für die Lebensmittelverpackung

### *Funktionale Beschichtungen*

- Photobiozide Beschichtungen zur Desinfektion
- Fluoreszenzschichten für die Sensortechnik
- UV- stabile Holzbeschichtungen
- Orientierungsschichten für Flüssigkristalle

## Kontakt

Forschungsbereichsleiter  
Dr. Ulrich Buller  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-11 12  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-31 10  
E-Mail: buller@iap.fhg.de

### *Abteilung:*

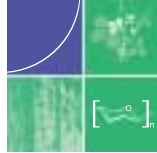
Physikalisch aktive Polymere  
Dr. habil. Rudi Danz  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-19 15  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-39 15  
E-Mail: danz@iap.fhg.de

### *Arbeitsgruppen:*

Oberflächentechnik  
Dr. Andreas Holländer  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-14 04  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: hollander@iap.fhg.de

Polymere und Elektronik  
Dr. Armin Wedel, Dr. Silvia Janietz  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-19 10  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-39 10  
E-Mail: wedel@iap.fhg.de

Polymerphotochemie  
PD Dr. habil. Joachim Stumpe  
Telefon: +49 (0) 30 / 51 537 251  
Fax: +49 (0) 30 / 51 537 253  
E-Mail: stumpe@iap.fhg.de



## Forschungsbereich Native Polymere



### Celluloseprodukte

- Bioabbaubare Hochabsorber für Hygieneartikel und Kosmetik
- Blutverträgliche oder gerinnungsfördernde Additive und Beschichtungen für die Medizin
- Biokompatible Symplex-Kapseln für Biotechnologie und Pharmazie
- Symplex-Membranen für destillationsfreie Lösungsmitteltrennung in der chemischen Industrie und der Lebensmittelindustrie
- Fibride und Filterhilfsmittel
- Flockungsmittel für Papierindustrie, Wasser- und Abwasserreinigung, Schlammwässerung und -verdickung
- Viskositätsregulatoren und Dispersionsstabilisatoren für Kosmetik-, Lebensmittel-, Farb-, Baustoffindustrie sowie die chemische Industrie
- Klebmittel für Holzfaserverplatten
- Selektive Trägersysteme und Trennmaterialien, beispielsweise zur Blutentgiftung für Pharmazie und Medizin

### Verfahrensentwicklung

- Neue Syntheseverfahren wie lösliche Cellulosecarbamate zur Verformung
- Optimierung von Synthesen
- Up-scaling bis zum 50 l-Maßstab für Heterophasen-Reaktionen
- Erforschung neuer Synthesewege (Vorlauf- oder Ausschluss-Forschung)



Pilotanlage zur Herstellung von Celluloseblasfolie.

### Stärkeprodukte

- Flockungsmittel zur Abwasserreinigung und zur Schlammwässerung
- Papierhilfsmittel in der Masse- und Oberflächenleimung sowie als Beschichtungsmittel bzw. zur Laminierung von Papier
- Komponente für Materialien und Komposite
- Schlichtungsmittel für Textilien und zur Verbesserung der Textilbedruckbarkeit
- umweltfreundlicher Klebstoff für Wellpappe, Papiertüten, -schachteln, -säcke
- Bindemittel für Gips-Karton und Mineralfaserplatten
- Baustoffzusatz für Beton, Putze und Platten
- Stärkederivate in Kosmetik, Wasch- und Reinigungsmitteln
- Granulier-Agglomerier-Brikettier-Hilfsmittel
- Komponente in Dispersionsklebstoffen
- funktioneller Lebensmittelzusatzstoff: Dickungsmittel, Bindemittel, Gelbildner
- Pharmaindustrie: Tablettierhilfsmittel, Mikroverkapselung
- Stärkederivate zur Herstellung von Folien

### Verfahrensentwicklung

- Enzymatische Modifizierung: Entwicklung von Produkten mit funktionellen Eigenschaften
- Chemische Derivatisierung: Zusammenhänge zwischen Stärkerohstoff, Verfahrensbedingungen und Endprodukteigenschaften
- Molekulare und rheologische Eigenschaften von Stärkeprodukten

## Verfahrenstechnik und Know-how zur Materialherstellung

### *Spinn- und Verformungsprozesse nach dem Viskoseverfahren*

- Filamentgarne und Stapelfasern
- Hohlfasermembranen für die Blutentgiftung
- Folien und Schläuche
- Eignungstest von Zellstoffen

### *Spinn- und Verformungsprozesse nach dem Carbamatverfahren*

- Filamentgarne und Stapelfasern

### *Spinnen und Verformung aus NMMO-Lösungen (Lyocellverfahren)*

- Blasfolien und Schläuche
- Faserstoffe durch Spinnen

### *Verformung durch Fällen im Scherungsfeld*

- Trenn- und Trägermaterialien
- Adsorbentien
- Fibride

### *Thermoplastische Verformung und Verbundmaterialien*

- Compoundierung von Kompositmaterialien
- Natur- und Regeneratfaser verstärkte Thermoplaste
- Biokomposite

### *Cellulosische Verstärkungsfasern*

- Naturfasern
- Mercerisierung von Naturfasern
- Celluloseregeneratfasern

## Materialcharakterisierung und -prüfung

- Charakterisierung und Beurteilung von Polymeren aus nachwachsenden Rohstoffen
- Einsatzorientierte Prüfung
- Charakterisierung von Polymerlösungen
- Materialprüfung von Fasern, Folien und Formkörpern im akkreditierten Prüflabor
- Chemisch-physikalische Charakterisierung von Polymeren
- Charakterisierung der Morphologie und der übermolekularen Struktur von Polymeren
- Feststellung und Bewertung des Zusammenhangs zwischen Herstellungsbedingungen, mechanischen Eigenschaften und der Struktur
- Bestimmung des Stofftransportes und der Trenneigenschaften von Membranen und Trägermaterialien

## Kontakt

Forschungsbereichsleiter  
Dr. habil. Hans-Peter Fink  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-18 15  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-38 15  
E-Mail: fink@iap.fhg.de

### *Abteilungen:*

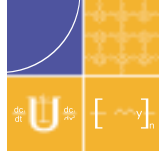
**Cellulose**  
Dr. Fritz Loth  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-19 15  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-35 20  
E-Mail: loth@iap.fhg.de

**Stärke/Molekulare Eigenschaften**  
Dr. Waltraud Vorweg  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-16 09  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-31 63  
E-Mail: vorweg@iap.fhg.de

**Processing**  
Dr. Peter Weigel  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-17 07  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-31 16  
E-Mail: weigel@iap.fhg.de

**Strukturcharakterisierung**  
Dr. habil. Hans-Peter Fink  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-18 15  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-38 15  
E-Mail: fink@iap.fhg.de





# Forschungsbereich Synthese- und Polymertechnik

## Kontakt

Forschungsbereichsleiter  
Dr. habil. Gerald Rafler  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-12 22  
Fax: +49 (0) 331/56 8-32 13  
E-Mail: rafler@iap.fhg.de

## Polymere Werkstoffe und Verarbeitungstechniken

### *Polymersynthesen*

- Polykondensation (linearkettig und Netzwerkpolymere)
- Copolykondensation (statistisch, nichtstatistisch)
- Polymerisation (C- und Heterokettenpolymere)

### *Compoundierung*

- Füll- und Verstärkungsmaterialien
- Interpenetrating Polymer Networks (IPN)

### *Verformung*

- Extrusion
- Spritzguss
- Pressen
- Folienherstellung
- Faserherstellung

## Mikroverkapseln von Wirkstoffen und Additiven

### *Schutz des Wirkstoffs vor der Umgebung*

- Medikamente und Futterstoffe im sauren Magen

### *Schutz der Umgebung vor dem Wirkstoff*

- Flammschutzmittel

### *Einbetten von Wirkstoffen in ein unverträgliches Material*

- in galvanische Schichten
- in Thermoplaste
- in Gummi

### *Kontrollierte Wirkstoffabgabe über einen definierten Zeitraum (controlled release)*

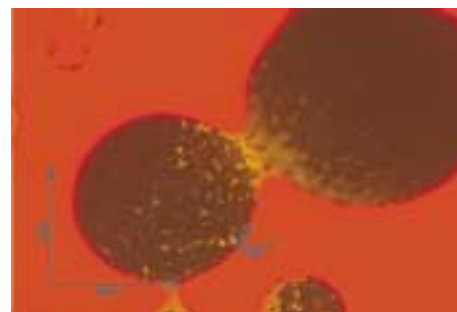
- Zwei-Komponenten-Kleber
- Verklebung von Schrauben unter Druck
- dosierte Medizinabgabe im Körper (Depotmedikamente)
- dosierte Freisetzung von Pflanzenschutzmitteln



Titrationenproben.



Vertikalknetzer.



Farbstoffhaltige Polyurethankapseln.

# Forschungsbereich Wasserbasierende Polymersysteme

## Wasserlösliche Polymere

### Ausgewählte Anwendungen

- Prozesshilfsmittel für Trennprozesse
- Temporäre und leitfähige Schichten
- Zusatzstoffe in Kosmetika und Pharmazeutika
- Solubilisatoren und Dispersionsstabilisatoren
- Viskositätsregulierung
- Immobilisierung von Schwermetallen

### Neue Synthesen

- Dispersionspolymerisation im wässrigen Medium
- Pfropfcopolymerisation in inverser Emulsion
- Polymerisation nach kontrollierten Mechanismen
- Modifizierung reaktiver Precursorpolymere

### Definierte Molekülarchitekturen

- Polyelektrolyte mit gezielt eingestellter Ladungsdichte, Ladungsstärke, variablen Verhältnis hydrophiler und hydrophober Anteile
- Amphiphile Blockcopolymere
- Polymere Tenside
- Polyelektrolyte mit alternierenden Ladungen (Pfropf-, Kammstruktur)
- Polymere Betaine
- Reversible und irreversible Gele



Laserbeugung an geordneten Kolloiden.

## 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 Farberkennung, Abstandsmessung)

### Synthesen

- Emulsions- und Dispersionspolymerisation in wässrigen und inversen Systemen

### Komplexe chemische Analyse



Mikrozellen zur Präparation kolloidaler Kristalle.

## Kontakt

Forschungsbereichsleiter  
Dr. habil. Werner Jaeger  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-13 18  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: jaeger@iap.fhg.de



Präparation von schaltbaren Gelen.





# Laborausstattung

## Analytik

### Chemische Analyse

- On-line IR-Spektroskopie
- Elementaranalyse (C,H,N,S,O)
- Induktiv gekoppeltes Plasma optischer Emissionsspektrometer
- Nasschemische Methoden
- Gaschromatographie
- Ionenchromatographie
- High Performance Liquid Chromatographie (HPLC)
- Geräte zur Umweltanalytik
- Massenspektroskopie

### Physikalisch-chemische Analyse und Polymercharakterisierung

- Thermische Analyse
- Reaktionskalorimeter
- Messplätze für polymeranalytische Kennwerte (Molmasse, -verteilung: Ultrazentrifuge, HPSEC-MALLS HPLC, Streulichtphotometer, Osmometer, Viskosimeter)
- Gel-Permeationschromatographie
- Partikelgrößenanalytik
- Rheologische Prüfgeräte
- Feld-Fluss-Fraktionierung-MALLS
- Schmelzindexbestimmung
- Elektrochemische Charakterisierung
- Lösungsviskositätsbestimmung
- Schmelzviskositätsbestimmung
- Differentialrefraktometer
- Statische und dynamische Lichtstreuung

## Polymersynthese und -derivatisierung

- Labor- und kleintechnische Apparaturen zur Polymersynthese durch Schmelzpolykondensation, Masse-, Emulsions- und Lösungspolymerisation sowie für polymeranaloge Umsetzungen
- Explosionsgeschützter 50 l-Reaktor zur heterogenen Modifizierung von Cellulose und Stärke
- Apparatur zur UV-Vernetzung und UV-Stabilität
- Laborautoklaven
- Verarbeitung von Polymeren und Polymerlösungen
- Einrichtungen zur kleintechnischen Herstellung und Verformung thermoplastischer Kunststoffe
- Einrichtungen zur Herstellung und Verspinnung von Polymeren aus Lösung, insbesondere Viskose
- Technika zur Herstellung dünner Polymerschichten
- Messextruder mit diversen Verformungswerkzeugen
- Technikumssprühtrockner
- Gefriertrocknungsanlagen
- Wirbelschichttrockner
- Jet-Kocher
- Mikrowellenreaktor
- Ultrafiltrationsanlagen

## Strukturanalyse von Lösungen und Festkörpern

- Messplatz zur Bestimmung von Porengrößenverteilungen und Oberflächen poröser Festkörper (Quecksilber, Stickstoff, Wasserdampf)
- Automatisches Wasserdampfsorptionsmessgerät
- Mikroskopierplatz mit Videoaufzeichnung
- Röntgenbeugungsmethoden (Klein- und Weitwinkelstreuung)
- Elektronenmikroskopie (TEM, REM, EDX)
- NMR-Spektroskopie (400 und 500 MHz)
- Fluoreszenz-Spektrometer (Spex Fluorolog)
- FTIR- und UV-VIS-Spektroskopie
- Oberflächenanalyse (ESCA)
- Automatisches Kontaktwinkelmesssystem (Krüss G1/G40)



Proben für Gel-Permeationschromatographie.



Explosionsgeschützter Reaktor für Celluloseverarbeitung.



Röntgen-Zweikreisdiffraktometer zur Bestimmung übermolekularer Strukturparameter.

### Geräte zur physikalischen Charakterisierung

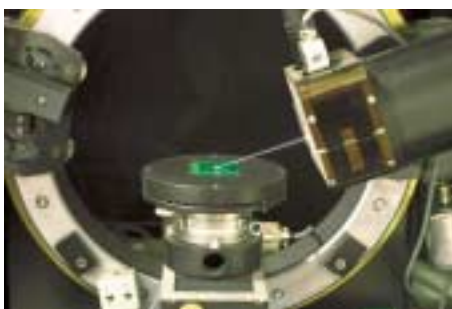
- Messplatz zur Piezoelektrizität
- Messplätze für nichtlineare optische Eigenschaften
- Elektrolumineszenz-Messplatz
- Spektroskopisches Ellipsometer
- Null-Ellipsometer
- Lasertechnik
- Potentialmesstechnik
- Laser-Bestrahlungsstände
- UV-Vis, Fluoreszenz und FTIR Spektrometer
- UV-Vis und FTIR Mikroskop-Spektrometer
- Polarisationspektrometrie
- Kippkompensator
- Wellenleiter-Plasmonen Spektrometer
- Messplatz für laserinduzierte Phasenverschiebung
- Holographie-Messplatz

### Mechanische Prüfung (Akkreditiertes Prüflabor)

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

### Oberflächentechnik

- Anlagen zur Oberflächenmodifizierung von Polymeren mit Niederdruck-, Atmosphärendruckplasma und VUV-Strahlung
- Elektrische Polarisierungs- und Bedampfungstechniken
- Sprüh- und Spin-coater



Ellipsometer zur Bestimmung von Schichtdicken und komplexem Brechungsindex.



Zugfestigkeitstest von Celluloseblasfolien.



Niederdruckplasma zur Oberflächenbehandlung.



## Kuratorium

---

### Mitglieder des Kuratorium

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

*Herr Dr. R. Müller-Mall*  
BASF AG  
Ludwigshafen  
Vorsitzender des Kuratoriums

*Herr Prof. Dr. W. Arlt*  
Loxstedt

*Herr Prof. Dr. G. Hinrichsen*  
SciTrans - Science and Technology  
Transfer GmbH  
Berlin

*Herr Dr.-Ing. P. J. Koepff*  
GELINOVA GmbH  
Heidelberg

*Herr Prof. Dr. G. Koßmehl*  
Berlin

*Herr Prof. Dr. J. Kurths*  
Universität Potsdam

*Herr Prof. Dr. M. G. Lindhauer*  
Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel-,  
und Fettforschung, Institut für  
Getreide, Kartoffel- und  
Stärketechnologie, Detmold

*Herr Prof. Dr. R. Mitzner*  
Universität Potsdam

*Herr Prof. Dr. H. Möhwald*  
Max-Planck-Institut für Kolloid- und  
Grenzflächenforschung, Golm

*Herr Dr. K. Nachtkamp*  
Wolff Walsrode AG

*Herr F. Nowak*  
Ministerium für Wissenschaft,  
Forschung und Kultur des Landes  
Brandenburg  
Potsdam

*Herr Dr.-Ing. agr. A. Schütte*  
Fachagentur Nachwachsende  
Rohstoffe  
Gülzow

*Herr Prof. Dr. K.-P. Schulze*  
ZAB - Zukunftsagentur Brandenburg  
Potsdam

*Herr Dr. H. Strametz*  
Frankfurt

*Herr A. Strijdonck*  
DOW Europe Holding S. A.  
Horgen, Schweiz

*Herr Dr. G. H. Vitzthum*  
Acordis Research GmbH  
Obernburg

*Herr Dr.-Ing. H.-G. Zengel*  
Kleinwallstadt

# Das Institut in Zahlen

## Betriebshaushalt

Der Betriebshaushalt betrug im Jahr 2000 etwa 7,3 Mio Euro. Gegenüber dem Vorjahr stieg er um 1,5 Mio Euro. Davon wurden knapp eine Million Euro für den Umzug aufgewendet.

## Ertragsstruktur

Die Wirtschaftserträge im Jahr 2000 betragen 2,55 Mio Euro. Das entspricht 35 % des Betriebshaushaltes. Die Erträge setzen sich wie folgt zusammen (in Mio Euro):

Wirtschaftserträge	2,55
Forschungsförderung DFG	0,12
Vertragsforschung BMELF/FNR	0,88
Vertragsforschung BMBF	0,24
Vertragsforschung BMWi	0,21
Vertragsforschung EU und andere öffentliche Auftraggeber	0,31
sonstige Erträge	0,04
Grundfinanzierung	2,9

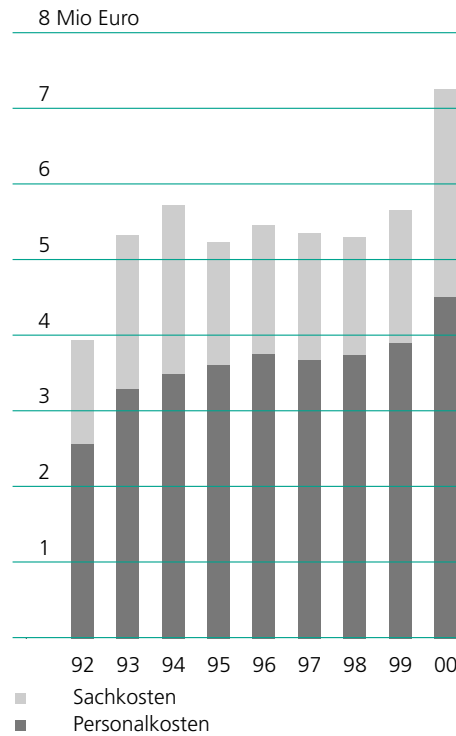
## Investitionshaushalt

Erträge Investition aus FuE	0,10
Institutionelle Förderung	0,35

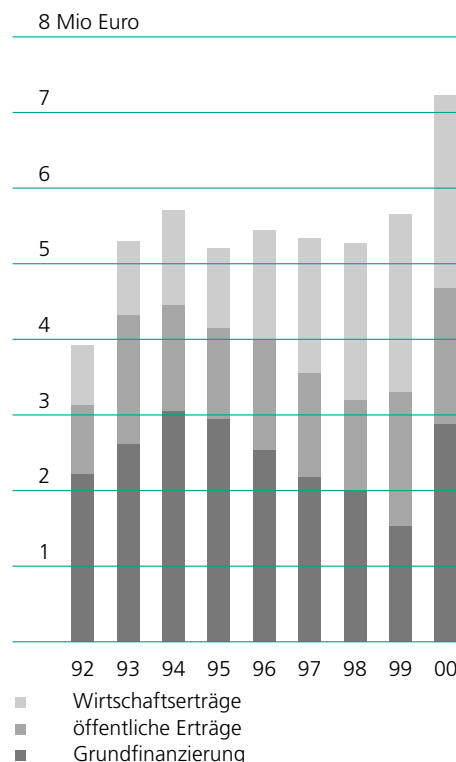
## Mitarbeiterentwicklung

Ende 2000 waren am Fraunhofer IAP insgesamt 125 Personen beschäftigt.

Stammpersonal	91
davon	
wissenschaftliche Mitarbeiter	45
technische Mitarbeiter	37
Verwaltung	9
Nachwuchs	34
davon	
Doktoranden	11
Auszubildende	9
Hilfskräfte	14



Betriebshaushalt 2000



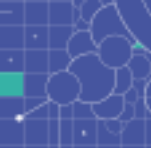
Ertragsstruktur 2000

## Kontakt



### Verwaltungsleiter

Dipl.-Ing. Jürgen Koehler  
 Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-11 14  
 Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
 E-Mail: koehler@iap.fhg.de



## Wissenschaftlicher Nachwuchs

### Kontakt



**Dipl.-Chem. Stefano Bruzzano**  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-13 17  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-26 17  
E-Mail: [bruzzano@iap.fhg.de](mailto:bruzzano@iap.fhg.de)

### Nachwuchsförderung am Fraunhofer IAP

Das Fraunhofer IAP fördert die naturwissenschaftliche Ausbildung von Nachwuchskräften durch die Vergabe von studentischen Praktika sowie Diplom- und Doktorarbeiten. So soll vor allem der Übergang von der universitären Ausbildung zur Industrietätigkeit erleichtert werden. Durch die zielorientierte Kopplung von industrienaher Auftragsforschung mit Grundlagenwissen schafft das Fraunhofer IAP hierzu ideale Rahmenbedingungen. Zur Zeit bestehen intensive Kooperationen zu der Universität Potsdam sowie zu den Berliner Universitäten und technischen Fachhochschulen. Promotionen und Studienarbeiten wurden darüber hinaus mit Hochschulen wie der Universität Halle/Wittenberg, Universität Rostock, FH Lübeck, FH Nürnberg und FH Merseburg durchgeführt.

### Doktorandenseminar

Um den jungen Wissenschaftlern ein besonderes Forum zum gegenseitigen Gedankenaustausch und zur Weiterbildung zu bieten, wurde ein arbeitsgruppenübergreifendes Doktorandenseminar ins Leben gerufen. Wir sind ein Team von Diplomanden, Doktoranden und Post-Doktoranden aus verschiedenen Gebieten der Chemie, Physik sowie der angewandten Ingenieurwissenschaften. Unser Kolleg soll nicht nur das fachliche Wissen der Jungwissenschaftler ausbauen, sondern auch andere berufsvorbereitende Fähigkeiten wie Sozialkompetenz, Kommunikation und Teamgeist schulen. Zu diesem Zweck veranstalten wir, neben Fachvorträgen in Seminaren, Kurse beispielsweise zu Fremdsprachen und Rhetorik. Regelmäßige Exkursionen zu Unternehmen der chemischen Industrie ermöglichen unseren Mitgliedern, fachliche und betriebswirtschaftliche Fragen in einem praxisnahen Rahmen zu erörtern. Das Kolleg trifft sich einmal im Monat - selbstverständlich steht allen Interessierten eine Teilnahme an den Vorträgen offen!

## Beispiele laufender Promotionsthemen

### Faserverstärkte Blasfolien aus Cellulose

*Tevfik Cibik*

Unter den zur herkömmlichen Viskosetechnologie alternativen Verfahren zur Celluloseauflösung und -verarbeitung gewinnt die Aminoxid-technologie wegen ihrer Effizienz und Umweltverträglichkeit immer mehr an Bedeutung. In dieser Arbeit wird Cellulose unter Ausnutzung des Aminoxidverfahrens gelöst, und mit Hilfe des Blasfolienprinzips werden durch Extrusion Schlauchfolien hergestellt. Die mechanischen Eigenschaften dieser Formkörper sind für die Anwendung existentiell wichtig. Eine Verbesserung der Materialeigenschaften der Folien wird durch die Herstellung eines Verbundes aus der polymeren Matrixlösung und einem cellulosischen Fasermaterial angestrebt. Die Herausforderung hierbei ist, die Versuchsparameter so zu wählen, dass einerseits die zusätzlich eingebrachten Fasern sich in der Matrix nicht auflösen und zum anderen die Fasern eine gute Haftung mit der Matrix eingehen. Es werden Versuchsbedingungen zur Herstellung und Verarbeitung von Cellulose-Aminoxid-Lösung mit cellulosischen Fasern ermittelt, verschiedene Natur- und Regeneratfasern eingesetzt, der Fasergehalt in der Matrix variiert, eine Labortechnologie zur Einbringung der Fasern in die Matrixlösung entwickelt, die Wechselwirkung zwischen Fasern und Matrix elektronenmikroskopisch untersucht und die mechanischen Eigenschaften wie Festigkeit und Steifigkeit der präparierten Faserverbundfolien bestimmt.

### Cellulose- und Amylosederivate mit sequentieller Substituentenverteilung

*Alexander Richter*

Der Arbeit liegt die Idee zugrunde, bei der Umsetzung an einem Makromolekül unter homogenen Reaktionsbedingungen durch geeignete Reaktionsführung nicht die üblicherweise beobachtete statistische oder regioselektive Substitutionsgrad (DS)-Verteilung in den einzelnen C2-, C3- und C6-Positionen der Anhydroglucoseeinheit, sondern eine sequentielle Verteilung der eingeführten Substituenten entlang der Polymerkette zu erreichen. Die Steuerbarkeit der Substituentenverteilung längs der Polymerkette soll vergleichend am Beispiel der Veresterung von Amylose und Cellulose zum Schwefelsäurehalbester geprüft werden.

### Neue thermoschaltbare polymere Materialien auf Basis von amphiphilen Blockcopolymeren

*Christoph Kozlowski*

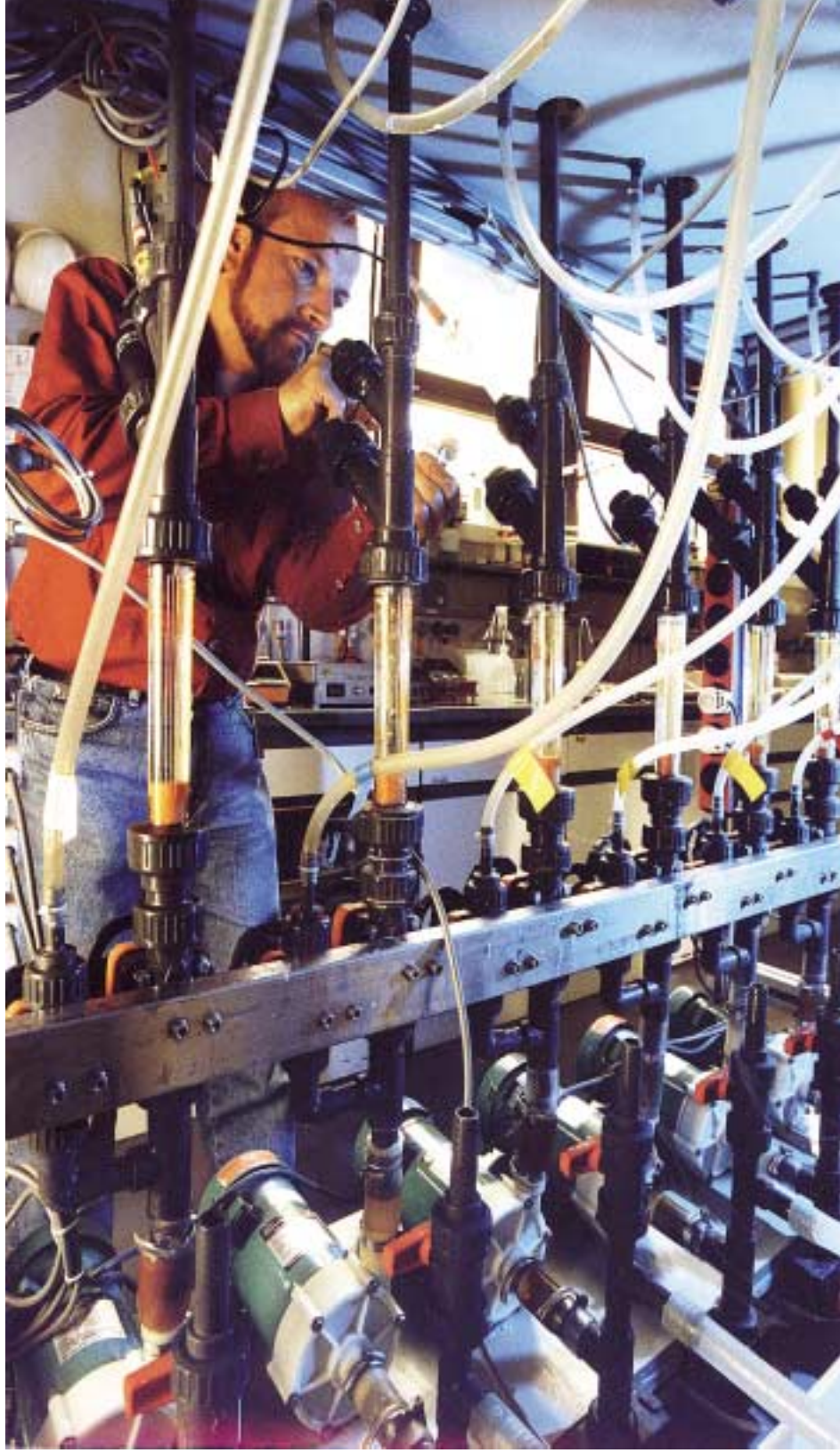
Ziel dieser Arbeit ist es, neuartige thermoschaltbare Polymere auf Basis von amphiphilen Blockcopolymeren zu synthetisieren. Durch die strukturelle Variation der Blöcke lässt sich der thermoinduzierte Phasenwechsel, gekennzeichnet durch die LCST (low-critical-solution-temperature), steuern. Die Synthese der Blockcopolymeren soll durch makroinitiierte Polymerisation geeigneter Vinylmonomeren erfolgen. Dabei werden durch die vorgesehenen Polyalkylenoxid-Azo-Makroinitiatoren vorgebildete schaltbare Blöcke in die Zielarchitektur eingetragen.



Wissenschaftlicher Nachwuchs am Fraunhofer IAP.



# Kooperationen



1. Das Institut

## 2. Kooperationen

Allianz »Mikrostrukturierte Kompositpartikel«

Themenverbund »Polymere Oberflächen - Polo«

Allianz »Innovative Fassadenbeschichtung - INNOFASS«

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

Fraunhofer-Forschung 2000

Wissenschaftspark Golm

3. Native Polymere

4. Funktionale Polymersysteme

5. Synthese- und Polymertechnik

6. Wasserbasierende Polymersysteme

7. Namen, Daten, Ereignisse

## Allianz »Mikrostrukturierte Kompositpartikel«

### Geschickt verpackt - Mikropartikel

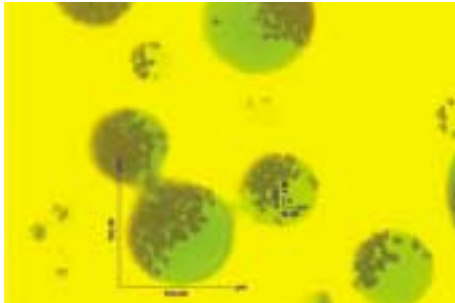
Farbstoffe, Flammschutz, Schmierstoffe, Medikamente, Aromen oder Dünger: Es gibt fast nichts, was man nicht in winzige Kügelchen verpacken könnte. Mikropartikeln prophezeien Experten eine große Zukunft mit Marktanteilen von rund fünf Milliarden US-Dollar und einem Wachstum von fünf bis sieben Prozent jährlich. Drei Fraunhofer-Institute haben sich in einer Allianz zusammengeschlossen, um die Bedürfnisse dieses Marktes unter die Lupe zu nehmen und Produktionslösungen bis zur Pilotanlage zu liefern.

Die Arbeiten am Fraunhofer IAP konzentrieren sich innerhalb der Allianz auf das Maßschneiden von Kunststoffen und auf die Verarbeitungstechniken für Mikrokapseln. Durch das Know-how auf dem Gebiet der Spezialpolymere entwickeln wir neue Beschichtungsmaterialien für reaktive und nichtreaktive Partikelbildung. Damit wird der Grundstein für die anschließenden Arbeiten in den Partner-Instituten gelegt. Im Fraunhofer ICT werden die Kompositpartikel charakterisiert und als Coatingmaterial verwendet. Das Fraunhofer-Institut UMSICHT beschäftigt sich mit der Verfahrenstechnik im Pilotmaßstab sowie mit der Modellierung der Partikelherstellung. Damit soll die Herstellung von Musterchargen auf industrielle Bedingungen übertragen werden.

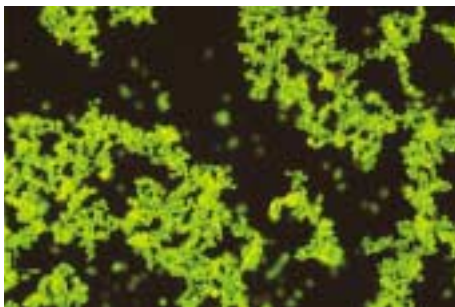
*Bioabbaubare Partikel für Medizin,  
Pharmazie und Lebensmittel*

Mikrokapseln werden in der Medizin und Pharmazie schon lange eingesetzt. Sie dienen dazu, entweder die Wirksubstanz vor der Umgebung zu

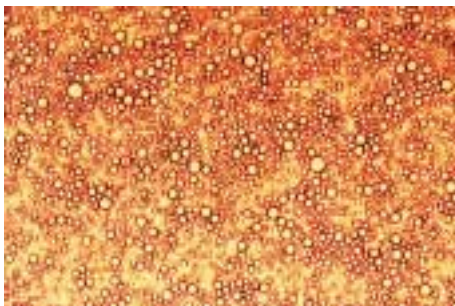
schützen oder umgekehrt. So wird beispielsweise der Wirkstoff der Aspirin-Tablette eingekapselt, um den Magen zu schützen. Bestimmte Wirkstoffe - zum Beispiel Medikamente gegen Krebs - werden verpackt und gezielt am Wirkort freigesetzt. Neu ist die Möglichkeit, zusätzlich ein winziges magnetisches Teilchen in die Kapsel zu verpacken, um das Präparat durch Anlegen eines Magnetfeldes an sein Ziel im Körper zu führen. Neben dem Schutz von Wirkstoff und Umgebung spielt die dosierte Wirkstoffabgabe (Controlled release) eine wichtige Rolle. Depotpräparate können Wirkstoffe über einen längeren Zeitraum in genau kontrollierten Mengen abgeben.



Farbstoffhaltige Polyurethankapseln im Lichtmikroskop.



Aminoharzkapselformen mit Fluoreszenzfarbstoff als REM-Aufnahme.



Ölgefüllte Kapseln im Lichtmikroskop.

## Werkstoffentwicklung für »smart materials«

Erst in jüngster Zeit wurden eine Fülle von neuen Anwendungen als funktionale Werkstoffe oder »smart materials« gefunden. Vor allem in diesem Bereich ist mit großen Produktionsmengen zu rechnen. Intelligente Dichtungsmaterialien enthalten Kügelchen, deren Hülle sich bei Feuchtigkeit auflöst - der wasserundurchlässige Inhalt quillt dann auf ein Vielfaches seines ursprünglichen Volumens. Schrauben werden beim Festziehen zugleich verklebt, wenn die Gewinde mit klebstoffhaltigen Mikrokapseln beschichtet sind. Durch Mikroverkapselung wird es möglich, scheinbar widersprüchliche Eigenschaften in einem Werkstoff zu vereinen. Beispielsweise halten wasserlösliche Dünger, Insektizide oder Herbizide in Mikrokapseln auch heftigen Regengüssen stand und wirken trotzdem über die ganze Saison. Mögliche Anwendungsfelder sind:

- Kunststoffindustrie (Einbau von Wirkstoffen, Kompositfüllstoffen und -fasern, Klebstoffen)
- Galvanotechnik (Einbau von Zusatzstoffen, z. B. Schmiermitteln, Korrosionsschutz, Farbstoffen)
- Bauindustrie (Wärmespeicher, Schädlingsbekämpfung)
- Farb- und Lackindustrie (Flakes, Pigmente, Antifoulingstoffe)
- Textilindustrie
- Druck- und Papierindustrie (Leuchtstoffe, Pigmente, Duftstoffe)
- Flammschutz
- Waschmittelzusatzstoffe

Will man in dieser Vielzahl von Anwendungen ein spezielles Verkapselungsproblem lösen, müssen vom

Fachmann eine Reihe von Entscheidungen getroffen werden: Welches Material wird verwendet? Dies entscheidet sich je nach den gewünschten Stabilitätsanforderungen, anfallenden Kosten und den Technologien. Hier liegen bereits umfangreiche Erfahrungen mit Melamin und Aminoharzen vor. Die Allianz sucht nach weiteren Alternativen wie Polyacrylnitril. Wie soll der Mikropartikel »aussehen«? Kern-Schale-Struktur oder eher eine Art Schwamm mit Außenhaut? Soll der Wirkstoff absolut dicht verpackt werden oder langsam austreten können? Handelt es sich um einen wasserlöslichen oder unlöslichen Stoff? An Hand dieser Fragen entscheidet sich die technologische Umsetzung. Die Allianz bietet ihren Kunden eine maßgeschneiderte Entwicklung für Mikropartikelfragen bei Produktionsmengen bis zum Kilogramm-Bereich. Die industrielle Herstellung wird von umfangreicher Modellbildung und -rechnung unterstützt.

## Kontakt



**Kunststoffe und Verarbeitungstechniken für Mikropartikel**  
 Dr. habil. Gerald Rafler  
 Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP  
 Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-12 22  
 Fax: +49 (0) 331 / 56 8-32 13  
 E-Mail: rafler@iap.fhg.de

## Allianz-Institute

Projektkoordination  
 Prof. Dr. Rolf Kümmel  
 Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT  
 Osterfeldstr. 3  
 46047 Oberhausen  
 Telefon: +49 (0) 208 / 85 98-147  
 Fax: +49 (0) 208 / 85 98-290  
 E-Mail: info@umsicht.fhg.de

Charakterisierung und Partikelherstellung durch Hochdrucktechnik  
 Dipl.-Ing. Hartmut Kröber  
 Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT  
 Joseph-von-Fraunhofer-Str. 7  
 76318 Pfinztal (Berghausen)  
 Telefon: +49 (0) 721 / 46 40 350  
 Fax: +49 (0) 721 / 46 40 581  
 E-Mail: hkr@ict.fhg.de

Verfahrenstechnik und Musterproduktion  
 Dipl.-Ing. Jürgen Bertling  
 Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT  
 Osterfeldstr. 3  
 46047 Oberhausen  
 Telefon: +49 (0) 208 / 85 98 168  
 Fax: +49 (0) 208 / 85 98 290  
 E-Mail: bj@umsicht.fhg.de



## Themenverbund »Polymere Oberflächen - Polo«



Hemmhoftest zur Prüfung der antimikrobiellen Wirksamkeit.



Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS) zur chemischen Oberflächenanalyse.



Wassertropfen auf hydrophobierter Polymeroberfläche.

### Virtuelles Fraunhofer-Institut

Am 12.7.2000 wurde der Themenverbund »Polymere Oberflächen (Polo)« auf der Gründungsmitgliederversammlung aus der Taufe gehoben. So soll die Kompetenz von sieben Fraunhofer-Instituten gebündelt werden, um komplette Entwicklungen an Oberflächen von den ersten grundlegenden Untersuchungen bis hin zu Skalierungen und Automatisierung der Prozesse zu begleiten. Ideen unserer Kunden setzen wir um in Produkte mit hoher Funktionalität, minimalem Materialeinsatz und reduziertem Verarbeitungsaufwand. Den Schwerpunkt der Produktentwicklung bilden:

- Polymerfolien als extrem gute Barriere gegenüber Gasen, Wasserdampf und anderen Substanzen
- Antimikrobielle Polymeroberflächen (z. B. für Verpackungen, Textilien, in der Medizintechnik oder im Hoch- und Tiefbau)
- Abriebfeste Folien als Komponenten für Displays
- Indikatorfolien (für Sauerstoff, oxidative Abbauprodukte, ...)

Eine Wissenschaftlich Strategische Allianz (WISA) mit einer Laufzeit von insgesamt drei Jahren bearbeitet zunächst Fragen aus den ersten beiden Produktgruppen.

Herr Dr. Oehr (Fraunhofer IGB), Herr Dr. Langowski (Fraunhofer IVV) und Herr Koch (Fraunhofer IFAM) werden den Verbund in inhaltlichen Fragen, im Marketing und bei den Finanzen als Direktorium leiten. Herr Dr. Langowski wurde zum Sprecher des Verbundes und zum Leiter des Bereichs »Flexible Ultra-Barrieren« gewählt.

### Antimikrobielle Polymeroberflächen

Herr Dr. Oehr (Fraunhofer IGB) leitet den Bereich der »Antimikrobiellen Polymeroberflächen«. Diese sollen entweder die Anlagerung von Mikroorganismen wie Bakterien, Viren, Hefen, Pilzen, Sporen oder Algen verhindern, diese im Wachstum hemmen oder abtöten. Im Gegensatz zu bisherigen niedermolekularen Bioziden bieten polymere Wirkstoffe zahlreiche Vorteile: Sie wirken effizienter und können gezielt gegen spezifische Organismen eingesetzt werden. Sie bleiben dabei länger aktiv und sind weniger giftig.

Typische Einsatzgebiete sind hierbei speziell ausgerüstete Textilien, wie Bekleidung im Krankenhausbereich, Sportbekleidung oder im Sanitärbereich, Filtermaterialien in Klimaanlage oder Bezüge in öffentlichen Verkehrsmitteln.

Als aktive Verpackungen schützen antimikrobielle Folien Lebensmittel oder andere verderbliche Ware wie Kosmetika oder Medikamente. Medizinische Güter wie Implantate oder Katheter oder Leitungssysteme in der Medizintechnik, im Hoch- und Tiefbau oder in der Wasserversorgung lassen sich ebenfalls wirkungsvoll antimikrobiell ausrüsten.

## Ultra-Barrieren für Verpackung und Displays

Ultra-Barrieren sind Sperrschichten, die nahezu undurchlässig sind, dabei aber flexibel. Klassische Kunststoffe lassen grundsätzlich eine bestimmte Menge an Gasen und Flüssigkeiten durch. Das größte Problem in vielen Bereichen stellen vor allem Sauerstoff und Wasserdampf dar. Durch Metallbeschichtungen lässt sich dieses Problem zwar lösen, aber die Folien sind dann nicht transparent und deshalb häufig unbrauchbar. Kommerzielle Folien, vor allem aus Japan, sind inzwischen 500 bis 2000 mal so dicht. Polo hat sich neue Größenordnungen von  $10^4$  bis  $10^6$  mal dichteren Folien zum Ziel gesetzt. Der Lösungsansatz besteht vor allem in einer Kombination aus verschiedenen Schichten, die je nach Anwendungszweck anders zusammengesetzt sein können. Ultrabarrieren sind unerlässlich für die Entwicklung organischer Displays. Ohne hochwirksame Gasbarrieren sind organische Symbolanzeigen und in Zukunft vielleicht aufrollbare Bildschirme trotz guter Technologien nicht für Marktzwecke herzustellen. Andere Anwendungszwecke sind zum Beispiel Isolations- und Verpackungsmaterialien, Spezialmembranen und zukünftig auch Solarzellen. Isolations- und Verpackungsfolien finden Verwendung in Kühlschränken und Kühlaggregaten, aber auch zur Verpackung empfindlicher Güter, die in tropische Länder exportiert und dort unter Umständen jahrelang gelagert werden müssen. Die hohe Luftfeuchtigkeit lässt sie häufig korrodieren, was große Kosten verursacht. Die zukünftigen Ultra-Barrieren sollen sie besser gegen Wasserdampf schützen.

Spezialmembranen sollen gegen ganz bestimmte Stoffe undurchlässig sein, zum Beispiel gegen Hydraulik-Öle. Die kostengünstigere Herstellung von Solarmodulen erfordert noch die Lösung vieler technischer Probleme, unter anderem Ultra-Barrieren, die den massiven Glaskörper dieser Module eines Tages ersetzen können.

## Kontakt



Fraunhofer-Institut für Angewandte  
Polymerforschung IAP  
Dr. Andreas Holländer  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-14 04  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: hollander@iap.fhg.de

## Institute des Themenverbundes

Sprecher des Verbundes  
Dr. Horst-Christian Langowski  
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und  
Verpackung IVV  
Telefon: +49 (0) 81 61 / 4 91-50 0  
E-Mail: langowski@ivv.fhg.de

Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl-  
und Plasmatechnik FEP  
Dr. Nicolas Schiller  
Telefon: +49 (0) 3 59 73 / 2 81-47  
E-Mail: schiller.n@fep.fhg.de

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik  
und Angewandte Materialforschung IFAM  
Dr. Guido Ellinghorst  
Telefon: +49 (0) 4 21 / 22 46-49 9  
E-Mail: eh@ifam.fhg.de

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und  
Bioverfahrenstechnik IGB  
Dr. Christian Oehr  
Telefon: +49 (0) 7 11 / 9 70-41 37  
E-Mail: oehr@igb.fhg.de

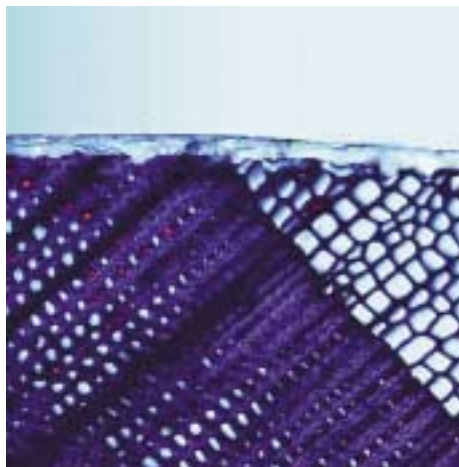
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik  
und Automatisierung IPA  
Harald Holczek  
Telefon: +49 (0) 7 11 / 9 70-17 33  
E-Mail: hzh@ipa.fhg.de

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC  
Dr. Karl-Heinz Haas  
Telefon: +49 (0) 931 / 41 00-50 0  
E-Mail: haas@isc.fhg.de

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik  
und Verpackung IVV  
Dr. Horst-Christian Langowski  
Telefon: +49 (0) 81 61 / 4 91-50 0  
E-Mail: langowski@ivv.fhg.de



## Allianz »Innovative Fassadenbeschichtung - INNOFASS«



Holzquerschnitt mit UV-stabiler Beschichtung.

### Neue Anforderungen für Farben und Lacke

Die Marktentwicklung von Farben und Lacken verlangt vor allem die Suche nach möglichst emissionsfreien und umweltfreundlichen Rezepturen. Technologien wie Pulverbeschichtung, UV-vernetzende Systeme und wasserbasierende Lacke können umweltkritische Lösungsmittel ersetzen. Neben dem Umweltaspekt sollen Beschichtungen zunehmend funktionelle Eigenschaften wie einstellbares Wärmestrahlungsverhalten oder schmutzabweisende Oberflächen übernehmen.

Um diesen Marktanforderungen gerecht zu werden, haben sich vier Fraunhofer-Institute zu einer Allianz zusammengeschlossen. In einem ersten gemeinsamen Projekt stehen vor allem zwei Themen im Vordergrund:

- transparente Lackbeschichtungen für Holzfassaden
- innovative Beschichtungen für Putzfassaden

### Transparente Holzlacke

Gemeinsam mit dem Fraunhofer WKI für Holzforschung in Braunschweig werden am Fraunhofer IAP Lösungen für transparente und langlebige Lacke für Holzfassaden erarbeitet. Dabei soll ein vielfältiges Anforderungsprofil gewährleistet werden:

- hohe Witterungsstabilität
- Schutz gegen Feuchtigkeit
- Schutz vor UV- und violetter Strahlung
- Geringe Verschmutzung
- Transparenz
- Wirtschaftliche Herstellung und Anwendung

Strahlenhärtende Lacke erfüllen viele dieser Kriterien und bilden daher den Kern der Arbeiten. In extrem witterungs- und lichtstabile Lackrohstoffe sollen Farbstoffe für den UV- und Lichtschutz eingebaut werden. So entstehen dauerelastische Lacksysteme, deren erhöhte Lebensdauer durch Kurzzeitbewitterung und durch Freibewitterung nachgewiesen wird. Die Arbeiten am Fraunhofer IAP konzentrierten sich in diesem ersten Jahr der Projektfinanzierung mit einer Gesamtlaufzeit von drei Jahren auf ein Screening marktüblicher Farbstoffe und anschließender Weiterentwicklung der aussichtsreichsten Kandidaten. Hierbei handelt es sich vor allem um organische Farbstoffe oder um Metallkomplexe. Konventionelle Farbstoffe sind mehr oder weniger problematisch in dreifacher Hinsicht: die Löslichkeit ist oft schlecht, was sich auf die Transparenz auswirkt, ihre Stabilität gegen UV-Licht ist nicht immer ausreichend - das ligninabbauende violette Licht wird gar nicht absorbiert. Außerdem lassen sie sich

nicht reaktiv sondern nur physikalisch in den Lackbinder einbauen. Damit können sie ausgewaschen werden oder es kommt zu Migrationen. Durch chemische Modifikation marktüblicher Farbstoffe können viele dieser Probleme gelöst werden. Vor allem die Löslichkeit und die Absorption von violettem Licht kann erheblich verbessert werden. Das Prinzip beruht auf der Ausbildung von kovalenten Bindungen durch Photovernetzung des Binders. Dazu wurde eine Vernetzungsapparatur mit je 5 UV-A und UV-C-Lampen mit einer Leistung von 36 W pro Lampe benutzt. Zur Herstellung der Polyurethan-Acrylatschichten wurde das Monomergemisch nach Zugabe von 0,1 bis 0,5 % Farbstoff auf einer Glasplatte ausgestrichen, entgast und photovernetzt. Die UV-Stabilität wurde mit bis zu 1100 Stunden UV-Bestrahlung geprüft. Die Halbwertszeit des UV-Abbaus - also die Bestrahlungszeit bis zum Abbau der Hälfte der Additive war ein wichtiges Gütekriterium der Vorauswahl. Diese Arbeiten werden im Laufe des Jahres 2001 erfolgreich beendet. Außerdem sind vor allem die Probleme des chemischen Einbaus in den Binder zu lösen. Erste Ergebnisse stellt INNOFASS auf der European Coatings Show in Nürnberg vom 3.- 5.4.2001 vor.

## Innovative Putzfassaden

Die wichtigsten Anforderungen an innovative Putzfassaden sind:

- hohe Außenwitterungsstabilität
- geringe Verschmutzung
- Feuchteschutz
- Energieeinsparung durch Infrarot-Reflexion

Bei der Formulierung von Fassadenfarben lassen sich durch die Verwendung geeigneter Pigmente Wärmeabstrahlungsverluste und damit Heizenergieverluste von Gebäuden erheblich reduzieren. Die Außenwände kühlen weniger stark ab, dadurch treten Taupunktunterschreitungen seltener auf. Die geringere Feuchtigkeit hemmt zum einen Algen- und Pilzwachstum, zum anderen entstehen weniger Frostrisse. Chemische Modifizierung wie beispielsweise Hydrophobierung, verstärkt den Effekt noch. Insgesamt lassen sich damit Fassadenanstriche realisieren, die weniger verschmutzen und zu Energieeinsparungen führen.

## Kontakt



### Teilprojekt Beschichtungen von Holzfassaden

Dr. habil. Rudi Danz  
Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-19 15  
Fax: +49 (0) 331/56 8-39 15  
E-Mail: danz@iap.fhg.de

### Allianz-Institute

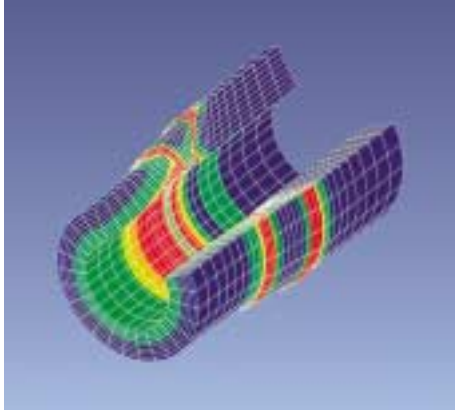
Gesamtprojektleitung  
Dr. Karl-Heinz Haas  
Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung  
Telefon: +49 (0) 931 / 41 00-50 0  
E-Mail: haas@isc.fhg.de

Teilprojekt Beschichtungen von Holzfassaden  
Dr. Stefan Friebe  
Fraunhofer WKI für Holzforschung  
Telefon: +49 (0) 531 / 21 55-32 9  
E-Mail: fri@wki.fhg.de

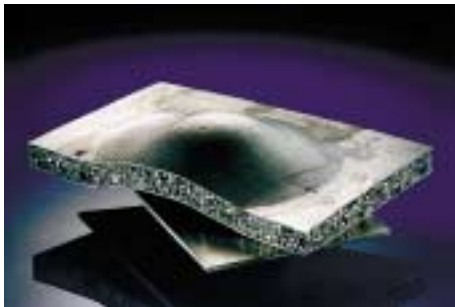
Teilprojekt Beschichtung für Putzfassaden  
Michael Köhl  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme  
Telefon: +49 (0)7 61 / 40 16 6-82  
E-Mail: mike@ise.fhg.de

Dr. Klaus Rose  
Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung  
Telefon: +49 (0) 9 31 / 41 00-62 6  
E-Mail: rose@isc.fhg.de

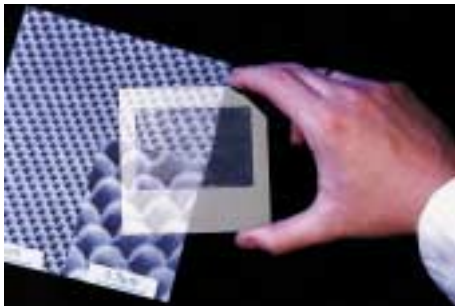
## Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile



Dehnungsverteilung einer thermisch-zyklisch belasteten Rohrschweißverbindung, Fraunhofer IWM.



Aluminiumschaum-Sandwichstruktur für Leichtbauanwendungen, Fraunhofer IFAM.



Antireflexwirkung einer mit ORMOCER®-Mottenaugen-Struktur teilbeschichteten Glasscheibe, Fraunhofer ISC.

### Moderne Werkstofflösungen

Neue Wertschöpfungspotentiale lassen sich durch das Zusammenwirken von leistungsfähigen Partnern erschließen, ganz gleich, ob es sich um Werkstoffentwicklungen, neue Werkstoffanwendungen oder neue Technologien handelt. Die Fraunhofer-Gesellschaft stellt sich mit dem Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile dieser Herausforderung. Neun Institute haben sich im Verbund zusammengeschlossen, um gemeinsam neue Forschungsgebiete und Anwendungsfelder zu erschließen. Innerhalb des Verbundes stehen geschlossene technologische Ketten zur Verfügung, beispielsweise von der Pulverentwicklung über das Pulverprocessing bis hin zum qualitätsgesicherten, einbaufertigen Bauteil. Modernste numerische und experimentelle Simulationstechniken beschleunigen und unterstützen die experimentellen Entwicklungen.

### Die Institute

Neben dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung sind in diesem Verbund weitere Institute vereinigt.

*Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und Angewandte  
Materialforschung IFAM*

Bereich:  
Endformnahe Fertigungstechnologien  
Leitung: Prof. Dr. Hans-Dieter Kunze  
Wiener Str. 12  
28359 Bremen  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-10 0  
Fax: +49 (0) 421 / 22 46-30 0  
E-Mail: [info@ifam.fhg.de](mailto:info@ifam.fhg.de)  
Internet: [www.ifam.fhg.de](http://www.ifam.fhg.de)

*Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und Angewandte  
Materialforschung IFAM*

Bereich:  
Klebtechnik und Polymere  
Leitung: Prof. Dr. Otto-Diedrich  
Hennemann  
Wiener Str. 12  
28359 Bremen  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-40 2  
Fax: +49 (0) 421 / 22 46-43 0  
E-Mail: [ktinfo@ifam.fhg.de](mailto:ktinfo@ifam.fhg.de)  
Internet: [www.ifam.fhg.de](http://www.ifam.fhg.de)

*Fraunhofer-Institut für  
Keramische Technologien und  
Sinterwerkstoffe IKTS*

Leitung: Prof. Dr. Waldemar Hermel  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden  
Telefon: +49 (0) 351 / 25 53-51 9  
Fax: +49 (0) 351 / 25 53-60 0  
E-Mail: info@ikts.fhg.de  
Internet: www.ikts.fhg.de

*Fraunhofer-Institut für  
Kurzzeitdynamik,  
Ernst-Mach-Institut EMI*

Leitung: Prof. Dr. Klaus Thoma  
Eckerstraße 4  
79104 Freiburg  
Telefon: +49 (0) 7 61 / 27 14-0  
Fax: +49 (0) 7 61 / 27 14-31 6  
E-Mail: info@emi.fhg.de  
Internet: www.emi.fhg.de

Kontakt



Fraunhofer-Institut für Angewandte  
Polymerforschung, IAP  
Dr. Ulrich Buller  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-11 12  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-31 10  
E-Mail: info@iap.fhg.de  
Internet: www.iap.fhg.de

*Fraunhofer-Institut für  
Silicatforschung ISC*

Leitung: Prof. Dr. Gerd Müller  
Neunerplatz 2  
97082 Würzburg  
Telefon: +49 (0) 931 / 41 00-10 0  
Fax: +49 (0) 931 / 41 00-19 9  
E-Mail: info@isc.fhg.de  
Internet: www.isc.fhg.de

*Fraunhofer-Institut für  
Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP*

Leitung: Dr. Michael Kröning  
Universität, Gebäude 37  
66123 Saarbrücken  
Telefon: +49 (0) 6 81 / 93 02-0  
Fax: +49 (0) 6 81 / 93 02-59 01  
E-Mail: info@izfp.fhg.de  
Internet: www.izfp.fhg.de

*Fraunhofer-Institut für  
Werkstoffmechanik IWM*

Leitung: Prof. Dr. Erwin Sommer  
Wöhlerstraße 11  
79108 Freiburg  
Telefon: +49 (0) 761 / 51 42-20 0  
Fax: +49 (0) 761 / 51 42-11 0  
E-Mail: info@iwm.fhg.de  
Internet: www.iwm.fhg.de

*Fraunhofer-Institut für  
Chemische Technologie ICT*

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Eyrer  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7  
76327 Pfinztal (Berghausen)  
Telefon: +49 (0) 7 21 / 46 40-0  
Fax: +49 (0) 7 21 / 46 40-11 1  
E-Mail: info@ict.fhg.de  
Internet: www.ict.fhg.de

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

Leitung: Prof. Dr. Rainer Marutzky  
Bienroder Weg 54 E  
38108 Braunschweig  
Telefon: +49 (0) 531 / 21 55-21 2  
Fax: +49 (0) 531 / 35 15-87  
E-Mail: info@wki.fhg.de  
Internet: www.wki.fhg.de

## Fraunhofer-Forschung 2000



Gefäßstütze aus Memory-Metall zur Einbringung von Bioherzklappen, Fraunhofer IOF.

### Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Trägerorganisation für Einrichtungen der angewandten Forschung in Deutschland. Sie betreibt Vertragsforschung für die Industrie, für Dienstleistungsunternehmen und die öffentliche Hand. Für Kunden aus der Wirtschaft werden einsatzreife Lösungen technischer und organisatorischer Probleme rasch und kostengünstig erarbeitet. Im Rahmen der Technologieprogramme der Europäischen Union wirkt die Fraunhofer-Gesellschaft in Industriekonsortien an der Lösung technischer Fragen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft mit. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im Bereich von Schlüsseltechnologien und im öffentlichen Nachfragebereich (Energie, Verkehr, Umwelt) beitragen. Die Globalisierung von Wirtschaft und Forschung macht eine internationale Zusammenarbeit unerlässlich. Niederlassungen der Fraunhofer-Gesellschaft in Europa, in den USA und in Asien sorgen daher für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wirtschaftsräumen. Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit 48 Forschungseinrichtungen an Standorten in der gesamten Bundesrepublik. Rund 9 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von rund 760 Millionen Euro. Davon fallen mehr als 650 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses

Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die Fraunhofer-Wissenschaftler sind auf differenzierte Forschungsaufgaben aus einem breiten Spektrum von Forschungsfeldern spezialisiert. Wenn Systemlösungen gefragt sind, arbeiten mehrere Institute interdisziplinär zusammen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

## Mensch und Umwelt

### *Grubengas zur Energiegewinnung*

Forscher aus dem Fraunhofer UMSICHT konzipierten und bauten zwei Pilotkraftwerke, die Grubengas verbrennen und zur Stromerzeugung nutzen.

### *Wafer mehrfach verwendbar*

Am Fraunhofer IIS, Bereich Bauelementetechnologie, entstand ein Verfahren, das bereits verwendete Wafer durch Regeneration einer makellosen Oberfläche wieder verwendbar macht.

### *Sonne macht unabhängig*

Am Fraunhofer ISE entstand beispielsweise ein Hochleistungsladegerät für Mobiltelefone, das seine Energie aus Licht gewinnt.

Um den Stromverbrauch photovoltaisch betriebener Geräte zu optimieren, entwickelten die Forscher am Fraunhofer IIS, Bereich Angewandte Elektronik, einen speziellen Steuerchip.

## Produktion

Virtuelle Realität wird erschwinglich  
Fraunhofer IAO entwickelte »Personal Immersion System« um Methoden der virtuellen Realität auch für kleine und mittlere Unternehmen nutzbar zu machen.

### *Qualitätssicherung im Nanobereich*

Dr. Dieter Schneider und Dr. Thomas Schwarz vom Fraunhofer IWS erfanden ein laserakustisches Verfahren, mit dem die Qualität diamantharter, superdünner Schichten problemlos, sicher und zerstörungsfrei überprüft werden kann. Sie erhielten dafür den Fraunhofer-Preis 2000.

### *Werkzeuge melden Verschleiß*

Mikroverkapselte Duft- oder Farbstoffe können Verschleißteile »intelligent« machen (siehe Allianz »Mikrostrukturierte Kompositpartikel«)

### *Schichten aus Diamant*

Bei der Herstellung von Schichten aus künstlichen Diamanten setzten sich das Fraunhofer IAF und das Fraunhofer IST gegen die hochkarätige internationale Konkurrenz durch. Sie beteiligen sich an zwei Entwicklungsprojekten ausgeschrieben vom japanischen Ministry for International Trade and Industry MITI



Mikroverkapselte Feststoffe und Flüssigkeiten, Fraunhofer IAP.





Molecular Farming, Pflanzliche Synthese von Arzneimitteln, Fraunhofer IUCT.

## Medizin und Gesundheit

### *Haut für die Forschung*

Ein neu entwickeltes dreidimensionales Hautsystem ist einfacher und aussagekräftiger als Tierversuche.

Dr. Thomas Graeve vom Fraunhofer-Institut IGB erhielt für diese Arbeit den Fraunhofer-Preis 2000 zugesprochen.

### *Roboter als Chirurg*

Auf den Zehntel Millimeter genau arbeitet ein Roboter, der gemeinsam von den Fraunhofer-Instituten IBMT, IPK, IPA und IGD entwickelt wird.

### *Herzoperation auf die sanfte Art*

Eine am Fraunhofer IOF entwickelte Gefäßstütze aus Memory-Metall ermöglicht es, eine neue Bioherzklappe minimalinvasiv über einen Katheter durch die Leistenschlagader anzubringen.

### *Pflanzen machen Medizin*

Am Fraunhofer IUCT widmet man sich dem Molekularen Farming, bei dem Kulturen aus pflanzlichen Zellen die Synthese von Arzneimitteln und Diagnostika übernehmen.

### *Thermographie statt Röntgen*

Ein am Fraunhofer IAF entwickelter Infrarot-Photodetektor ist so empfindlich, dass er - ganz ohne Strahlenbelastung - einen wachsenden Tumor an der Temperaturerhöhung auf der Hautoberfläche erkennen kann.

## Wohnen

### *Selbsttätiger Sonnenschutz*

Eine am Fraunhofer IBP entwickelte Glasscheibe schafft selbsttätig Abhilfe bei zu viel Licht und hohen Temperaturen.

### *Keine Angst vor Heizkosten mehr*

Zusammen mit mehreren Industriepartnern realisierten die Experten vom Fraunhofer ISE innovative Haustechnik und ein neues Gesamtkonzept für die Energieversorgung bereits in einem Einfamilienhaus und sieben Reihenhäusern.

### *Service-Roboter erleichtern das Leben*

Am Fraunhofer IPA entstand eine Hardware- und Software-Plattform, mit der eine ganze Familie von Service-Robotern ausgestattet werden kann. Für diese Leistung erhielt Christoph Schaeffer den Fraunhofer-Preis 2000.

### *Roboter reinigt Fassaden*

Als erstes modular aufgebautes System dieser Art lässt sich der Roboter SIRIUSc an die verschiedensten Fassadentypen anpassen. Die Forscher vom Fraunhofer IFF freuen sich über das weltweite Interesse.

### *Häuser werden intelligent*

Haushalts-, Elektro- und Elektronikartikel optimieren den Stromverbrauch, merken sich Wünsche des Benutzers und bieten interessante Zusatzfunktionen. Das Projekt »Intelligentes Haus« wird am Fraunhofer IMS koordiniert und vorangetrieben.

## Mobilität

### *Transparente Scheibenheizung*

Eine am Fraunhofer IST entwickelte Sputtertechnik erlaubt es, eine dünne, transparente und leitfähige Schicht auf Glas aufzutragen, die mit Hilfe von Strom die Scheibe erwärmt.

### *Umweltfreundliche Getriebe*

Forscher am Fraunhofer LBF entwickelten in umfangreichen Versuchen eine nickelfreie Stahllegierung, die sich mit den herkömmlichen Methoden kostengünstig herstellen und bearbeiten lässt und die Nickellegierungen an Festigkeit sogar noch übertrifft.

### *Mehr Komfort und Sicherheit dank adaptiver Werkstoffe*

In dem Leitprojekt Adaptronik des Bundesforschungsministeriums arbeiten fünf Fraunhofer-Institute und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR zusammen. Sie entwickeln Werkstoffe, mit denen Schwingungen und damit auch Geräusche aktiv gedämpft werden können.

### *Entriegeln per Fingerabdruck*

Am Fraunhofer IPK nutzte man den Fingerabdruck zur Entwicklung einer Wegfahrsperre für Autos.

### *Abriebfeste Kunststoffscheiben*

Am Fraunhofer FEP entstand ein leistungsfähiges und preisgünstiges Hochrate-Vakuum-Beschichtungsverfahren, das Kunststoffscheiben so kratzfest macht wie Glas.

## Medien und Information

### *Der Siegeszug von MP3*

Am 19. Oktober überreichte Bundespräsident Johannes Rau den mit 500 000 DM dotierten Zukunftspreis - stellvertretend natürlich für das ganze Entwicklerteam - an Prof. Dr. Karlheinz Brandenburg, Bernhard Grill und Harald Popp vom Fraunhofer IIS.

### *Hardware verschlüsselt Daten*

Am Fraunhofer IMS entstand ein scheckkartengroßes Hardware-Modul. Es verschlüsselt oder entschlüsselt Daten besonders schnell und unabhängig und eignet sich auch für Notebooks und Mikrosysteme.

### *Digitale Kameratechnik*

Am Fraunhofer IIS entstand ein Datenreduktionsverfahren, das es erlaubt, Bilddaten mit bis zu 40 Millionen Bildpunkten pro Sekunde in Echtzeit zu komprimieren.



Roboter am Museum für Kommunikation in Berlin, Fraunhofer IPA.

## Wissenschaftspark Golm

### Studieren - Forschen - Gründen

In Golm bei Potsdam wächst einer der modernsten Forschungsstandorte der Region Berlin-Brandenburg heran. Mit der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam, den Max-Planck-Instituten für Gravitationsphysik, für Kolloid- und Grenzflächenforschung sowie für Molekulare Pflanzenphysiologie und dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung entsteht ein Wissenschaftspark, in dem Fragestellungen von den Grundlagen bis zur industrienahen Forschung bearbeitet werden. Die Ansiedlung eines weiteren Fraunhofer-Instituts ist in der Planung. Die InnoRegio-Initiative Potsdam-Luckenwalde plant den Bau eines BioChip-Centers. In den nächsten 5 Jahren wird der Anwendungsverbund »Biohybrid-Technologien« mit Förderung des Bundesforschungsministeriums aufgebaut.

### Internationale Studiengänge mit Praxisangeboten

Die Zahl der Studenten an der jungen Universität Potsdam steigt stetig. Im Jahr 2000 waren über 3000 Studenten eingeschrieben. Es zahlt sich aus, dass Lehre und Forschung von Anfang an mit außeruniversitären Einrichtungen eng verzahnt wurden. Hochdotierte gemeinsame Drittmittelprojekte und Beteiligungen an Sonderforschungsbereichen (SFB) sowie 30 gemeinsame Berufungen und Honorarprofessuren verbinden die Universität mit der Potsdamer Wissenschaftslandschaft. So sind Kompetenzzentren entstanden, die Studierenden und dem wissenschaftlichem Nachwuchs aus dem In- und Ausland Anreize bieten, ihr neu erworbenes Wissen in die Praxis umzusetzen. Das Graduiertenkolleg »Polymerwerkstoffe« an der TU Berlin besteht seit mehreren Jahren als Kooperation von Wissenschaftlern an Berliner und Brandenburger Forschungsinstituten. Der englischsprachige Master-Studiengang »Polymer Science« wird in diesem Rahmen vom Bund gefördert und als Modellversuch durchgeführt.

Im Wissenschaftspark Golm werden folgende Forschungsschwerpunkte übergreifend bearbeitet:

### Forschungsschwerpunkte

#### *Kolloid- und Polymerwissenschaften*

befassen sich mit Strukturen, die sehr viel größer als Atome sind, aber deutlich kleiner als direkt wahrnehmbare makroskopische Objekte (Nano- und Mikrometerbereich). In diesem interdisziplinären Forschungsgebiet arbeiten Chemiker, Physiker, Biologen, Materialwissenschaftler, Verfahrenstechniker und Anwendungsingenieure eng zusammen. Die Forschungsaktivitäten reichen von der Aufklärung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten von Strukturbildung und Eigenschaften über die Synthese und Charakterisierung neuer Substanzen bis zur Entwicklung und Erprobung der Herstellungs- und Verarbeitungsmethoden sowie vielfältiger technischer Einsatzmöglichkeiten.

#### *Pflanzengenomforschung und Bioinformatik*

Der zelluläre Informationsfluss in pflanzlichen Systemen vom Gen über das Transkript zum Protein und dessen Funktion werden in vivo analysiert im Rahmen des SFB 429 »Molekulare Physiologie, Energetik und Regulation primärer pflanzlicher Stoffwechselprozesse« sowie des BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung)-Verbundprojektes »Genomanalyse im biologischen System Pflanze«. Diese Analyse wird mit multiparallelen Ansätzen zur Erfassung der Regulation und wechselseitigen Steuerung der einzelnen Informationsflüsse durchgeführt. Dazu braucht man neue Verfahren der Datenerfassung und Datenauswertung. Dies schließt die Bioinformatik mit ein.

### Biohybrid-Technologien

In diesem Schwerpunkt werden Molekül-Interaktionen in lebenden Systemen zur Lösung bioanalytischer und biotechnologischer Probleme angewendet. Ziel ist die Entwicklung neuer Mikrosysteme mit zunehmendem Integrationsgrad, die Probenbearbeitung, Analyterkennung, Signaltransfer und Verstärkung. Dies geschieht in Kooperation mit dem IBMT, der GKSS, dem DfE sowie dem Technologiepark Luckenwalde. Die Erfolge im BioFuture- und im Inno-Regio-Wettbewerb sollen im SFB 1893 fortgeführt werden mit der Universität Potsdam als Sprecherhochschule.

### Geowissenschaften

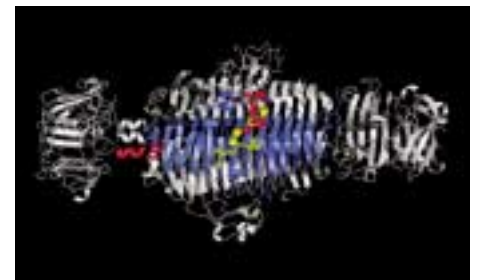
In der Geotektonik wird im Rahmen des SFB 267 die Analyse der Bewegung großer Lithosphärenplatten und ihrer Auswirkungen auf Deformationsvorgänge, Massenflüsse und Rückkopplungen zwischen endogenen und exogenen Prozessen untersucht mit Hilfe direkter instrumenteller Aufzeichnungen, Geländebeobachtungen und radiometrischer Datierungsmethoden. In der Geoökologie gilt es, bisherige und modellierte Entwicklungen des Landschafts- und Wasserhaushalts aufzuzeigen. Diese liefern wertvolle Grundlagen für die Einschätzung von Naturrisiken, für die Ableitung von Nutzungsstrategien und für die Umgestaltung ökologisch belasteter Räume. Im regionalwissenschaftlich ausgerichteten Forschungsschwerpunkt der Geographie wird an der Aufdeckung und Erklärung räumlicher Organisationsprinzipien und der Analyse von Institutionalisierungsprozessen gearbeitet.

### Astrophysik und Gravitationsforschung

In der aktuellen astrophysikalischen Forschung an galaktischen und extragalaktischen Systemen geht es speziell um die Physik der Sternatmosphären, die stellare Spektralanalyse, die Gravitationslinsen und die Planeten anderer Sterne. Beim Verständnis starker Gravitationsfelder, beispielsweise von Neutronensternen und Schwarzen Löchern, sowie der Raumzeitstruktur des gesamten Universums hat sich die Allgemeine Relativitätstheorie von Albert Einstein bewährt; ihre Vereinigung mit der Quantenfeldtheorie ist jedoch ein offenes Problem. Wichtige Hilfsmittel in Astrophysik und Gravitationsforschung sind neben theoretischen Untersuchungen sowohl numerische Simulationen als auch Beobachtungen mit bodengebundenen und satellitengestützten Großteleskopen und Gravitationswellendetektoren.



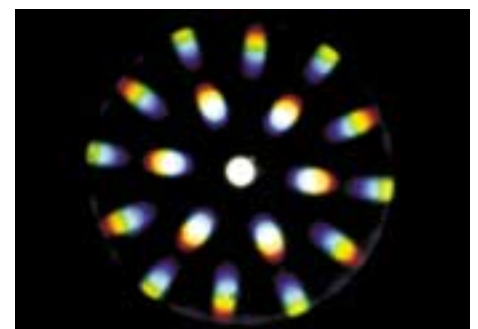
Kulturraum für die In-Vitro-Aufzucht von Pflanzen, MPI für Molekulare Pflanzenphysiologie.



Erkennung einer Kohlenhydratstruktur (gelb) durch ein Eiweißmolekül, Universität Potsdam.



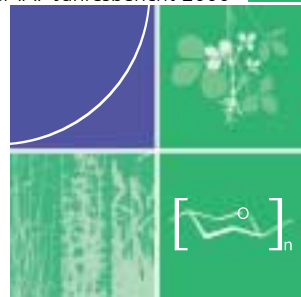
Immersion zur 3D-Visualisierung, MPI für Gravitationsphysik.



Beugungsbild eines kolloidalen Kristalls, Fraunhofer IAP.

# Native Polymere





1. Das Institut

2. Kooperationen

### 3. Native Polymere

Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen

Cellulosefasern nach dem Carbamatverfahren

Cellulosefasern in verstärkten Kunststoffen

Verarbeitung neuer Zellstoffe

Modifizierte Stärke für neue Einsatzmöglichkeiten

Wasserlösliche Stärkederivate für Overheadfolien

Derivatisierung von Stärke

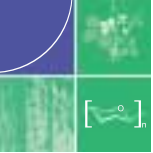
4. Funktionale Polymersysteme

5. Synthese- und Polymertechnik

6. Wasserbasierende Polymersysteme

7. Namen, Daten, Ereignisse





## Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen

### Pflanzliche Polymere

Ein immenser Reichtum an komplexen Riesenmolekülen wird uns per Photosynthese gratis frei Haus geliefert: 110 Milliarden Tonnen an Biomasse wachsen jährlich auf der Erde. Dieses Potential wird zur Zeit nur in einem verschwindenden Bruchteil genutzt. Unter allen Polysacchariden stellt die Cellulose den Löwenanteil mit 90 % gefolgt von Stärke.

Nur 2 bis 3 % wandern in die industrielle Nutzung und werden verarbeitet zu Viskosefasern, Cellophanfolien, Filtermaterialien oder Zellwolle. In der chemischen Industrie sind sie darüber hinaus bekannt als kleine Helfer: Ob in Zahnpasta, Götterspeise, Waschmitteln oder in Baustoffen - Cellulose und Stärke sind überall dort nicht wegzudenken, wo speziell entwickelte Substanzen einer Fülle von teilweise widersprüchlichen Anforderungen gerecht werden müssen. So sollen Baumaterialien gleichzeitig hochbelastbar aber einfach zu verarbeiten sein. Dazu müssen sie sich beispielsweise leicht mit Wasser anrühren lassen. Später sollen sie allerdings Regenschauern Widerstand leisten. Der Grund für diese breite Einsetzbarkeit von Polysacchariden liegt im Aufbau des Zuckermoleküls als Grundbaustein von Cellulose und Stärke. Durch chemische Änderung lassen sich die funktionellen Gruppen am Zuckerring in großer Vielfalt austauschen und anders anordnen. Der Kreativität des Chemikers ist hier keine Grenze gesetzt. Die große Kunst liegt einerseits darin, genau an der richtigen Stelle zu modifizieren und andererseits verlässliche Zusammenhänge und Voraussagen zwischen Derivatisierung und den resultierenden Produkteigenschaften zu finden.

Die Synthesearbeiten der Chemiker müssen sich daher auf eine solide analytische Arbeit und eine physikalische Charakterisierung stützen können. Das Fraunhofer IAP, hervorgegangen aus dem Institut für Polymerenchemie, steht in der Tradition von 50 Jahren Viskose- und Kunstfaserforschung. Die Untersuchung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen - vom molekularen Aufbau über die physikalische Faserstruktur bis zum Endprodukt - wurden hier wesentlich vorangetrieben.



Stärke aus Weizenkörnern.



Stärkenachweis durch Jod.



Mercerisierung von Naturfasern.



Hochviskose Lösung aus modifizierter Stärke.

## Biokunststoffe aus Cellulose

Weltweit werden jährlich etwa 2,5 Millionen Tonnen Textilfasern und große Mengen an Folien aus Cellulose hergestellt. Doch so umweltfreundlich der eigentliche Rohstoff, so problematisch seine Gewinnung und Verarbeitung. Cellulose lässt sich weder schmelzen noch in den üblichen Lösungsmitteln lösen. Die traditionelle Herstellung von Cellulosefasern (Viskose) gelang mit Hilfe von Schwefelkohlenstoff. Mit dieser uralten Technologie werden weltweit jährlich 2,25 Millionen Tonnen Cellulosefasern hergestellt. Die Entsorgung belastender Abfälle wie Schwermetalle, Schwefelwasserstoff oder Schwefelkohlenstoff bereitet dabei erhebliche Probleme.

Viele Forschungsanstrengungen zielen darauf, dieses Verfahren zu verbessern oder zu ersetzen. Allerdings ist es nicht leicht, eine Technologie auszutauschen, die über 100 Jahre optimiert wurde. Einerseits sollen die entstehenden Fasern die gleiche mechanische Qualität haben, andererseits will die Industrie die aufwändige Prozesstechnologie möglichst weiter nutzen, wenn auch mit unschädlicheren Chemikalien. Dazu wurde das Carbatverfahren entwickelt: Statt mit Schwefelkohlenstoff setzt man Cellulose mit Harnstoff um. Cellulosecarbat als Reaktionsprodukt ist löslich. Während der Verarbeitung zu Fasern oder Folien wird der Harnstoff wieder abgespalten, die reine Cellulose wird regeneriert.

### *Innovationen für die Textilherstellung*

Zusammen mit einem Anlagebauer aus der Industrie entwickeln wir eine Pilotanlage zur Verspinnung von

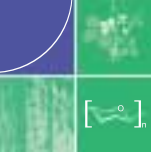
Regeneratfasern nach dem Carbatverfahren. Die Qualität der Fasern lässt sich durchaus mit denen aus dem Viskoseverfahren messen. Leider ist der Investitionsbedarf bei der Umstellung auf den neuen Prozess noch erheblich. Ist das Verfahren aber einmal installiert, lässt es sich wirtschaftlicher betreiben als das herkömmliche Viskoseverfahren. Zur weiteren Optimierung des Verfahrens wurde im Fraunhofer IAP die Reaktivität des Celluloserohstoffes verbessert. Die in Natronlauge aufgeschlossene Cellulose muss so präpariert werden, dass die Carbatlösung möglichst homogen ist, also ohne störende Agglomerate, die später bei der Fadenspinnung die Festigkeit des Materials verschlechtern. Um die Abwasserbelastung des Prozesses gering zu halten, sollte möglichst wenig Natronlauge eingesetzt werden. Auch dies erreicht man durch gezielte Strukturänderungen an der Cellulose, die als Aktivierung die Reaktivität erhöhen.

Eine weitaus elegantere Methode der Celluloseverarbeitung besteht darin, den Rohstoff ohne Zugabe anderer Chemikalien direkt in Lösung zu bringen. Dies ist mit Hilfe eines komplizierten Lösungsmittels - N-Methylmorpholin-N-Oxid, NMMO - gelungen. Entzieht man dem stark hygroskopischen Lösungsmittel Wasser, so »saugt« es als Ersatz Cellulose mit seinen vielen OH-Gruppen auf. Es wird bereits international in der Textilindustrie eingesetzt. Neben dem Investitionsaufwand sind allerdings auch die Fasereigenschaften bisher nicht optimal. Beispielsweise bilden sich an der Oberfläche Fibrillen, die einen weichen Flaum wie auf einer Pfirsichhaut bilden. Das hat zwar vor einigen Jahren die Jeansmode in Japan auf Schwung gebracht, ist aber bei anderen Produkten unerwünscht.

Cellulose regeneratfasern sind ein guter Ersatz für Baumwolle, die nicht in so großen Mengen hergestellt werden kann. Sie wirken feuchtigkeitsregulierend und lassen sich daher gut für Wäsche einsetzen. Leider übersteht das Material zur Zeit nicht sehr viele Waschmaschinendurchläufe. Die Nassscheuerfestigkeit muss noch erheblich verbessert werden. Dazu wurde bei uns ein patentiertes Verfahren entwickelt, das im Labormaßstab zu guten Ergebnissen führte. Der Faden wird in zwei Stufen gefällt, so dass sich eine Kern-Mantel-Struktur des Fadens bildet. Die Moleküle im Mantel sind dann weniger stark ausgerichtet - so kann der Mantel nicht so leicht aufgescheuert werden. Gleichzeitig sorgt die starke Orientierung der Moleküle im Kern für die hohe Reißfestigkeit des Fadens. In Zusammenarbeit mit der Industrie könnte dieses Verfahren in den industriellen Maßstab übertragen werden.

### *Celluloseblasfolien*

Auch in der Folienherstellung eröffnet das NMMO-Verfahren neue Perspektiven. Insbesondere in der Lebensmittelverpackung ist die Herstellung von bioabbaubaren Folien ohne Zusatz von Chemikalien sehr gefragt. Diese Folien sollen in alle Richtungen gleich stabil sein. Zieht man eine Folienbahn auf dem klassischen Weg aus der viskosen Lösung, unterscheidet sich die Festigkeit in Zugrichtung und quer dazu. Am Fraunhofer IAP wurde ein Verfahren patentiert, das Folien als Schlauch mit Luft aufbläst. Im Gegensatz zur klassischen Viskoselösung lassen sich NMMO-Celluloselösungen fast wie Polymerschmelzen verarbeiten. Das Material kann in der Düse orientiert werden. So kann die Festigkeit in alle Richtungen fein



Quellbarkeit von Cellulosemikroperlen.



Cellulosische Verstärkungsfasern.



Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Viskose-Fasern.

justiert werden. Dieses Verfahren benötigt darüber hinaus weniger Prozessschritte, da keine chemische Umwandlung nötig ist. Das Lösungsmittel wird umweltschonend in einem geschlossenen Kreislauf genutzt. So entstehen kaum Abfallprodukte. Dieses Blasextrusionsverfahren lässt sich sicher für eine Vielzahl von qualitativ hochwertigen Folienanwendungen einsetzen. Vorliegende Prognosen schätzen bis 2005 eine Produktion von 300 000 Tonnen Celluloseprodukten nach dem Lyocellverfahren.

#### *Cellulose als Viskositätsregler*

Nicht nur als Materialrohstoff - Cellulose ist überall dort gefragt, wo einem Produkt die richtige Konsistenz verliehen werden soll. Ob Kosmetika, Lacke oder Beton - nicht zu flüssig, nicht zu zäh wünscht sich der Verbraucher das Produkt. Durch gezielte Substitution lässt sich Cellulose hervorragend als Bindemittel oder Verdicker einsetzen. Chemisches Know how sorgt zusätzlich dafür, dass die gewünschte Konsistenz auch bei Lagerung erhalten bleibt - oder vorübergehend verändert werden kann. So ist es möglich, dass Beton für den Transport dünnflüssig gemacht wird, aber am Einsatzort in gewohnter Weise verarbeitet werden kann.

#### *Hochveredelte Cellulose in der Medizin*

Cellulose wird seit langem wegen seiner guten Absorption in Hygieneartikeln wie Windeln oder Verbandmaterial eingesetzt. Durch geschickte Derivatisierung können aber auch Adsorber für bestimmte Schadstoffe in wässrigen Medien gewonnen werden. Insbesondere in der Blutreinigung hat Cellulose gegenüber klassischen Adsorbentien wie Polystyren zahlreiche

Vorteile. In herkömmlichen Verfahren werden oft nicht nur die Schadstoffe aus dem Blut gefiltert, sondern auch andere wichtige Bestandteile wie Proteine und Salze. Diese müssen dann künstlich nach der Blutreinigung wieder zugeführt werden. Geeignet modifizierte Cellulose hingegen kann Schadstoffe selektiv binden. Außerdem muss sie nicht erst synthetisiert werden, so dass keine toxischen Restpolymere übrig bleiben. Auch die Verfahrenstechnik der Dialyse wird durch den Einsatz von mit Fluoreszenzfarbstoffen markierten Cellulosemikroperlen abgesichert. Beim Transfer des Blutes vom Patienten in die Dialysemaschine und zurück können die feinen Membranen beschädigt werden ohne dass man es merkt. Dem Patienten würde dann unreines Blut zurückübertragen. Durch die Zugabe von fluoreszierenden Mikroperlen, die normalerweise nicht die Membranen passieren, kann man vor der Rückübertragung an den Patienten Membranendefekte detektieren.

## Stärke - Naturpolymer mit Zukunft

Obwohl Stärke und Cellulose aus dem gleichen chemischen Grundbausteinen zusammen gesetzt sind, unterscheiden sie sich sehr in ihren physiko-chemischen Eigenschaften. Daraus ergeben sich unterschiedliche bevorzugte Einsatzmöglichkeiten. Durch seine linearen Moleküle ist Cellulose in der Regel besser für die Materialverarbeitung zu Fasern und Folien geeignet. Stärke besteht aus hochverzweigten Molekülen - dem Amylopektin - und aus linearen Molekülen der Amylose. Ein großes Problem ist die schlechte Wasserbeständigkeit von Stärke. Am Fraunhofer IAP werden zahlreiche Arbeiten zur Hydrophobierung von Stärke durchgeführt. Der Aufwand lohnt sich, denn als Rohmaterial ist Stärke billiger als Zellstoff. Die granuläre Stärke lässt sich leichter aus Pflanzen wie Kartoffeln, Mais oder Erbsen gewinnen, als Cellulose aus Holz extrahiert werden kann. Zur weiteren Verarbeitung kann es durch wässrige Extraktion umweltschonend gewonnen werden. Bisher werden 90 % der Stärke in wässrigen Systemen als Dickungsmittel oder Gelbildner verarbeitet. Davon entfällt etwa die Hälfte auf die Lebensmittelherstellung, 20 % auf die Papierverarbeitung. Der Rest verteilt sich auf die pharmazeutische Industrie (Ersatz für Blutplasma, Tablettierhilfsmittel), die Textilveredelung (Oberflächenschutz) und die Baustoffherstellung (Viskosität von Spritzguss, Festigkeit von Zementgemischen). Neben diesen etablierten Anwendungen der Stärke erschließen wir am Fraunhofer IAP neue Märkte durch chemische Modifizierung der Stärke. Erreicht man die Verträglichkeit von Stärke mit hydrophoben organischen

Substanzen, vergrößert sich der Markt als Bindemittel erheblich.

Darüber hinaus entwickeln wir Stärkemonifizierungen für neue Werkstoffe. Folien, Spritzguss, Chips oder Schaumstoffe als Verpackungsmaterial aus bioabbaubaren Rohstoffen sind sehr gefragt, sobald sie zu marktüblichen Preisen hergestellt werden können. Beispielsweise versuchen wir bioabbaubaren Polyester mit Stärke zu verblenden. Dies könnte den Preis für Biokunststoffe senken. In einem Verbund »Modifizierte Stärke«, unterstützt durch Mittel der öffentlichen Hand und der Industrie, verstärken wir unsere Forschungsaktivitäten mit anderen universitären Gruppen und erarbeiten so ein grundlagengestütztes Know how für die Stärkeverarbeitung.

### *Stärkedispersionen für lösungsmittelfreie Bindemittel*

Mit Hilfe hydrophober Stärken lassen sich Dispersionen herstellen, die über Monate stabil bleiben ohne zu sedimentieren oder zu aggregieren. Mit Hilfe unserer führenden Analysetechnik konnten wir zahlreiche Zusammenhänge zwischen der Struktur - sowohl im Korn und Lösung wie auch der Stärkederivate - und den Anwendungseigenschaften nachweisen. Um das Fließverhalten von Stärkelösungen gezielt einzustellen, wurden vor allem die Partikelgröße, die Partikelgrößenverteilung und das Quellverhalten von Stärke in Wasser untersucht. Auf der Basis dieser Untersuchungen lassen sich beispielsweise Dispersionskleber für Teppichböden entwickeln, die sowohl homogen als auch alterungsstabil sind.



Aufarbeitung von Stärkederivaten.

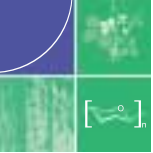


Folien aus modifizierter Stärke.



Lichtmikroskopische Aufnahme von Stärkekörnern.





## Cellulosefasern nach dem Carbamatverfahren

### Stärkewandlung durch Enzyme

Die meiste Stärke besteht zum großen Teil aus dem verzweigten Amylopektin und zu einem geringeren Grad aus linearer Amylose. Für Materialanforderungen wie die Folienverarbeitung ist allerdings hochamylose Stärke vorteilhaft. Ein Forschungsprojekt befasst sich mit der Entzweigung von Amylopektin zu niedermolekularen Einheiten. Amylose lässt sich aus diesem Gemisch leichter gewinnen. Dieses Verfahren ist optimiert für den Technikkonsummaßstab. So können Mengen im Kilogramm-Bereich hergestellt werden. Die entsprechenden Verfahren können sofort für die industrielle Nutzung angepasst werden.

### Stärke macht Waschmittel umweltfreundlicher

Der Einsatz von Phosphaten als Wasserenthärter wird seit langer Zeit kritisiert. Die Industrie hat daraufhin weitgehend Acrylate eingesetzt. Bioabbaubare Stärke wäre diesen synthetischen Polymeren überlegen, wenn auch das Kalziumbindevermögen groß genug ist. Ein aktuelles Forschungsprojekt untersucht den Einsatz von Stärke in der Waschmittelindustrie.

### Folien aus Stärke

Trotz der technischen Schwierigkeiten bei der Materialverarbeitung von Stärke besteht ein großes industrielles Interesse an Folien aus Stärke. Ein Verbundprojekt mit der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung erarbeitet neue Konzepte für die Lebensmittelverpackung aus Stärke als Ersatz für PET. Dazu sind folgende Materialeigenschaften gewünscht

- wasserabweisend
- Wärmestabilität für die thermoplastische Verarbeitbarkeit
- geringe Sprödigkeit um Weichmacher im Lebensmittelsektor zu vermeiden
- sehr gute Löslichkeit
- möglichst gasdurchlässig

Fettsäurederivate mit einem erhöhten Derivatisierungsgrad verbessern die Hydrophobierung. Dies treibt leider schnell die Kosten in die Höhe. Einen Ausweg bieten Blends, bei denen ein kleiner Teil höher substituierter Stärke mit einem preiswerten Grundmaterial aus nativer Stärke gemischt wird. Wir verbessern die Folieneigenschaften sowohl durch gezielte chemische Veränderung als auch durch die Anpassung der technischen Verarbeitung in Knetern und Extrudern.



Bild 1 Elektronenmikroskopische Querschnittsaufnahmen unterschiedlicher Cellulosefasertypen (oben Viscose, mitte Carbocell, unten Lyocell).



## Das Carbamatverfahren - eine Alternative zum Viskose-Prozess

Celluloseregeneratfasern werden weltweit noch ganz überwiegend nach dem Viskoseverfahren hergestellt. Diese Technologie bringt auf der einen Seite hervorragende Produkte hervor (Viskose, Modalfasern, Reifencord), ist aber andererseits technisch aufwendig und mit Umweltbelastungen ( $\text{CS}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , Schwermetalle) verbunden, die heute nicht mehr akzeptabel sind. Zur Lösung dieses Problems bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Umweltschutzinvestitionen (Viskoseverfahren)
- umweltverträgliche Derivatverfahren (Carbamatverfahren)
- umweltverträgliche Direktlöseverfahren (Lyocellverfahren)

Gemeinsam mit der Zimmer AG und dem Institut für Chemiefasern, Denkendorf hat das Fraunhofer IAP das Carbamatverfahren weiterentwickelt und speziell Voraussetzungen für das Upscaling des patentierten Carbacell<sup>®</sup>-Verfahrens in den industriellen Maßstab erarbeitet.

### Carbacell<sup>®</sup>-Prozessstufen

Die einzelnen Stufen der Carbamat-technologie sind in [1] ausführlich dargestellt. Chemiezellstoff und Harnstoff sind die Ausgangsmaterialien. Der Prozess beginnt mit einer Alkalisierstufe, wobei Zellstoff in Natronlauge getaucht und »abgereift« wird. Die chemische Umsetzung der aktivierten Cellulose mit Harnstoff erfolgt in einem inerten Lösungsmittel (Xylo). Das so erzeugte Cellulose-carbamat wird in der nächsten Stufe

in verdünnter Natronlauge gelöst, die Lösung wird entgast und gefiltert. Diese Spinnlösung wird in einem Nassspinnprozess zu Filamentgarnen oder Stapelfasern verarbeitet. Wesentliche Fortschritte wurden im Jahr 2000 im Synthesebereich erreicht, wobei im Technikumsmaßstab die Synthesebedingungen unter anderem hinsichtlich Umsatz, Reaktionszeit und Temperatur, Substitutions- und Polymerisationsgrad optimiert wurden. Schwerpunkte der Spinnereientwicklung waren die Erhöhung der Spinn- geschwindigkeit auf 70 m/min sowie die Übertragung des Spinnprozesses in einen industriellen Maßstab (HKZ-Verfahren).

### Carbacell<sup>®</sup>-Faserqualitäten

Auch ein ökologisch vorteilhaftes Verfahren hat nur eine Chance, wenn hiermit marktgerechte Produkte hoher Qualität hergestellt werden können. Bild 1 zeigt REM-Bruchaufnahmen der unterschiedlichen Fasertypen. Die Carbacellfaser weist dabei eine homogene, glatte Bruchfläche auf. Durch eine veränderte Molekülorientierung konnte ein wesentlicher Nachteil der Lyocellfasern (Fibrillierneigung) hier überwunden werden. Das Eigenschaftsprofil der Carbacellfasern entspricht dabei weitgehend dem von Viskosefasern.

## Kontakt



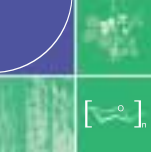
Dr. habil. Hans-Peter Fink  
Forschungsbereichsleiter  
Dr. Jürgen Gensrich  
Carbamatverfahren  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-18 15  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-38 15  
E-Mail fink@iap.fhg.de

## Kooperation

Zimmer AG, Frankfurt/M, mit Unterstützung von  
Bundesministerium für Bildung und Forschung,  
BEO-BMBF  
Institut für Chemiefasern ICF, Denkendorf

## Literatur

[1] M. Voges, M. Brück, H.-P. Fink, J. Gensrich  
»The Carbacell<sup>®</sup> Process-An Environmentally-  
friendly Alternative for Cellulosic Man-made  
Fibre Production«, Proceedings of the Akzo  
Nobel Man-made Fibre Seminar, Stenungsund  
13-15 June 2000



## Cellulosefasern in verstärkten Kunststoffen

### Naturfaserverstärkte Kunststoffe für den Fahrzeuginnenbau

Cellulosische Naturfasern (Holzfasern, Jute, Flachs, Hanf) werden heute bereits in beträchtlichem Umfang für Fahrzeuginnenbauteile mit geringen mechanischen Ansprüchen (wie Türverkleidungen, Hutablagen) verwendet. Für den Einsatz in höherbeanspruchten Bauteilen wie Instrumententrägern ergibt sich allerdings noch beträchtlicher Entwicklungsbedarf. Im Rahmen eines Verbundvorhabens wurden die Möglichkeiten des Einsatzes von cellulosischen Natur- und Regeneratfasern in höherbelasteten PUR- und PP-Kompositmaterialien untersucht. Im Fraunhofer IAP wurde dazu die Teilaufgabe »Cellulosische Verstärkungsfasern« bearbeitet, über deren Ergebnisse im folgenden berichtet wird.

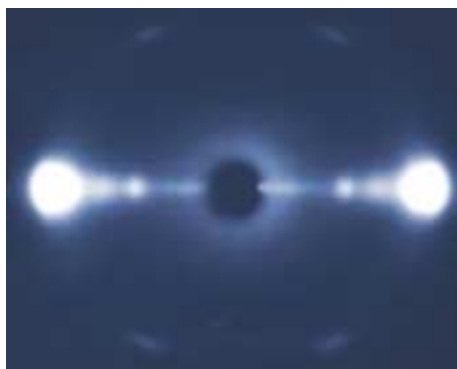
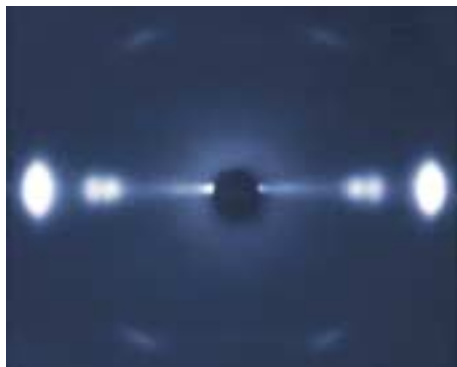


Bild 1 Röntgenbeugungsaufnahmen von Hanf (oben) und Cordenka (unten).



Bild 2 Bauteilmuster Armatureträger aus Newcell-PP-Granulat.

### Struktur und Eigenschaften von Natur- und Regeneratfasern

Die Eigenschaften von Natur- und Regeneratfasern werden wesentlich durch die übermolekulare Struktur und Morphologie bestimmt, die mittels Licht- und Elektronenmikroskopie umfassend untersucht wurde [1]. Weiterhin wurden mittels NMR-Spektroskopie und Röntgenbeugung die Phasenzusammensetzung, die Orientierung, Kristallinitäten und Kristallitgrößen als eigenschaftsbestimmende übermolekulare Strukturparameter ermittelt [2]. Während die Einzelfasereigenschaften durch die oben beschriebenen Strukturparameter bestimmt werden, hängen die Eigenschaften der technisch nutzbaren Naturfasern praktisch auch stark von den Verarbeitungsparametern ab, durch die die Reinheit, die Feinheit, die Faserlängen und damit die Garn-eigenschaften beeinflusst werden können. In die Strukturuntersuchungen einbezogen wurden technische Viskosegarne (Cordenka-Typen) und Lyocell-Filamentgarne (Newcell) der Firma Acordis. Von Bedeutung für die mechanischen Eigenschaften der Fasern ist dabei der Orientierungsgrad der Moleküle. Es wurde gefunden, dass die technischen Regeneratfasern bei anderer Kristallstruktur (Bild 1) einen ähnlich hohen Orientierungsgrad aufweisen wie die Bastfasern Flachs und Hanf [3]. In Tabelle 1 sind die mechanischen Eigenschaften von Hanfgarnen unterschiedlicher Lieferanten den Eigenschaften von Regeneratfasern gegenübergestellt. Als großer Vorteil von Cellulose-regeneratfasern gegenüber den Naturfasern sind deren einheitliche Qualität und überlegene Performance insbesondere für höher belastbare Fahrzeugteile zu berücksichtigen.

	Feinheit [tex]	Festigkeit [cN/tex]	Dehnung [%]	Zug-E-Modul [cN/tex]
<b>Naturfasern (Hanfgarn)</b>				
Hanf 5/1 (Rohemp)	205,3	12,93	3,80	518,0
Hanf 10/1 (Rohemp)	99,5	29,80	3,15	1148,0
Hanf 10/1 gebleicht (Rohemp)	75,8	17,65	1,95	1154,0
Hanf 10/1 (Hattorf)	93,6	17,29	2,77	767,4
Hanf 10/1 (Polen)	103,4	23,40	2,66	1253,0
Flachs F 4/1 (FA Schilgen)	262,2	14,73	2,49	870,1
<b>Regeneratfasern (Filamentgarn)</b>				
Cordenka 1	243,9	48,07	10,32	1332,0
Cordenka 2	250,2	43,81	10,67	1151,0
Newcell	98,6	34,31	6,53	2282,0

Tabelle 1 Mechanische Kennwerte unterschiedlicher Fasern

## Merцерisierung von Naturfasern

Effekte einer Mercerisierung auf die Struktur und Eigenschaften von Bastfasern wurde am Beispiel von Hanfgarn systematisch untersucht [2,3]. Hierzu wurden Abhängigkeiten von Einflussgrößen wie Laugenkonzentration, Temperatur, Zeit, Faser- vorbehandlungen und Fadenspannung ermittelt. Es wurde gezeigt, dass durch geeignete Wahl der Mercerisierparameter die Fasergrundeigenschaften (Festigkeit, Zugmodul, Bruchdehnung) in weiten Bereichen variierbar sind, wobei insbesondere unter entsprechenden Bedingungen eine Steigerung des Zug-E-Moduls nachgewiesen werden konnte. Ebenfalls durch die Mercerisierung verändert wird die Oberflächenstruktur der Fasern (Cellulosefibrillen werden freigelegt), was zu einer verbesserten Faser-Matrix-Haftung führen kann. Deutlich stärker als auf die gemessenen Fasereigenschaften wirkt sich die Mercerisierung auf die statischen und dynamischen Kennwerte eines unidirektionalen Epoxidharz-Prüfverbundes aus, wobei eine Verdopplung des Biegemoduls und ein deutlich verbessertes Ermüdungsverhalten des Prüfverbundes mit mercerisierten Fasern beim Kooperationspartner an der Universität Kassel gefunden wurde [4].

### *Natur- und Regeneratfasern in Fahrzeuginnenbauteilen*

Unter Berücksichtigung der Laboruntersuchungen erfolgten ausgewählte Mercerisierexperimente im Technikumsmaßstab mit produktionsgerechten Mischfaser- und Flachsfasermatten, die für die Herstellung von Bauteilmustern und Prüfplatten aus Naturfaser-Polyurethan-Verbunden beim Industrie-

partner Johnson Controls Interiors (JCI), Grefrath eingesetzt wurden. Die Prüfergebnisse des Industriepartners zeigen, dass der Einsatz der mercerisierten Fasermatten für Verbunde aus Mischfasermatten und PUR (ungeschäumt) im Vergleich zu den unbehandelten Fasern zu einer deutlichen Steigerung der mechanischen Eigenschaften der Verbunde (beispielsweise Biegefestigkeit max. + 80 %, Schlagzähigkeit max. + 50 %) sowie zu einer deutlich verringerten Wasseraufnahme (-30 %) bei gleichzeitig erhöhter Dichte (max. +45 %) der Verbunde führt. Die Eignung von Cellulose regeneratfasern des Lyocell-Typs (Newcell) als Verstärkungsfaser wurde anhand von Newcell-PP-Verbundmaterialien getestet. Hierzu wurde im Fraunhofer IAP aus Newcell-Garn mittels Pultrusionstechnik Newcell-PP-Granulat hergestellt, aus dem beim Industriepartner JCI Prüfplatten und Bauteilmuster (Armaturenträger) gefertigt wurden (Bild 2). Ein Vergleich der mechanischen Eigenschaften der Newcell-PP-Verbunde mit entsprechenden Naturfaser (Hanf, Flachs)-PP-Verbundmaterialien zeigt dabei, dass insbesondere hinsichtlich der Schlagzähigkeit der Einsatz von Regeneratfasern von Vorteil ist, wobei eine bis zu 100 % höhere Schlagzähigkeit gegenüber den naturfaserverstärkten Werkstoffen gemessen wurde. Aus den insgesamt mit technischen Cellulose regeneratfasern erzielten Ergebnissen wird deutlich, dass technische Regeneratfasern auf Grund der Qualitätskonstanz und der erzielbaren Eigenschaften von Verbundmaterialien den Naturfasern deutlich überlegen sind und von daher als Substitut für Glasfasern in höher beanspruchten Fahrzeuginnenbauteilen sehr geeignet erscheinen.

## Kontakt



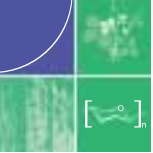
**Dr. habil. Hans-Peter Fink**  
Forschungsbereichsleiter  
Dr. Manfred Pinnow  
Dr. Peter Weigel  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-18 15  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-38 15  
E-Mail fink@iap.fhg.de

## Förderung

Universität Kassel  
Johnson Controls Interiors, Grefrath, und  
Acordis, Obernburg

## Literatur

- [1] H.J. Purz, H.-P. Fink, H. Graf: »Zur Struktur cellulosischer Naturfasern, Teil 1: Struktur von Bastfasern und deren Veränderungen infolge Beuche und Mercerisierung mittels Licht- und Elektronenmikroskopie«  
Das Papier, 52 (1998) 315-324  
[2] H.-P. Fink, E. Walenta, J. Kunze: »Zur Struktur cellulosischer Naturfasern. Teil 2. Übermolekulare Struktur von Bastfasern und deren Veränderung infolge Mercerisierung mittels Röntgenbeugung und <sup>13</sup>C-NMR-Spektroskopie«  
Das Papier 53 (1999) 534-542  
[3] H.-P. Fink, M. Pinnow, P. Jaeckel: Abschlussbericht zum Teilvorhaben »Cellulosische Verstärkungsfasern«  
FNR-Förderprojekt 97NR050-F, Dez. 2000  
[4] A.K. Bledzki, J. Gassan, H.-P. Fink, R. Kleinholz: »Die Morphologie von Flachs und Hanffasern und deren Auswirkungen auf Verbundkennwerte«, Vortrag, Tagung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Hamburg, 5.-7. Okt. 1999



# Verarbeitung neuer Zellstoffe



Bild 1 TEM-Oberflächenabdruck eines Eukalyptuszellstoffes, hergestellt nach dem MILOX-Verfahren.

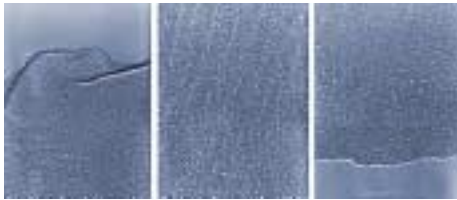


Bild 2 TEM-Querschnittsaufnahme einer Blasfolie aus einem Espenzellstoff, hergestellt nach dem MILOX-Verfahren.

## Vergleich von Zellstoffgewinnungsverfahren

Das Ziel des EU-Projektes FAIR 98-3855 war die Untersuchung der Möglichkeiten der neuen Zellstoffgewinnungsverfahren ACETOSOLV, FORMACELL und MILOX im Vergleich zum herkömmlichen SULFIT-Verfahren. Zellstoffe wurden nach diesen Verfahren aus den Holzarten Buche, Espe und Eukalyptus gewonnen. Die Eignung dieser Zellstoffe zur Herstellung von Fasern und Folien nach dem Viskose- und NMMO-Prozess (NMMO: N-Methylmorpholin-N-Oxid) war ein weiterer Schwerpunkt. Unsere Aufgabe bestand in der Strukturcharakterisierung der von den anderen Partnern bereitgestellten Zellstoffen, der Löslichkeitsuntersuchung in NMMO-Monohydrat sowie der Herstellung von Fasern und Folien nach dem NMMO-Verfahren. An den so hergestellten Fasern und Folien wurden ebenso wie an den von der Lenzing-Gruppe hergestellten Viskose-Fasern Strukturen und mechanische Eigenschaften ermittelt.

Aufschlussverfahren	$O_{sp}$ [ $m^2/cm^3$ ]
FORMACELL	1,1 – 2,1
SULFIT	1,8 – 2,4
MILOX	3,8 – 4,6
ACETOSOLV	3,4 – 3,5

Tabelle 1 Spezifische innere Oberfläche von Espenzellstoffen

Typ	Dicke [ $\mu m$ ]	Festigkeit [MPa]	Dehnung [%]	Modul [GPa]
SULFIT	16	122	4.1	8.4
FORMACELL	14	131	4.5	8.5
MILOX	15	201	7.8	10.9
ACETOSOLV	15	132	2.7	10.1

Tabelle 2 Mechanische Eigenschaften von Blasfolien, hergestellt aus unterschiedlichen Espenzellstoffen

## Struktur neuer Zellstoffe

Die übermolekulare Struktur der unterschiedlichen Zellstoffe wurde durch  $^{13}C$ -CP/MAS-NMR-Spektroskopie, Röntgenbeugung (WAXS, SAXS) und Elektronenmikroskopie (TEM) untersucht. Die TEM-Oberflächenabdrucktechnik ermöglichte den Nachweis der durch den Aufschluss- und Bleichprozess freigelegten Zellwandschichten (»primary wall«, »secondary wall S1, S2«). Abhängig von Holztyp und Aufschlussverfahren sind Unterschiede in der freigelegten Zellwandstruktur zu beobachten (Bild 1). NMR- und WAXS-Untersuchungen belegen eine Zunahme der übermolekularen Ordnung durch die Zellstoffbleiche. Der Ordnungsgrad verändert sich bei Eukalyptuszellstoff in Abhängigkeit vom Aufschlussverfahren in der Reihenfolge SULFIT > MILOX > FORMACELL > ACETOSOLV, bei Espenzellstoff in der Reihenfolge SULFIT > MILOX > FORMACELL, ACETOSOLV (Bild 3). Im Vergleich mit kommerziellen Zellstoffen (Rayonier, Bacell, Buckeye), die alle eine sehr ähnliche Porenstruktur zeigen, variiert die Porenstruktur der alternativen Zellstoffe in stärkerem Maße. In Tabelle 1 sind für verschiedene Espenzellstoffe der Variationsbereich der spezifischen inneren Oberfläche, ermittelt aus SAXS-Messungen, zusammengestellt. Espenzellstoff reagierte bezüglich der Porenstruktur am empfindlichsten auf unterschiedliche Prozessparameter.

## Fasern und Folien aus alternativen Zellstoffen

Die unterschiedlichen Zellstoffe wurden auf ihre Einsatzmöglichkeiten für die Produktion von Fasern und Blasfolien nach dem NMMO-Prozess untersucht. Generell kann festgestellt werden, dass die Verarbeitbarkeit in allen Fällen gewährleistet ist.

Unterschiede in der Struktur der Zellstoffe wirken sich wesentlich weniger sensibel als beim Einsatz in Derivatisierungsverfahren aus. Die erreichbaren Eigenschaften sind weitgehend identisch mit denen »klassischer« Zellstoffe (Tabelle 2).

Unterschiede bestehen beispielsweise in der Orientierbarkeit der Moleküle bei verschiedenen Zellstoffen. Besonders deutlich wird dieses Verhalten bei der Herstellung von Blasfolien, wo beispielsweise die Scherung im Düsenkanal verfahrensbedingt nicht hoch ist. Eine Optimierung des jeweiligen Verarbeitungsverfahrens für den Zellstoff ist aber in jedem Fall notwendig. Die Strukturcharakterisierung der Fasern und Folien erfolgte mit WAXS, SAXS, Doppelbrechung und TEM, dabei wurde die übermolekulare Struktur, Orientierung, Porenstruktur und Morphologie bestimmt. Bild 2 zeigt die TEM-Aufnahme eines typischen Querschnittes einer Blasfolie. Allgemein bestätigen diese Untersuchungen die relative Unempfindlichkeit des NMMO-Verfahrens auf die Auswahl des Zellstoffes.

Kristallinitätsgrad [%]

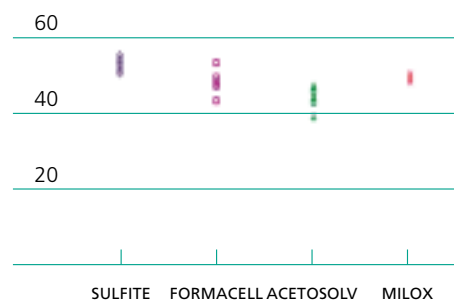


Bild 3 Kristallinitätsgrad unterschiedlicher Espenzellstoffe.

## Kontakt



Dr. Peter Weigel  
Abteilungsleiter Processing  
Dr. habil. Hans-Peter Fink  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-17 07  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-37 07  
E-Mail [weigel@iap.fhg.de](mailto:weigel@iap.fhg.de)

## Förderung

EU-Projekt FAIR, Förderkennzahl 98-385

## Kooperation

Bundesanstalt für Holzforschung Hamburg  
Lenzing AG, Österreich  
Universität Vigo, Spanien



## Modifizierte Stärke für neue Einsatzmöglichkeiten

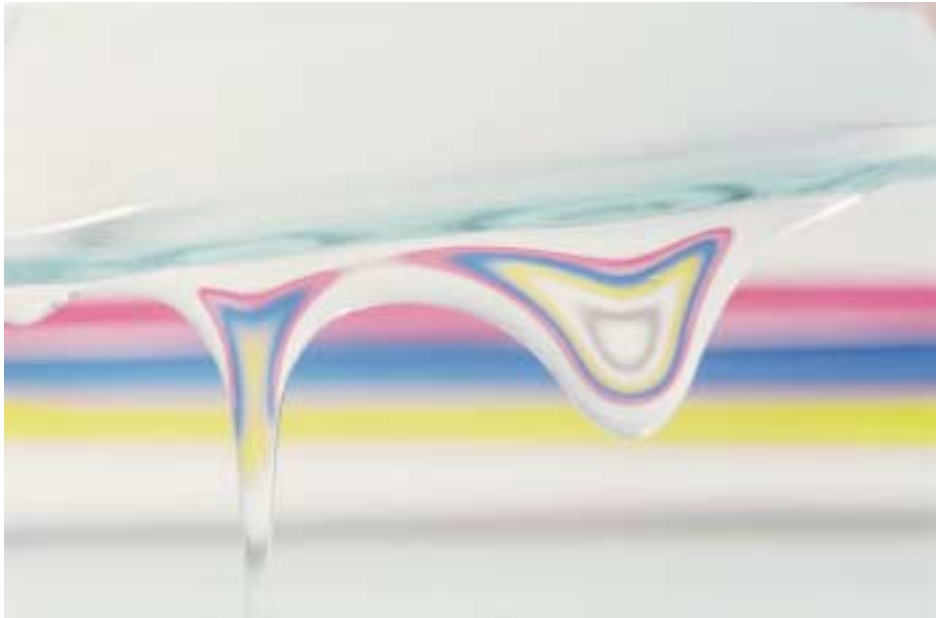


Bild 1 Klarlösliche 2 %ige Carboxymethylstärke-Lösung.

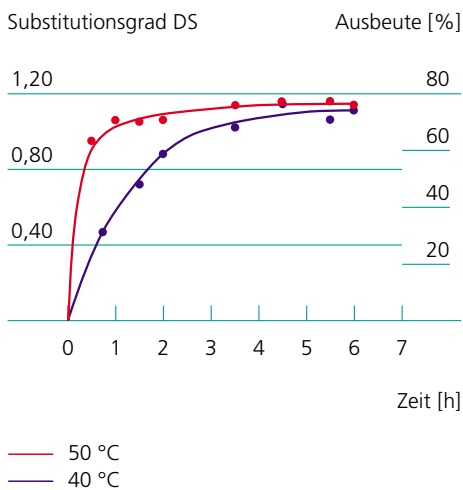


Bild 2 Umsetzung von Wachsmaisstärke.

### Hochsubstituierte carboxylgruppenhaltige Stärkederivate

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von hochsubstituierten carboxylgruppenhaltigen Stärkederivaten mit einem mittleren Substitutionsgrad DS größer als 0,5. Durch den Einsatz von unterschiedlichen Stärkearten und verschiedener Synthesebedingungen sollen die Produkteigenschaften optimiert und neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen werden. Die bei der systematischen Durchführung der Synthesen gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für ein technisch umsetzbares Derivatisierungsverfahren. Die Produkte sollen in Wasser klarlöslich sein, hohe Lösegeschwindigkeiten aufweisen, einstellbare Viskositäten besitzen, im Bereich pH 4-12 stabil sein, sowie eine hohe Reinheit (> 99,5 %) und einen sehr geringen Schwermetallgehalt (< 0,1 %) besitzen.

Möglicherweise kann die hochsubstituierte Carboxymethylstärke (CMS) eine Ergänzung zur Carboxymethylcellulose darstellen, die unter anderem ihren Einsatz in der Baustoff- und Lebensmittelindustrie sowie der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie als Binde-, Verdickungs- und Suspendiermittel oder als Schutzkolloid findet.

## Die richtige Synthesestrategie

Die Herstellung von Carboxymethylstärke erfolgt über die seit 1850 bekannte Williamson-Ethersynthese. Aufbauend auf diesem Prinzip werden verschiedene Stärkearten in unterschiedlichen organischen Dispersionsmedien mit der Monochloressigsäure sowie deren Natriumsalz verethert. Zusätzlich werden auch andere Chlorcarbonsäurederivate wie beispielsweise der Chlormalonsäuredimethylester eingesetzt.

Bisher wird CMS in großtechnischem Maßstab mit Substitutionsgraden bis maximal 0,5 hergestellt. Ein entscheidender Faktor für die Reaktion ist der Wassergehalt im System. Es wird eine gewisse Menge an Wasser benötigt, um die Stärkekörner aufzuquellen und sie somit überhaupt für die Reaktion zugänglich zu machen. Andererseits findet in Gegenwart von Wasser bei erhöhten Temperaturen als Nebenreaktion eine Hydrolyse der Monochloressigsäure statt, wodurch die Reagenzausbeute verringert wird. Außerdem kommt es bei zu viel Wasser im System während der Reaktion zum Zusammenklumpen der Stärke. Die maximal vom System akzeptierte Wassermenge ist ihrerseits wiederum von verschiedenen Faktoren abhängig, wie Stärkeart, Stoffdichte, Temperatur und andere Parameter.

## Wachsmaisstärke liefert viskoelastische Produkte

Unter Variation der Reaktionsbedingungen und unter dem Gesichtspunkt der technischen Umsetzung wurde zunächst im Labormaßstab ein Eintopfverfahren zur Herstellung von hochsubstituierter Carboxymethylstärke erarbeitet. Die Substitutionsgrade der hergestellten Produkte liegen im Bereich 0,5 bis 1,5, bei Reagenzausbeuten um 80 %, wobei die bevorzugten Reaktionstemperaturen zwischen 40 und 60 °C eingestellt wurden (Bild 2).

Alle hergestellten Derivate wurden mit Standardmethoden durch Bestimmung des Substitutionsgrades (Titration der Carboxylgruppen, Natriumbestimmung mittels ICP-OES und teilweise <sup>13</sup>C-NMR-Spektroskopie), des Trockengehaltes (Absoluttrockner), der Löslichkeit, des Restsalzgehaltes (Chloridbestimmung durch Titration) und der Viskosität einer 2 %igen Lösung charakterisiert.

Die Produkte auf Basis von Wachsmaisstärke ergaben klare 2 %ige wässrige Lösungen (Bild 1). Die Scherviskositäten konnten bei einer Scherrate von 2,55 s<sup>-1</sup> auf bis zu 20000 mPas eingestellt werden.

Rheologische Untersuchungen zeigten für alle Proben viskoelastische Eigenschaften. Die Messungen zur inneren Struktur ergaben hohe Gelanteile. Erste Untersuchungen mit dem Chlormalonsäuredimethylester als Veretherungsmittel ergaben DS-Werte im Bereich 0,4 - 1.

## Kontakt



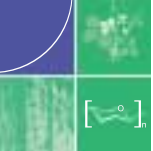
Dr. Bert Volkert  
Dr. Fritz Loth  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-15 16  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-26 16  
E-Mail volkert@iap.fhg.de

## Förderung

Bundesministerium für Verbraucherschutz,  
Ernährung und Landwirtschaft BMVEL  
Fachagentur Wachsende Rohstoffe e.V.  
(Förderkennzahl 97NR 152)

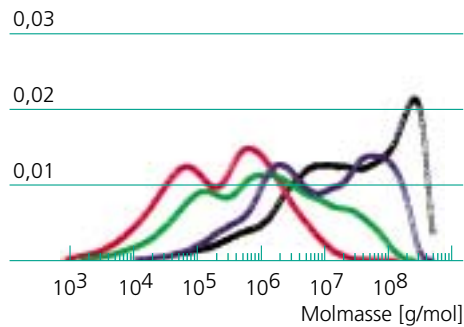
## Kooperation

CHP Carbohydrate Pirna GmbH & Co. KG  
Cognis Deutschland GmbH  
Wolff Cellulosics GmbH & Co. KG



# Wasserlösliche Stärkederivate für Overheadfolien

Differentielle Masse



Probenname	Mittlere Molmasse [10 <sup>6</sup> g/mol]
KH13	80.09
F5731	1.17
F5732	8.03
F5733	34.50

Bild 1 Verteilung der Molmassen ausgewählter HP-Kartoffelstärken.

Probe	Zugfestigkeit [MPa]	Max. Dehnung [%]
KH13	46,4	3,1
F5731	51,2	3,7
F5732	44,1	3,4

Tabelle 1 Mechanische Eigenschaften von Folien aus HP-Kartoffelstärken

## Hydroxypropylierung von Stärke für die Entwicklung klar-transparenter Gießfolie

Durch Hydroxypropylierung von Stärke werden wasserlösliche Produkte entwickelt, aus denen klar-transparente Gießfolien hergestellt werden können. Die erhaltenen Folien sollen optisch klar sein, eine mechanische Zugfestigkeit von mehr als 30 MPa aufweisen und in der Handhabung eine ausreichende Flexibilität besitzen. Durch Zusammenarbeit des Fraunhofer IAP und der Universität Hamburg mit der Emsland-Stärke GmbH und der Gesellschaft für Spezialfolien-Entwicklung mbH werden Zusammenhänge zwischen angewandten Verfahrensbedingungen der Hydroxypropylierung und der resultierenden Molmassenverteilung der Hydroxypropyl (HP)-Stärke, dem Substitutionsgrad, dem Fließverhalten der Gießlösung sowie den mechanischen Eigenschaften der Folien erstellt.

## Physiko-chemische Charakterisierung

In der Emsland-Stärke GmbH werden Verfahrensvariationen zur Hydroxypropylierung verschiedener Stärkearten durchgeführt. Es kommt sowohl das Slurry- als auch das Autoklav-Verfahren in Kombination mit Extrusion und hydrolytischem Abbau zur Anwendung. Die physiko-chemische Charakterisierung der Produkte umfasst die Untersuchung des Löslichkeitsverhaltens in Wasser bei 95 °C, die Ermittlung der Molmassenverteilung in Dimethylsulfoxid (DMSO) und in Wasser sowie die Erarbeitung der Bedingungen für die Feld-Fluss-Fraktionierung zur Bestimmung des Partikelanteils in wässrigen Lösungen. Die Gießlösungen werden unter definierten Bedingungen hergestellt und rheologisch charakterisiert, indem das Fließverhalten sowie Speicher- und Verlustmodul in Abhängigkeit von der Frequenz untersucht werden. Zusätzlich wird durch Anwendung der molekularen Charakterisierungsmethoden der Lösungszustand der Gießlösung eingeschätzt. Die Gesellschaft für Spezialfolien-Entwicklung mbH erarbeitet die Verfahrensbedingungen für die großtechnische Herstellung der Gießfolien. Die Prüfung der mechanischen Festigkeit erfolgt durch den Zugversuch am Fraunhofer IAP.

## Folien mit gewünschter Zugfestigkeit

Die untersuchten Produkte mit einem Substituierungsgrad (DS) von 0,1 weisen mittlere Mol- bzw. Partikelmassen im Bereich von etwa 1 bis 100 Mio. g/mol auf. In Bild 1 sind die Molmassenverteilungen einiger Hydroxypropyl-Kartoffelstärken dargestellt. Die angewandten Verfahrensbedingungen zur Hydroxypropylierung von Kartoffelstärke erreichten die gewünschte Abstufung in der molekularen Zusammensetzung. Auf Plexiglas-Platten bildeten diese Proben ohne Weichmacherzusatz in einer Konzentration von 5 - 15 % für das Muster KH 13 und 20 - 35 % für die Muster F5731 - F5733 klar-transparente Folien, erstaunlicher Weise auch die relativ niedermolekulare Probe F5731 mit einer mittleren Molmasse  $M_w$  von nur 1 Mio. g/mol. In Tabelle 1 sind die mechanischen Eigenschaften ausgewählter Proben dargestellt. Die Werte für die mechanische Zugfestigkeit liegen zwischen 44 und 52 MPa. Die Anwendung der Extrusion oder Hydrolyse im Anschluss an das Slurry-Verfahren führte zu einer Erniedrigung der mittleren Molmasse und damit zu einer Verbesserung des Löslichkeitsverhaltens bei Temperaturen unter 100 °C. Als Auswirkung dessen war der Anteil von Aggregaten vermindert und die Viskosität der Gießlösung niedriger. Die höchsten Zugfestigkeiten wurden von hydrolysierten Substanzen aus dem Slurry-Verfahren erhalten. In der Folienherstellung haben folgende Parameter einen maßgeblichen Einfluss: die Löslichkeit der HP-Stärke, der DS-Wert und die Substituentenverteilung von HP-Stärken, die mittlere Molmasse der Hydroxypropylstärke, der Anteil

von Partikeln mit Molmassen größer als  $10^8$  g/mol, die Viskosität der Gießlösung sowie ihr Salzgehalt. In der Fortführung des Projektes werden ausgewählte HP-Stärken für die Folienherstellung unter technologischen Verfahrensbedingungen getestet. Das Slurry-Verfahren wird hinsichtlich des DS-Wertes, des Salzgehaltes im Endprodukt und der Molmassenverteilung optimiert.

## Kontakt



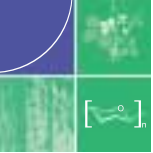
**Dr. Waltraud Vorweg**  
Abteilungsleiterin  
Stärke/Molekulare Eigenschaften  
Dr. Silvia Radosta  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-16 09  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: vorweg@iap.fhg.de

## Förderung

Bundesministerium für Verbraucherschutz,  
Ernährung und Landwirtschaft BMVEL  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

## Kooperation

Universität Hamburg  
Emsland-Stärke GmbH  
Gesellschaft für Spezialfolien-Entwicklung mbH



# Derivatisierung von Stärke

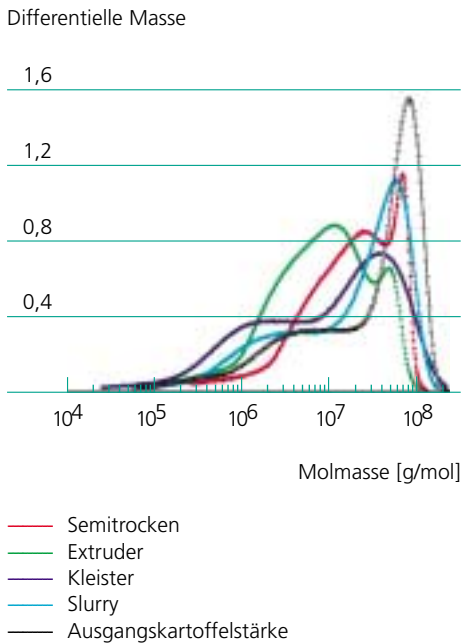


Bild 1 Molmassenverteilungen von kationischen Kartoffelstärkederivaten bei verschiedenen Kationisierungs-Verfahren.

## Derivatisierungsverfahren

Das aktuelle Gebiet der Modifizierung von Stärke umfasst die strukturelle Veränderung durch enzymatische, saure oder oxidative Hydrolyse als auch die chemische Derivatisierung, wobei die Substitutionsgrade in der Regel sehr gering sind.

Die wichtigsten großtechnisch relevanten Methoden zur Herstellung von Derivaten sind Umsetzungen im wässrigen Medium. Beim Slurry-Verfahren bleiben entweder die Stärkekörner oder Stärkekornreststrukturen bei der durchzuführenden Reaktion in wässriger Suspension erhalten. Beim Kleister-Verfahren dagegen liegt die Stärke in der Reaktionsmischung homogen aufgeschlossen als Kleister vor. Die Produkte aus beiden Verfahren werden üblicherweise getrocknet, bevor sie zum Anwender gelangen.

Neben diesen allgemeinen Methoden kann speziell die Kationisierung von Stärke nach zwei weiteren Verfahren erfolgen. Bei dem Semitrocken-Verfahren wird die Stärke mit Reagens besprüht und thermisch behandelt. Als weitere Methode kann die Umsetzung der Stärke mit dem Reagens im Extruder nach dem Extruder-Verfahren erfolgen. Die so erhaltenen Produkte aus beiden Verfahren sind ohne weitere Aufarbeitung direkt einsetzbar. Obwohl nach allen vier Verfahrensvarianten Derivate mit vergleichbaren Substitutionsgraden hergestellt werden können, sind die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Derivate und damit ihr Anwendungspotential sehr unterschiedlich.

Innerhalb des Projektes »Gewinnung und umfassende Charakterisierung von Stärkepolysacchariden und Derivaten in Abhängigkeit vom Herstellungs-

verfahren« (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft BMVEL) wurden durch die Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurth kationische Modell-derivate nach den oben angeführten Verfahren im kleintechnischen Maßstab hergestellt. Für jedes Verfahren wurden jeweils Muster mit drei abgestuften Substitutionsgraden (DS) produziert. Diese Derivate wurden physikalisch-chemisch charakterisiert und stehen für Anwendungstests bereit.

## Eigenschaften von kationischen Kartoffelstärkederivaten aus verschiedenen Verfahren:

### Stärkekornstruktur

Die Stärkekornstruktur bestimmt im wesentlichen das Quell- und Löslichkeitsverhalten. Beim Slurry-Verfahren bleibt die Stärkekornstruktur erhalten, das mikroskopische Bild der Stärkekörner und die Kristallstruktur zeigen nur minimale Veränderungen. Beim Kleister- und beim Extruder-Verfahren wird die Stärkekornstruktur vollständig zerstört. Das Semitrocken-Verfahren nimmt eine Zwischenstellung ein, während beim niedrigsten Substitutionsgrad DS von 0,03 nur geringe Veränderungen der Stärkekornstruktur beobachtet wurden, war diese bei einem DS von 0,10 weitestgehend zerstört.

### Quellungstemperatur und -enthalpie

Die Quellungstemperatur wird neben der Stärkeart wesentlich durch die Stärkekornstruktur beeinflusst. Wurde die Stärkekornstruktur zerstört, so kann keine Quellung mehr beobachtet werden, wie es für die Muster aus dem Kleister- und dem Extruder-Verfahren der Fall ist. Die Quellungstemperaturen



der Muster aus dem Slurry- und dem Semitrocken-Verfahren sind gegenüber der Ausgangskartoffelstärke etwas niedriger, wobei mit zunehmendem DS nur eine geringe Abnahme erfolgt. Die Quellungsenthalpie nimmt dagegen deutlich mit zunehmendem DS ab und ist für das Semitrocken-Verfahren kleiner, als für das Slurry-Verfahren.

### Löslichkeit

Unter Löslichkeit wird die für technische Anwendungen relevante, optisch wahrnehmbare Auflösung in Wasser verstanden, ohne den Lösungszustand genauer zu charakterisieren. Die Proben aus dem Kleister- und dem Extruder-Verfahren sind aufgrund der zerstörten Stärkekornstruktur bereits kaltwasserlöslich. Die Muster aus dem Semitrocken-Verfahren zeigen mit zunehmendem DS und mit steigender Temperatur zunehmende Löslichkeit. Die Muster aus dem Slurry-Verfahren besitzen noch die typischen Stärkekorneigenschaften, das heißt sie sind kaltwasserunlöslich, quellen bei zunehmender Temperatur und sind schließlich bei 95 °C löslich.

### Molmasse

Wenn durch die Derivatisierung die Stärkekornstruktur verändert wird, kommt es zu einer Veränderung der Molmasse der Proben. Gegenüber der Ausgangskartoffelstärke, die eine mittlere Molmasse von etwa  $48 \cdot 10^6$  g/mol hat, erfahren alle Muster einen molekularen Abbau. Am geringsten ist der molekulare Abbau bei den Mustern aus dem Slurry- und dem Semitrocken-Verfahren ausgeprägt. Hier wurden Molmassen von etwa  $30 \cdot 10^6$  g/mol eingestellt. Nach dem Kleister-Verfahren liegen die mittleren Molmassen bei  $20 \cdot 10^6$  g/mol, und

bei den extrudierten Mustern wurden Molmassen zwischen 7 und  $10 \cdot 10^6$  g/mol erhalten (Bild 1). Durch die eingestellte Molmasse werden die für die Anwendung wichtigen Eigenschaften Löslichkeit und Viskosität beeinflusst.

### Substituentenverteilung

Neben dem eingestellten DS werden die Eigenschaften der Derivate auch durch die Substituentenverteilung bestimmt. Es werden Untersuchungen zur Verteilung der Substituenten innerhalb des Glucoseringes und entlang der Polymerkette (Frau Prof. Petra Mischnick, TU Braunschweig), in Abhängigkeit von der Molmasse, über Amylose und Amylopektin, zwischen kristallinen und amorphen Bereichen sowie in Abhängigkeit von der Löslichkeit durchgeführt. Aus diesen bisher noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen lassen sich bereits einige Aussagen ableiten. Bei der Verteilung der Substituenten innerhalb des Glucoseringes zeigte sich die bekannte hohe 2-O-Selektivität, welche jedoch für die verschiedenen Verfahren unterschiedlich ausgeprägt war. Die Substituentenverteilung scheint bei den unter Wasserüberschuss durchgeführten Kleister- und Slurry-Verfahren insgesamt homogener auszufallen als bei den relativ trocken arbeitenden Extruder- und Semitrocken-Verfahren.

### Kontakt



Dr. Sylvia Radosta  
Dr. Waltraud Vorweg  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-16 08  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: radosta@iap.fhg.de

### Förderung

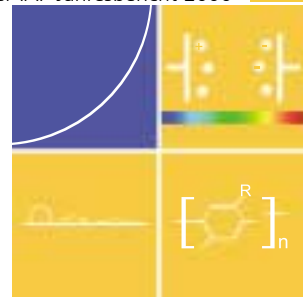
Bundesministerium für Verbraucherschutz,  
Ernährung und Landwirtschaft, BMVEL  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.  
Förderkennzahl 97NR153

### Kooperation

Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurth

# Funktionale Polymersysteme





1. Das Institut
2. Kooperationen
3. Native Polymere

## 4. Funktionale Polymersysteme

Polymere Bauelemente

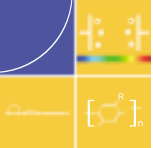
Funktionalisierung von Polymeroberflächen

Oberflächenaktivierung bei Atmosphärendruck

Kraftsensoren für mechanische Hochdruckpressen

Polymermaterialien für die Displaytechnik

5. Synthese- und Polymertechnik
6. Wasserbasierende Polymersysteme
7. Namen, Daten, Ereignisse



## Polymere Bauelemente



Laseranregung eines Polymermaterials.



Präparation von Leuchtdioden im Reinraum.



Organische Leuchtdioden in der Glovebox.



Sieben-Segmentanzeige auf Polymerbasis.

### Optische und elektrische Bauelemente

Den Nobelpreis für Chemie im Jahr 2000 erhielten die Forscher Alan Heeger, Alan Mc Diarmid und Hideki Shirakawa für die Entdeckung und Entwicklung elektrisch leitfähiger Kunststoffe.

Diese Arbeiten erleben zur Zeit eine Renaissance, da man seit 1990 an der Entwicklung von Polymeren arbeitet, die die Funktion von klassischen anorganischen Halbleitern übernehmen können. Dazu zählen unter anderem Kunststoffe, die leuchten oder die als Dioden und Transistoren in elektrischen Schaltungen verwendet werden. Zur Zeit arbeiten auf diesem aktuellen Gebiet zahlreiche Forschergruppen und Industrieunternehmen im In- und Ausland - sowohl an neuen Materialien als auch an den physikalischen Effekten. Trotz beachtenswerter Erfolge auf diesem Gebiet gibt es noch einen erheblichen Forschungsbedarf für die Zukunft.

Wir als Fraunhofer-Institut bieten eine komplette Forschungsleistung vom Material bis zum Prototypen, basierend auf einer guten technischen Ausrüstung und dem entsprechenden Knowhow. Sowohl für Großunternehmen, die einen Massenmarkt bedienen, als auch für klein- und mittelständische Unternehmen, die Nischen in diesem Markt besetzen wollen, sind wir der richtige Ansprechpartner. Gute Kenntnisse des aktuellen Wissensstandes und fundierter Einblick in die Förderstrukturen ermöglichen uns eine präzise Projektvorbereitung für unsere Kunden.

### Materialforschung

Durch Synthese, Funktionalisierung und geschickte Verarbeitung zu unterschiedlichem Schichtdesign kann eine breite Palette von physikalischen Funktionen in Polymeren genutzt werden:

- Konjugierte Polymere besitzen halbleitende Eigenschaften.
- Elektrolumineszierende Polymere leuchten durch Stromzufuhr.
- Fluoreszierende Polymere verschieben die Wellenlängen des Lichtes.
- Photovoltaische Materialien wandeln Licht in elektrische Spannungen.
- Photochrome Polymere können optische Daten reversibel und irreversibel speichern - sowohl digital als auch holographisch.
- Photosensitive Polymere orientieren Flüssigkristalle für mögliche Displays.
- Piezoelektrische Polymere wandeln Druck und Schwingungen in elektrische Spannung.
- Polymere Elektrete speichern elektrische Ladungen.
- Anisotrope Polymerfilme orientieren calamitische und diskotische Flüssigkristalle.

### Funktionale Beschichtungen

- photobiozide Beschichtungen zur Desinfektion
- Fluoreszenzschichten für die Sensortechnik
- UV-stabile Holzbeschichtungen
- Orientierungsschichten für Flüssigkristall-Displays

## Funktionalisierung von Polymeroberflächen

### Entwicklung von organischen Bauelementen

Aus diesen Materialien entwickeln wir ein breites Spektrum von Bauteilprototypen:

- Dioden und Transistoren (sowohl Feldeffekttransistoren als auch bipolare Dioden und Transistoren)
- Leuchtdioden und einfache Displays (konventionell oder invertiert)
- organische Lumineszenzanzeigen
- optoelektronische Bauteile (Lichtsender und -empfänger)
- holographische Bauelemente
- piezoelektrische Sensoren für die Umform- und Drucktechnik sowie Strömungsmessung
- polymere Elektrete für Wandler und Aktuatoren
- Laserstäbe für die Messtechnik
- Funktionsstrahler für die Medizin
- Glas-Polymer-Hybridwellenleiter für Informations- und Sensortechnik
- optische Datenspeicher
- verschiedenartige Sensoren
- optische Komponenten für Displays
- Volumen-, Oberflächenrelief- und Kolloidpartikel-Gitter

### Plasmatechnik für Polymeroberflächen

Durch Behandlung mit Plasma - einem hochaktiven ionisierten Gas - lassen sich Kunststoffe an der Oberfläche so verändern, dass sie Funktionen erfüllen, die bisher untypisch sind für Kunststoffe. So ließen sich beispielsweise Kunststoffe lange nicht lackieren, da der Lack nicht auf der Oberfläche festgebunden werden konnten. Das war die Zeit der schwarzen Kunststoffstoßstangen. Durch Aktivierung der Oberflächen können Farben heute fest haften.

#### *Biochips mit selektiven Ankergruppen*

Der Markt für Biochips und biomedizinische Diagnostik wächst rasant. Bisher setzte man Glsträger ein. Kunststoffe werden insbesondere für Einweg-Biochips eine große Rolle spielen. Sie sind preiswerter, leichter zu verarbeiten und können Proteine selektiv ankoppeln. Wir behandeln Diagnosesinterkörper für die selektive Ankopplung von Antikörpern beispielsweise für den Test auf Salmonellen in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen (Biognosis GmbH) im Rahmen eines Innonetprojektes des Bundesministeriums für Wirtschaft. Bisher arbeiteten diese Tests auf der Basis von mikrobiologischen Kulturen. Dieses Verfahren ist sehr aufwändig und dauert lange. Kleinere Mengen an Krankheitserregern konnten so nicht detektiert werden. Gerade in der Lebensmitteltechnik sind daher neue, schnelle Methoden gefragt, die auch bei niedrigen Konzentrationen verlässliche Werte liefern. Durch die Behandlung mit Plasma wird es möglich, eine Schicht aufzubringen, auf die entsprechende Ankergruppen direkt



Plasma-Anlage zur semi-kontinuierlichen Behandlung von Bahnware.



Plasmabehandlung von Baumwolle.

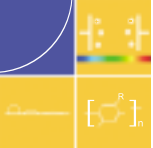


Wassertropfen auf unterschiedlich behandelter Oberfläche.



Chemische Oberflächenanalyse.





**Kontakt**



Dr. Ulrich Buller  
 Forschungsbereichsleiter  
 Telefon: +40 (0) 331 / 56 8-11 12  
 Fax: +49 (0) 331 / 56 8-31 10  
 E-Mail: buller@iap.fhg.de

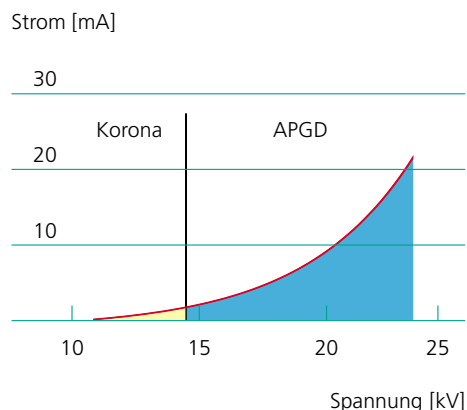
aufgebracht werden können. Die ersten Ergebnisse werden zusammen mit dem Vertragspartner umgesetzt.

*Klebstofffrei verbinden*

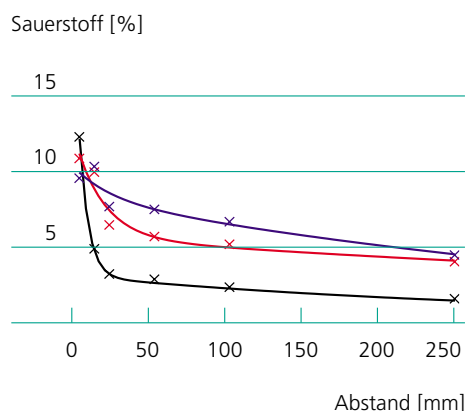
Ein weiteres Projekt aus der Biomedizin befasst sich mit klebstofffreiem Bonden von Polymeren. In der Mikrofluidik werden mikrometerfeine Strukturen auf transparente Kunststoffträger eingepägt. Jeder Kleber würde die feinen Kanäle für Serum undefiniert verkleinern oder gar verschließen. Nach einer Oberflächenfunktionalisierung können die Kunststoffteile ohne Klebstoffe direkt aufeinander gepresst werden und sind dann nicht mehr zu trennen. Zusammen mit Jenoptik Mikrotechnik entwickelten wir ein patentiertes Verfahren.

*Hydrophile Oberflächen für Dialysezubehör*

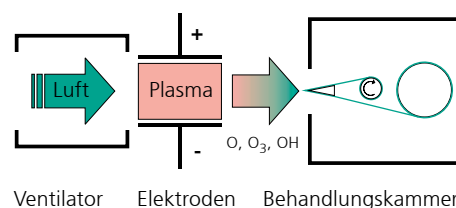
In der Medizintechnik sind für Blutbehandlungen Kunststoffoberflächen gefragt, die vom Blut gut benetzbar sind, ohne dass Blasen entstehen. Die Oberfläche muss also sowohl hydrophil als auch wasserunlöslich sein. Mit Hilfe von Plasmabehandlungen können Oberflächen mit vernetzten Schichten versehen werden, die diesen widersprüchlichen Anforderungen genügen.



Schema 1 Strom-Spannungs-Kennlinie der Gleichspannungs-Glimmentladung (APGD).



Schema 2 Profil der Sauerstoffverteilung an der Oberfläche einer Polyethylen-Folie.



Schema 3 Prinzipskizze des Versuchsaufbaus.

## Oberflächenaktivierung bei Atmosphärendruck

### Aktivierung mit Hilfe von Plasma

Viele Polymere weisen eine geringe Oberflächenenergie auf, woraus Probleme erwachsen, sollen die Materialien geklebt, bedruckt oder lackiert werden. Insbesondere die völlig unpolaren Oberflächen der Polyolefine Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) müssen mit polaren Funktionalgruppen versehen werden, bevor sie derart verarbeitet werden können. Dieser Prozess wird Aktivierung genannt und häufig durch eine Plasmabehandlung realisiert. Ein Plasma ist ein Gas, das chemisch sehr reaktive Partikel enthält (Radikale, Ionen). Die Energie, die zur Erzeugung dieser Partikel aus den Gasbestandteilen notwendig ist, wird durch eine elektrische Entladung eingebracht. Bei der Aktivierung von Bahnware (Folien) werden in der Industrie Barriere- und Korona-Entladungen eingesetzt, die Luft bei Atmosphärendruck benutzen, um das reaktive Plasma zu erzeugen. Diese Entladungstypen erzeugen in einem hochfrequenten elektrischen Wechselfeld eine Vielzahl von räumlich getrennten Mikroentladungen (Filamente) von kurzer Lebensdauer. Da der Kunststoff in direkten Kontakt mit den Mikroentladungen kommt, kann die Oberfläche leicht geschädigt werden. Die mangelnde Langzeitstabilität der Behandlung stellt ein weiteres Problem dar.

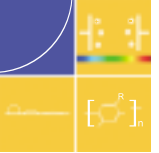
### Gleichspannungs-Glimmentladung: Plasmatechnik mit großer Leistung

Die Gleichspannungs-Glimmentladung (APGD - atmospheric pressure glow discharge) bietet einen neuen Ansatz zur Aktivierung polymerer Oberflächen bei Atmosphärendruck. Die spezielle Elektrodengeometrie und ein Luftstrom von hoher Geschwindigkeit halten die Ladungsträgerdichte unter einem kritischen Wert, so dass die Ausbildung von Filamenten verhindert wird. Die APGD zeichnet sich gegenüber einer Korona-Entladung durch eine mehr als 10 mal größere Leistungsdichte aus (Schema 1). Somit erzeugt sie eine höhere Konzentration an chemisch aktiven Partikeln, wodurch höhere Behandlungsgeschwindigkeiten ermöglicht werden. Das homogene Plasma gestattet eine gleichmäßige Behandlung der Oberfläche. Eine mechanische Schädigung ist ausgeschlossen, da die Behandlung nicht in der Entladungszone selbst, sondern im mit chemisch aktiven Partikeln angereicherten Luftstrom (downstream) erfolgt. Dieser Luftstrom erzeugt eine breite Behandlungszone, wie es im Profil der Oberflächensauerstoffkonzentration einer PE-Folie in einer statischen Behandlung ersichtlich wird (Schema 2). Der Aufbau der Anlage ist einfach (Schema 3) und, da keine Hochfrequenztechnik nötig ist, auch kostengünstig zu realisieren. Am Fraunhofer IAP wird gegenwärtig eine Anlage mit einer Behandlungsbreite von 20 cm betrieben. Prinzipbedingt ist die Aufskalierung auf nahezu beliebige Breiten problemlos möglich. Aufgrund ihrer hohen Effizienz und der geringeren apparativen Kosten stellt die APGD eine vielversprechende Alternative zu traditionellen Korona- und Barriereentladungen dar.

### Kontakt



Dr. Andreas Holländer  
Dipl.-Ing. Stefan Kröpke  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-14 04  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: hollander@iap.fhg.de



# Kraftsensoren für mechanische Hochdruckpressen

## Piezoelektrische In-Situ Druckmessungen bei großen Kräften

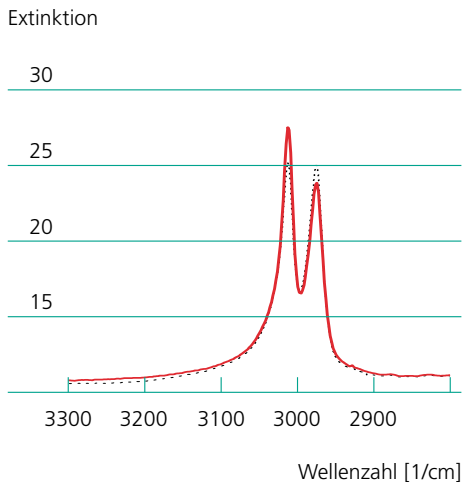
Die optimale Gestaltung des Verformungsprozesses in mechanischen Hochdruckpressen erfordert detaillierte Kenntnisse der Prozessparameter, die den jeweiligen konkreten Bedingungen (wie Materialeigenschaften, Form) angepasst werden müssen. Theoretische Simulationsrechnungen benötigen experimentell an der Presse gemessene Drücke und Spannungen als Eingangsdaten. Allerdings reichen einfache Druckmessungen am Presswerkzeug als Ganzem nicht aus, da der Bezug zu lokal auftretenden Drücken und Spannungen hierbei nur in begrenztem Umfang gegeben ist. Die bei industriellen Verformungsprozessen durchgeführten Kraft- und Spannungsmessungen erfolgen aus diesen Gründen direkt zwischen den Druckformen, wobei generell der piezoelektrische Effekt ausgenutzt wird. Die Verwendung von Sensoren auf der Basis von Polymerfolien ist aufgrund der flachen Bauweise für diesen Zweck prinzipiell besonders günstig, stößt aber bisher infolge der sehr großen wirkenden Kräfte auf Schwierigkeiten.

## Folien aus Fluoropolymeren für zeitlich und örtlich aufgelöste Messungen

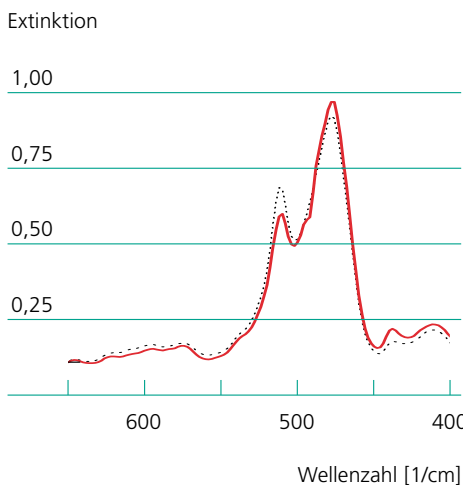
Das Ziel bestand in der Entwicklung von Sensoren auf der Basis von Fluoropolymeren, mit denen eine zeitlich und örtlich aufgelöste Messung der Druckverteilung während des Verformungsprozesses mit der erforderlichen Empfindlichkeit möglich ist. Dies erfordert die Herstellung von piezoelektrischen Polymerschichten oder -filmen mit großen piezoelektrischen Koeffizienten und hoher Stabilität gegenüber den auftretenden mechanischen und thermischen Belastungen. Die Messung örtlicher Druckverteilungen erfordert dabei die Herstellung strukturierter Foliensensoren.

### *Getemperte PVDF-Copolymerschichten mit hohen piezoelektrischen Koeffizienten*

Sowohl Polyvinylidenfluorid (PVDF) als auch das kommerziell erhältliche Copolymer mit Trifluorethylen, P(VDF/TrFE), 22% TrFE-Anteil sind aufgrund ihrer ferroelektrischen Eigenschaften für die Herstellung piezoelektrischer Schichten geeignet. Die Verwendung von P(VDF/TrFE) erweist sich jedoch wegen der besseren Verarbeitbarkeit aus der Lösung und der höheren Curie-Temperatur, (also der besseren Temperaturstabilität des Effekts) als vorteilhaft. Für hohe piezoelektrische Koeffizienten muß sichergestellt werden, dass das Polymer in der  $\beta$ -Konfiguration vorliegt. Diese Information über die vorliegende Polymerstruktur wurde aus den  $\beta$ - und  $\alpha$ -typischen Banden in den Infrarotspektren des Polymers abgeleitet. Es zeigte sich, dass die von uns aus der Lösung hergestellten und in meh-



— polarisiert  
- - - nicht polarisiert



— polarisiert  
- - - nicht polarisiert

Bild 1 Ausgewählte Absorptionsbanden von polarisiertem und unpolarisiertem P(VDF/TrFE).

renen Schritten getemperten P(VDF/TrFE)-Schichten keine  $\alpha$ -Banden enthielten, also auch ohne weitere Präparationsschritte (wie bei PVDF nötig) in der  $\beta$ -Konfiguration vorlagen. Die für die Aktivierung der piezoelektrischen Eigenschaften erforderliche Polarisierung der Polymerschichten erfolgte im elektrischen Feld einer Korona-Entladung (Abstand Spitzenelektrode - Polymer 9 mm). Die feldinduzierte Veränderung der  $CF_2$ -Dipolorientierung wurde mittels Infrarotspektroskopie überprüft. Dies ist möglich, weil die Intensitäten einer Reihe von Absorptionsbanden von der  $CF_2$ -Orientierung abhängen; beispielsweise wachsen die Bandenintensitäten bei  $475\text{ cm}^{-1}$  und  $3012\text{ cm}^{-1}$  mit zunehmender Dipolorientierung in Richtung der Foliennormalen an, während die Intensitäten bei  $506\text{ cm}^{-1}$  und  $2973\text{ cm}^{-1}$  abnehmen (Bild 1). Der Grad der Dipolorientierung und damit die Größe des piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  hängt stark von den Polarisierungsbedingungen ab (Bild 2). Die größten  $d_{33}$ -Werte wurden bei Koronaspansungen von ca. 6 kV und einer Polarisationszeit von 70 - 100 s gefunden. Höhere Spannungen und größere Polarisationszeiten führen verstärkt zu elektrischen Durchschlägen und damit zur Zerstörung der Polymerschichten. Unter Verwendung dieser Ergebnisse wurden für Testmessungen an den Pressen Folienensensoren mit dem in den Bildern 3 und 4 gezeigten Aufbau hergestellt.

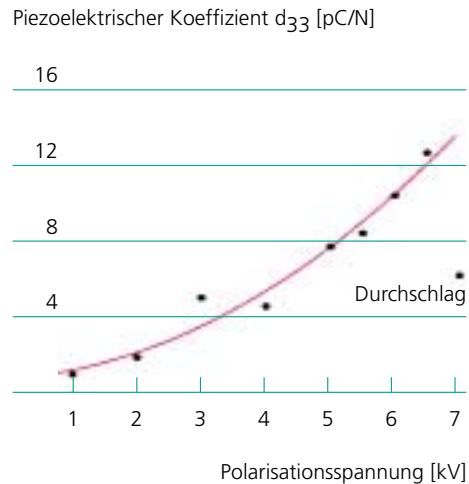


Bild 2 Piezoelektrischer Koeffizient  $d_{33}$  in Abhängigkeit von der Polarisierungsspannung.

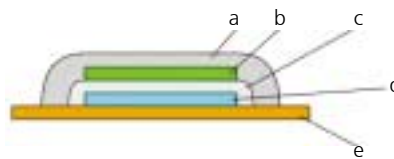


Bild 3 Sandwich-Struktur des Sensors (a: Polyimidsubstrat, b: Aluminiumelektrode, c: piezoelektrische Schicht, d: Aluminium-Frontelektrode, e: Passivierungsschicht (Polyester)).

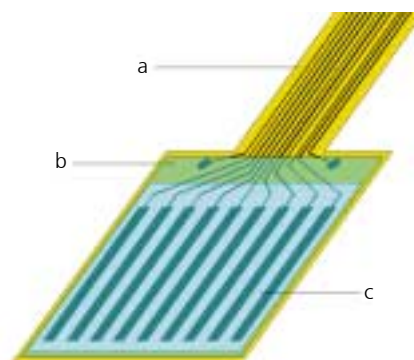


Bild 4 Multielementsensoren (a: strukturiertes Polyimidsubstrat, b: piezoelektrische Schicht, c: Aluminium-Frontelektrode).

Kontakt



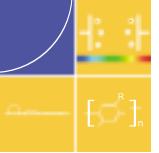
Dr. Rudi Danz  
 Abteilungsleiter  
 Physikalisch aktive Polymersysteme  
 Dr. Burkhard Elling  
 Dr. Andreas Büchtemann  
 Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-19 18  
 Fax: +49 (0) 331 / 56 8-39 15  
 E-Mail: buechte@iap.fhg.de

Förderung

Bundesministerium für Bildung und Forschung,  
 BMBF-Verbundprojektes  
 Förderkennzeichen 03N 50209

Kooperation

Brandenburgische Technische Universität  
 Cottbus, Lehrstuhl Angewandte Physik -  
 Sensorik  
 Thyssen Umformtechnik,  
 Leichtbau Entwicklungs-GmbH, Ludwigsfelde



# Polymermaterialien für die Displaytechnik

## Aktive Funktionsmaterialien in der Mikroelektronik

Polymermaterialien sind aus der modernen Mikroelektronik nicht mehr wegzudenken. In der Vergangenheit war ihr Einsatz jedoch sehr stark auf passive Materialien, auf Materialien für Systemträger und Verkapselungen sowie auf den Einsatz als Klebstoff fokussiert. Erst in jüngster Zeit werden zunehmend die Eigenschaften der Polymere auch als Funktionsmaterial ausgenutzt. Erste Displays auf der Basis organischer Leuchtdioden (OLEDs) sind seit kurzer Zeit auf dem Markt und die Entwicklung flexibler, langlebiger OLEDs ist weltweit erklärtes Ziel vieler Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Das Fraunhofer IAP ist an der Entwicklung von neuen Materialien und Devicetechnologien auf diesem Forschungsgebiet beteiligt.

### Entwicklung von neuen Materialien und Devicetechnologien

Die einfachste Bauform einer OLED besteht aus drei Schichten. Dabei dient ein mit Indium-Zinn-Oxid (ITO) strukturiertes Glas (oder Folie) als transparenter Träger und erste Elektrode. Darauf wird die polymere Schicht (ca. 100 Nanometer) aufgebracht, die anschließend von einer zweiten Elektrode (Metallelektrode) bedeckt wird. Im Fraunhofer IAP erfolgt die Verarbeitung unter Sauerstoff- und Wasserdampfausschluss in Glove-Boxen, die sich in einem Reinraum befinden. Für den Einsatz in polymeren Elektrolumineszenzanordnungen kommen derzeit vor allem konjugierte Polymermaterialien zum Einsatz, die man wegen ihrer Emissionseigen-

schaften oder Verarbeitbarkeit unterschiedlich substituiert. Dazu zählen vor allem organolösliche Poly-(p-phenylenvinyl) (PPV)-Derivate. Man unterscheidet Materialien für den Lochtransport, für den Elektronentransport und Emittermaterialien. Die PPV-Derivate sind vorwiegend Lochtransport- und Emittermaterialien. Seit kurzem werden auch Elektronentransport- und Emittermaterialien auf Basis von konjugierten organolöslichen Polymeren wie Poly(1,3,4-heterodiazolen) (PODH) eingesetzt, die einen Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten im Fraunhofer IAP darstellen. Diese Materialien werden nicht nur für die Entwicklung in der Displaytechnik eingesetzt, sondern finden auch Anwendung als elektronenleitende Materialien in organischen Feldeffekttransistoren oder im Aufbau von bipolaren Dioden und Transistoren. Die Materialauswahl basiert zunächst auf elektrochemischen Untersuchungen mit der Analyse des Redoxverhaltens der Polymere sowohl in der Lösung als auch im Festkörper. Daraus lässt sich auf die Reversibilität des Elektronentransfers schließen. Wir gehen davon aus, dass die Reversibilität des elektro-chemischen Verhaltens eine Grundlage für langlebige und effiziente Devicestrukturen ist. Zunehmend konzentriert man sich aber nicht mehr auf die Synthese einer Vielzahl von Materialien, sondern auf die Erhöhung der Reinheit der synthetisierten Materialien. Deshalb verlagern sich die Schwerpunkte in der Materialsynthese vor allem auf die Bereitstellung hochreiner sowie struktureiner Materialien. Auch hierzu werden in unserer Gruppe vielfältige Anstrengungen unternommen (Aufbau einer speziellen Sublimationsapparatur für organische Materialien und Installation einer präparativen HPLC-

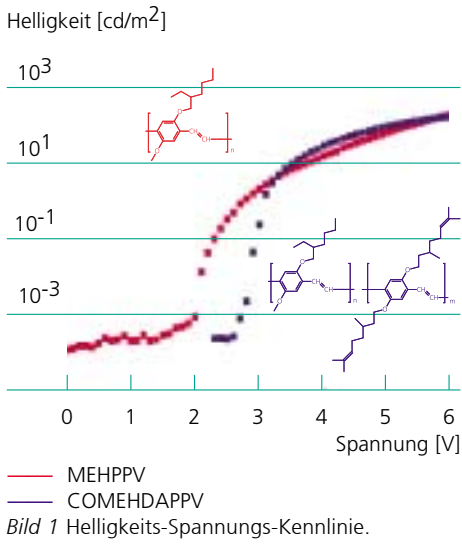


Bild 1 Helligkeits-Spannungs-Kennlinie.

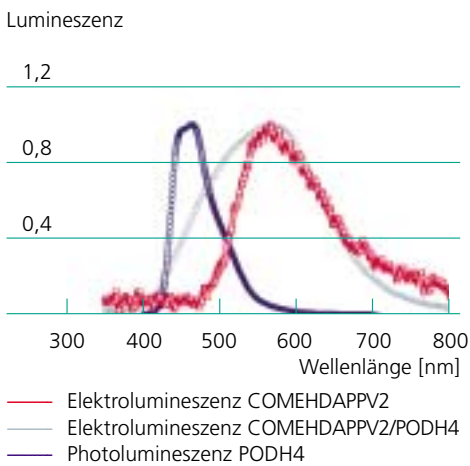


Bild 2 Photo- und Elektrolumineszenzspektren.

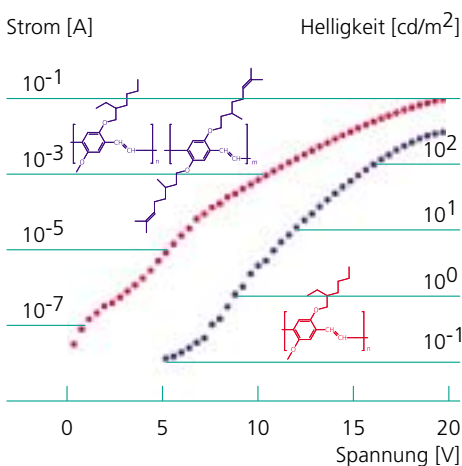


Bild 3 Helligkeit und Strom-Spannungs-Kennlinie



Anlage). Des Weiteren versucht man durch Kombination von Lochtransport- und Elektronentransportmaterialien das Emissionsverhalten der so aufgebauten Leuchtdioden zu beeinflussen.

#### *Aufbau von Schichtsystemen*

Ausgangspunkt der Untersuchungen bildeten bekannte Materialien wie das Poly(methoxy-2'-ethyl-hexyloxy-phenylenevinyl) (MEHPPV), welches im roten Spektralbereich (620 nm) emittiert. Dieses Material hat den Nachteil, dass es sich nicht für den Aufbau von Multischichtsystemen eignet. Erst durch die Synthese von speziellen alkoxy-substituierten Poly(-p-phenylenevinyl) Copolymeren mit Allyl oder Citronellyleinheiten (COMEHDAPPV) wurde eine Vernetzung der dünnen Schicht möglich, so dass darauf weitere organolösliche Schichten abgeschieden werden können. Dabei zeigen die Einfachschichtsysteme (MEHPPV und COMEHDAPPV) die gleichen Helligkeiten (ca. 200 cd/m<sup>2</sup> bei 6 V) jedoch mit unterschiedlichen Einsatzspannungen der Elektrolumineszenz (Bild 1).

#### *Einstellung der Elektrolumineszenz*

Doppelschichtsysteme haben den Vorteil, dass man durch Variation der Schichtdicken die Rekombinationszone der Ladungsträger in unterschiedliche Schichtbereiche der Deviceanordnung legen kann. Somit können zum einen die unterschiedlichen Ladungsträgerbeweglichkeiten im Device gesteuert und zum anderen die Emission beeinflusst werden. Nach einer thermischen Vernetzung der Lochtransporterschicht (z.B. COMEHDAPPV) lässt sich eine zweite emittierende polymere Schicht, wie das Elektronentransportmaterial (PODH4) aufbringen. Dieser Aufbau

ist in der Patentanmeldung DE 10059811.0 näher beschrieben. Das Ergebnis des Einflusses des Elektronenleiters und blauen Emitters (PODH4) lässt sich an folgenden Ergebnissen diskutieren:

Die Einführung der zweiten emittierenden Schicht (PODH4) führt zu einer Verbreiterung des Elektrolumineszenzspektrums (Bild 2). Dieser Sachverhalt lässt sich bereits an den Photolumineszenzeigenschaften des Materials erkennen (Maximum bei 460 nm). Die Rekombination der Ladungsträger vollzieht sich also in der Nähe der Grenzfläche der lochleitenden und elektronenleitenden Schicht. Die Helligkeit des Devices beträgt etwa 150 cd/m<sup>2</sup> bei 15 V mit einer breiten weißen Emission (Bild 3). Die Helligkeit von 300 cd/m<sup>2</sup> erreicht das Device beim jetzigen Entwicklungsstand bei einer Spannung von 20 V. Diese Spannung ist zwar für eine Anwendung in der Mobilelektronik im Moment zu hoch, an diesem Device lässt sich aber das Entwicklungspotential einer Forschung auf diesem Gebiet erkennen.

#### *Zielstellung der Entwicklungsarbeiten*

Das Ziel der Entwicklungsarbeiten besteht darin, Wege aufzuzeichnen, wie es zu einer industriellen Umsetzung der Forschungsarbeiten kommen kann. Dabei steht die Entwicklung von Displays mit niedrigem Informationsgehalt (low content displays) im Mittelpunkt. Außerdem werden mit anderen Partnern (siehe Themenverband Polymere Oberflächen, Polo) Wege gesucht, um eine effektive Kapselung der Bauelemente zu realisieren.

#### Kontakt



Dr. Silvia Janietz  
Telefon +49 (0) 331 / 56 8-12 08  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-39 10  
E-Mail: janietz@iap.fhg.de



Dr. Armin Wedel  
Telefon +49 (0) 331 / 56 8-19 10  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-39 10  
E-Mail: wedel@iap.fhg.de

#### Förderung

Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF (Förderkennzeichen 01 BK 916-919).

#### Kooperation

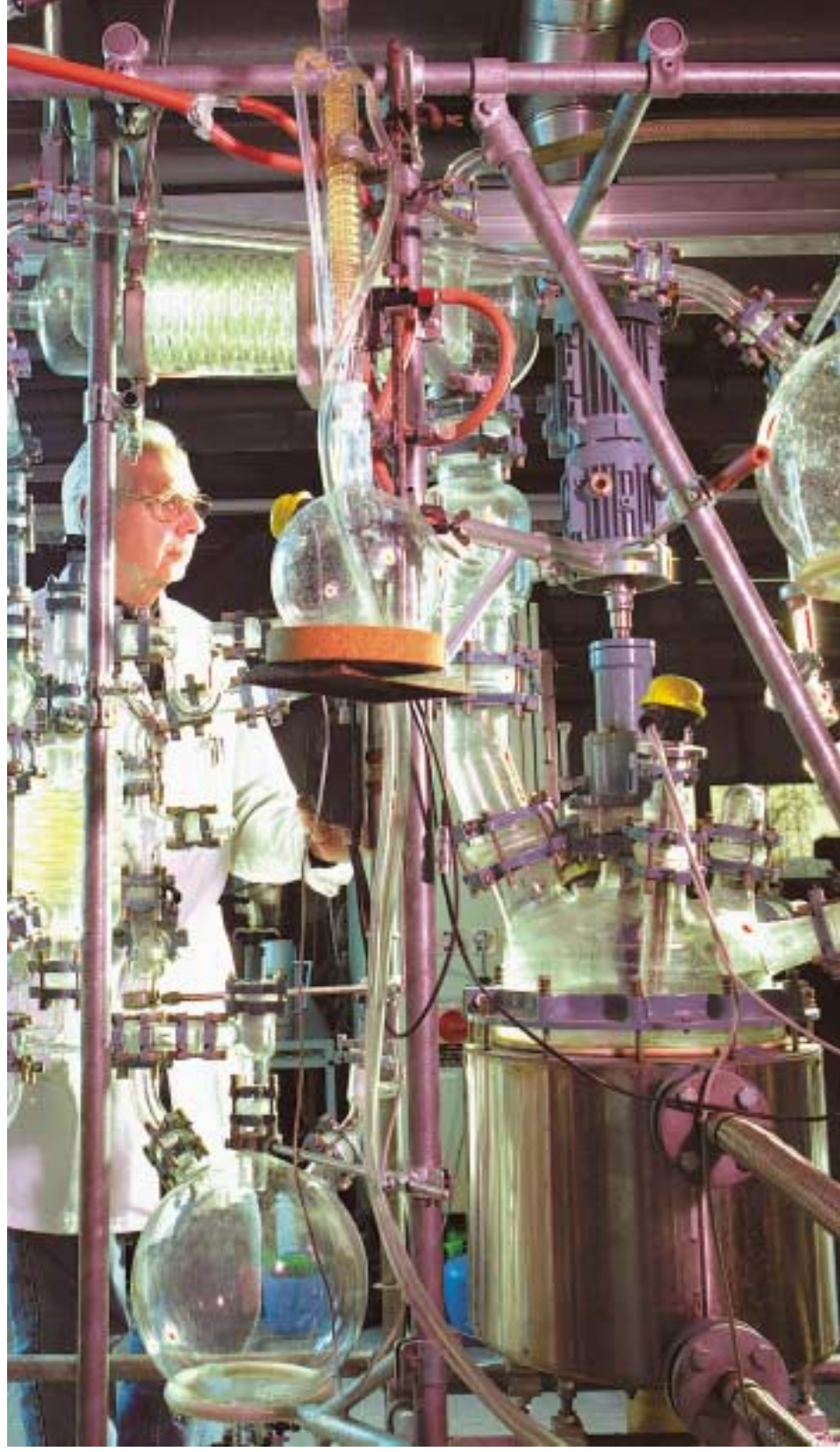
Vertreter der Displayindustrie  
Geräte- und Materiallieferanten  
TU Braunschweig  
Fraunhofer-Gesellschaft

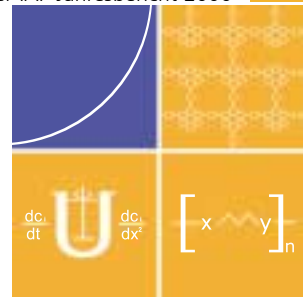
#### Patente

Patentanmeldung DE 10059811.0  
»Verfahren zur Herstellung eines Mehrschichtsystems aus löslichen Polymeren«, S. Janietz, A. Holländer, A. Wedel

Patentanmeldung DE 10059810.2  
»Breitbandig lichtemittierende polymere Dioden«, S. Janietz, A. Wedel vom 01.12.2000

# Synthese- und Polymertechnik





1. Das Institut
2. Kooperationen
3. Native Polymere
4. Funktionale Polymersysteme

## 5. Synthese- und Polymertechnik

Herstellung und Verarbeitung von polymeren Werkstoffen

Mikrokapseln für die Lebensmittelindustrie

Submikronpartikel aus bioabbaubaren Polymeren

Poly-L-milchsäure - Verfahrensoptimierung

Beschichtungssysteme für kapazitive Feuchtesensoren

6. Wasserbasierende Polymersysteme
7. Namen, Daten, Ereignisse

## Herstellung und Verarbeitung von polymeren Werkstoffen



Vertikalkneter mit Hochdruckeinrichtung.

### Bessere Kunststoffmaterialien durch Compoundierung

Um Kunststoffe an spezielle Anforderungen anzupassen, setzt man immer mehr auf Compoundierung - die gezielte Mischung von bestehenden Materialien - und weniger auf die Synthese neuer Polymerstrukturen. Die Rohmaterialien werden von wenigen Anbietern in hohen Tonnagen mit begrenzter Vielfalt hergestellt. Insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen, die spezifische Nischen des Kunststoffmarktes besetzen, bieten wir Materialanpassungen durch reaktive und nichtreaktive Compoundierung. Verändert man die Reaktionszeit oder die Mischintensität, lassen sich neue Eigenschaften einstellen. Unser Schwerpunkt liegt auf der Verarbeitung von Duroplasten und Thermoplasten.

*Duroplaste - preiswert, wärmeformstabil, hoher Modul*

Duroplaste - also Kunststoffe, die bei Erwärmung von Harzen auf etwa 160 - 180 °C aushärten und danach nicht mehr verformt werden können - bestehen aus vernetzten Polymerstrukturen und bieten zahlreiche Vorteile: Sie sind formstabil, häufig selbsterlöschend und preiswert. Außerdem isolieren sie elektrischen Strom hervorragend. Allerdings sind sie oft sehr spröde. Durch gezielte Mischung von Duroplasten mit Faserstoffen oder Thermoplasten kann diese Sprödigkeit gemindert werden.

*Thermoplaste - biegsam, zäh, effizient verformbar*

Thermoplaste sind hingegen biegsam und zäh, recycelbar, aber häufig leicht

entflamm- und brennbar. Dem gegenüber steht eine effiziente Verarbeitbarkeit: Thermoplaste lassen sich durch Erwärmung wieder in eine andere Form bringen, während Duroplaste einmal verarbeitet nur noch zu Füllstoffen zermahlen werden können. Ziel der Compoundierung ist eine höhere Steifigkeit und Wärmeformbeständigkeit des Materials.

Ein Beispiel ist die Compoundierung zweier Biokunststoffe: Poly-L-milchsäure ist teilkristallin mit einem Schmelzpunkt von etwa 180 °C. Dieses Material ist für viele Zwecke nicht biegsam genug. Poly-D,L-milchsäure ist amorph und daher biegsamer. Leider schmilzt das Material bei geringeren Temperaturen. Durch Compoundierung erhält man ein Material, das bis zu Temperaturen von 150 °C wärmeformstabil ist und obendrein biegsam.

*Neue Materialien für Transportmittel und Gehäusebau*

Vielversprechend ist die Kombination von Duroplasten und Thermoplasten. Gesucht ist ein Material, das sowohl elastisch und einfach verformbar ist als auch preiswert, wärmebeständig und flammhemmend. Gelingt es, die typischen Eigenschaftsprofile von Thermoplasten und Duroplasten zu kombinieren, werden Kunststoffe im Transportwesen immer attraktiver durch höhere Steifigkeit, Elastizität und Wärmeformbeständigkeit sowie ihre thermoplastische Verarbeitung. Im Technikumsmaßstab compoundieren wir Kunststoffe und testen die mechanischen Eigenschaften im akkreditierten Prüflabor. Der Prozess kann auf industrielle Maßstäbe übertragen werden. Wir bieten unseren Kunden eine breitbandige



Extruder- und Knetertechnik mit vielfältigen Schneckengeometrien kombiniert mit einer hoch genauen Dosiereinrichtung - sowohl gravimetrisch als auch volumetrisch.

#### *Faserverstärkung als Ersatz für Glasfasern*

Thermoplastische Materialien müssen für eine gewünschte mechanische Festigkeit oft durch zugesetzte Fasern verstärkt werden. Der Trend geht immer weiter dahin, die klassischen Glasfasern zu ersetzen. Der hohe Abrieb an den verarbeitenden Maschinen senkt die Standzeiten dramatisch. Neben der einfacheren Verarbeitung wird oft ein Flammenschutz für die brennbaren Thermoplasten gefordert. Fasern aus Melaminharz sind als Duroplast flammstabil und außerdem preiswert. Bei der Faserverstärkung erreichen wir Zugfestigkeiten, die mit Glasfaserverstärkung vergleichbar sind oder diese teilweise übertreffen. Zusätzlich lassen sie sich leichter verarbeiten. In einem Eigenforschungsprojekt haben wir bisher sehr erfolgversprechende Ergebnisse erzielt. Mit einem Industriepartner ließe sich das Verfahren für den industriellen Einsatz optimieren.

#### **Mikrokapseln als Lösung für Verarbeitungsprobleme**

Das Jahr 2000 zeigte einen sprunghaften Anstieg der Nachfrage nach Mikrokapseln oder -partikeln, in die Wirkstoffe wie Aromen, Farbstoffe, Schmierstoffe und andere technische Additive verpackt werden, um sie gezielt freizusetzen. Vor allem für technische Anwendungen wuchs das Interesse. Sie bieten Lösungen in folgenden Situationen:

- Schutz der Wirksubstanz vor der Umgebung - Medikamente sollen vor dem sauren Medium im Magen geschützt werden oder wasserlösliche Insektizide sollen nicht vom Regen ausgewaschen werden.
- Schutz der Umgebung vor der Wirksubstanz - Flammenschutzmittel sollen im Normalfall nicht mit dem zu schützenden Material in Berührung kommen.
- Verträglichkeit von Additiven mit einem umgebenen Matrixmaterial - Schmieröle können nicht direkt in Metallschichten galvanisch eingebettet werden, Metallflakes lassen sich verträglicher durch Verkapselung in organisches Folienmaterial einbauen.
- Der Wirkstoff soll fein dosiert werden - Definierte Feinverteilung von Duftstoffen oder kontrollierte Abgabe (Controlled release) von Medikamenten oder Pflanzenschutzmitteln über einen definierten Zeitraum.

In den meisten Anwendungsfällen geht es um eine Kombination mehrerer Problembereiche. Während Mikrokapseln für Controlled release Anwendungen oder als Durchschreibekapseln schon seit vielen Jahren

eingesetzt werden, sind die technischen Bereiche wie Einsatz als Kunststoffadditiv oder Prozesshilfsmittel sowie für galvanische Methoden erst in den letzten Jahren in den Vordergrund gerückt. Das Fraunhofer IAP hat schon 1999/2000 zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik in Braunschweig in einem Eigenforschungsprojekt Pionierarbeit geleistet und den Einsatz von Mikrokapseln in metallischen Schichten wesentlich vorangetrieben. Die Ergebnisse wurden im April 2000 auf der Hannover Messe vorgestellt: Eine große elektronische Nase zeigte den Verschleiss von Rasierklingen an. Lag Zitronenduft in der Luft, war die Klinge verschliffen. Dann war die Metallschicht schon soweit abgenutzt, dass die Schutzschicht mit Zitronenduftkapseln abgerieben wurden und so ihren Duft freisetzten. Dieses Exponat ging durch die Presse und sorgte für eine gesteigerte Industrienachfrage aus vielen Bereichen.



Kontakt



Dr. habil. Gerald Rafler  
 Forschungsbereichsleiter  
 Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-12 22  
 Fax: +49 (0) 331 / 56 8-32 13  
 E-Mail: rafler@iap.fhg.de

*Machbarkeitsstudien und  
 Entwicklungsoptimierung*

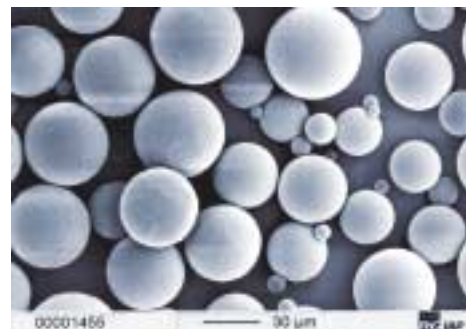
Das große Interesse der Anwender darf nicht enttäuscht werden durch unrealistische Versprechen und zu lange Entwicklungszeiten. Deshalb haben sich mehrere Fraunhofer-Institute zusammengeschlossen, um Erfahrungen und Technologien zu bündeln (siehe Allianz Mikrostrukturierte Mikrokomposite). Ob Verklebung von Schrauben oder Verkapselung von Stempelfarben, zunächst müssen viele individuelle Fragen geklärt werden: das passende Kapselmaterial muss sich sowohl mit dem Additiv, dem umgebenden Material und dem Kapselverfahren vertragen und bei gewünschten Bedingungen den Wirkstoff freisetzen. Die Kapselwand muss hinreichend dicht sein. Außerdem müssen die Materialkosten im Verhältnis zum Wirkstoffpreis stehen. Es werden Voruntersuchungen mit einem geeignet erscheinenden Material und Kapselverfahren durchgeführt. Wir bieten Machbarkeitsstudien für das gesamte Eigenschaftsprofil der gewünschten Anwendung. Je nach Ergebnis können technische Parameter wie Langzeitstabilität, Wanddicke, Partikelgröße oder -größenverteilung optimiert werden.



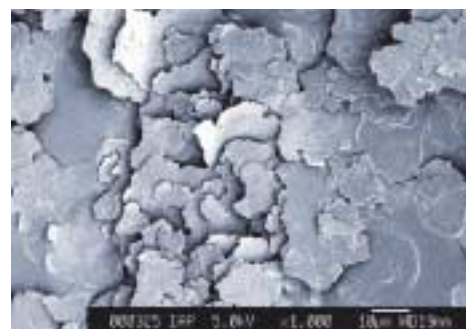
Aminoharzkapseln mit festen oder flüssigen Inhaltsstoffen.



Mikroverkapselte Salzkristalle.



Poly(lactid)kapseln.



Metallflakes verkapselt mit Aminoharz.

## Mikrokapseln für die Lebensmittelindustrie

### Mikroverkapselung im Food-Bereich

Ein sehr attraktives Einsatzgebiet für die Technologie der Mikroverkapselung ist der Food-Sektor. Hier kann die Mikroverkapselung von empfindlichen Lebensmittelkomponenten oder Zusatzstoffen eine Vielzahl von Problemstellungen lösen, wie folgende Beispiele zeigen:

- Schutz vor ungünstigem Umgebungsmilieu
- Geschmacks- bzw. Geruchsmaskierung
- Langzeitstabilisierung
- kontrollierte/verzögerte Freisetzung der Lebensmittelkomponenten
- einfacheres und sicheres Handling von speziellen Lebensmittelkomponenten zur:
  - Erleichterung der Dosierung,
  - Verhinderung der Kontamination mit Keimen,
  - Reduzierung von allergenen Eigenschaften im Mund- und Speiseröhrenbereich,
  - Verhinderung von Verklumpungen, gleichmäßigeren Vermischung/Verteilung der Zutaten,
  - Umwandlung flüssiger Komponenten in Feststoffe durch Ausbildung einer festen Kapselwand

Bei der Herstellung von maßgeschneiderten Lebensmitteln (Functional Food, Nutraceuticals), wo oft besonders empfindliche Zusätze verarbeitet werden müssen (z. B. essenzielle Amino- oder Fettsäuren, Vitamine, Enzyme, Mineralstoffe, Aromen), bietet eine Mikroverkapselung dieser Zusätze einen interessanten und vielversprechenden Lösungsansatz. Im Fraunhofer IAP werden entsprechende Mikroverkapselungen in zwei Richtungen bearbeitet:

1. Anpassung bekannter Kapselverfahren und zugelassener Wandmaterialien für den food-Bereich

- Ethylcellulose
- Methylcellulose
- Alginate
- Acrylate

2. Modifizierung zugelassener filmbildender Hilfsstoffe

- Stärkefettsäureester
- Carbamate und Ester von Dextranen

Entsprechend der Eigenschaften der zu verkapselnden Lebensmittelzusätze können die Kapselverfahren in wässrigen oder nichtwässrigen Systemen durchgeführt werden. Zur Mikroverkapselung von in Wasser löslichen Substanzen eignen sich insbesondere Coacervationsverfahren in organischen Lösungsmitteln. Bild 1 zeigt mit Ethylcellulose verkapselte Aminosäurepartikel. Die Coacervationsreaktion wurde durch gezielte Abkühlung einer Ethylcelluloselösung in Cyclohexan ausgelöst. Organolösliche modifizierte Stärken oder Dextrane lassen sich gut mittels Lösemittelverdampfungsverfahren zu partikulären Strukturen umformen. Ein Beispiel dafür zeigt Bild 2. Weiterhin werden die Kapselverfahren und Wandmaterialien ausgewählt hinsichtlich

- der Funktion des Wirkstoffes
- der optimalen Konzentration des Zusatzstoffes
- des Freisetzungsmechanismus (Druck, Abrieb, Diffusion, Auflösung, Schmelzen, Bioabbau)
- der gewünschten Größenverteilung, Dichte und Stabilität
- optimaler Herstellungskosten
- der Stabilität des Zusatzstoffes (Temperatur, pH-Wert etc.)

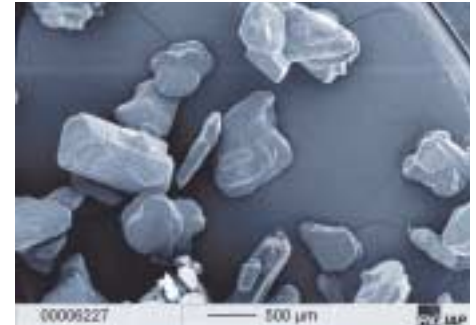


Bild 1 Aminosäure, verkapselt mit Ethylcellulose.

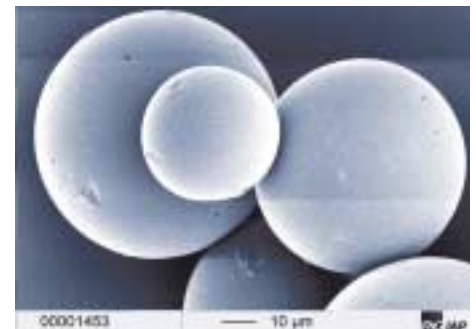
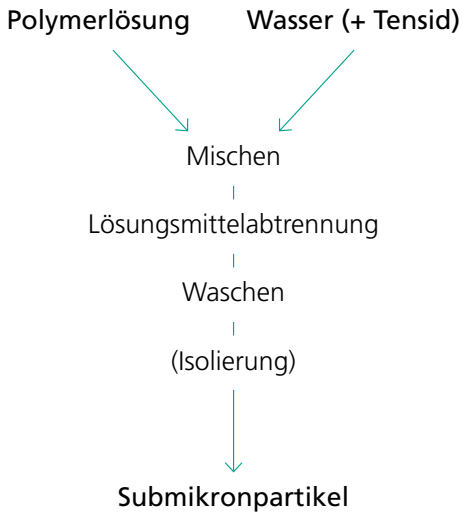


Bild 2 Mikrokapseln aus modifizierter Weizenstärke.

# Submikronpartikel aus bioabbaubaren Polymeren



Schema 1 Fällungsverfahren zur Herstellung von Submikronpartikeln.

## Pharmakonhaltige Submikronpartikel auf der Basis von Polymilchsäure für intravenöse Anwendung

Pharmakonhaltige Mikrokapseln aus bioabbaubaren Polymeren auf der Basis von Milchsäure (Polylactide und deren Copolymeren mit Diglycolid) sind bekannt. Sie werden therapeutisch in parenteralen Arzneistoffabgabesystemen mit kontrollierter Wirkstoffliberation angewendet. Mikropartikelartige Abgabesysteme können dabei intramuskulär oder subcutan appliziert werden. Medikamentöse Therapien erfordern jedoch häufig intravenöse Wirkstoffapplizierung und Transport über den Blutkreislauf. Dafür sind Mikropartikel wegen ihrer Größe nicht geeignet. Hier erschließt sich ein Einsatzgebiet für Submikron- und Nanopartikel (1-1000 nm). Die Möglichkeit der Herstellung von Partikeln in diesem Größenbereich bei Einsatz von Polylactiden und entsprechenden Copolymeren mit Diglycolid wurde untersucht.

## Herstellung mit Hilfe von Fällungsverfahren

Bei üblicherweise eingesetzten Verfahren zur Mikropartikelbildung wie Coacervationsverfahren, Sprühverfahren oder Verfahren basierend auf Lösungsmittelverdampfung liegt die Grenze der einzustellenden Kapselgrößen bei etwa 1 µm. Es wurde deshalb ein Fällungsverfahren ausgewählt, das die Herstellung von Partikeln im Größenbereich kleiner als 1 µm ermöglicht (Schema 1). Hierbei wird das polymere Wandmaterial in einem mit Wasser mischbaren Lösungsmittel gelöst und der zu verkapselnde Wirkstoff darin dispergiert. Die Dispersion wird dann unter intensiver Durchmischung in die kontinuierliche wässrige Phase eingebracht. Der schnelle Stoffaustausch zwischen organischer und wässriger Phase während der Phasenvermischung führt zur Bildung sehr kleiner Geltröpfchen, aus denen dann letztendlich Submikronpartikel resultieren.

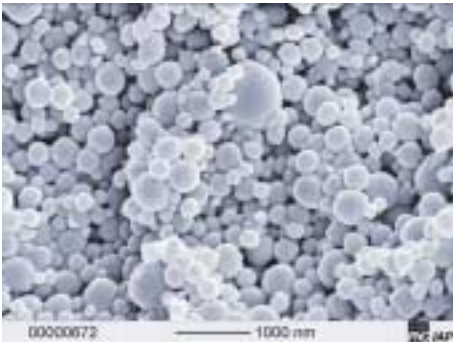


Bild 1 Elektronenmikroskopische Aufnahme von Poly(D,L-lactid(75)-co-glycolid(25)) (PGLA)-Submikronpartikeln.



Bild 2 Elektronenmikroskopische Aufnahme von Poly-D,L-lactid (D,L-PLA) - Submikronpartikeln.

## Wandmaterial aus medizinisch zugelassenen Polylactiden und Copolymeren

Zur Herstellung von Submikronpartikeln nach dem Fällungsverfahren wurden für medizinisch-pharmazeutische Applikationen zugelassene Polylactide und Copolymerer ausgewählt. Wegen der begrenzten Löslichkeit dieser Polymeren in mit Wasser mischbaren, organischen Lösungsmitteln konnten nur Poly-D,L-lactide (Racemat) und Copolymerer der D,L-Milchsäure eingesetzt werden. Die Molmassen der einsetzbaren Polymeren sind ebenfalls durch deren Löslichkeit begrenzt. Geeignet sind Polymere bis zu einer mittleren Molmasse  $M_n$  von etwa 30 000 g/mol. Der Anteil an Diglycolid im Copolymeren darf maximal 30 Mol-% betragen. Bei Einsatz solcher Polymeren können mit dem Fällungsverfahren Partikelgrößen im Submikronbereich erzeugt werden (Bilder 1-4). Es sind nur sehr verdünnte Polymerlösungen (Polymergehalt: 1%) einsetzbar, und das Phasenverhältnis darf ein Verhältnis von 1:1 nicht überschreiten. Bei Einsatz höher konzentrierter Polymerlösungen oder weiterer Verschiebung des Verhältnisses kontinuierliche/organische Phase zugunsten der organischen Phase kommt es zur Agglomeration der Partikel. Als Polymerlösungsmittel eignen sich insbesondere Aceton oder Aceton/Ethanol-Mischungen. Zum Dispergieren der Polymerlösung in der kontinuierlichen Phase sind sowohl statische als auch dynamische Mischer einsetzbar. Für die Separation dieser sehr kleinen Partikel können die üblicherweise eingesetzten Verfahren Filtration oder Zentrifugation nicht genutzt werden. Durch Einsatz einer Querstromfiltration sind gute Trenneffekte zu erzielen.

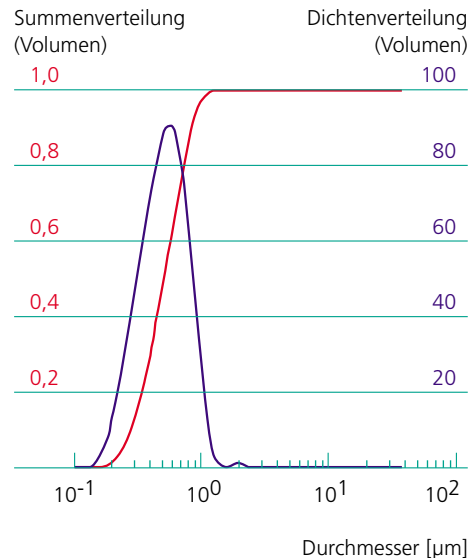


Bild 3 Partikelgrößenverteilung (Volumen) nach Lösungsmittelaustausch von D,L-PLA Submikronpartikel.

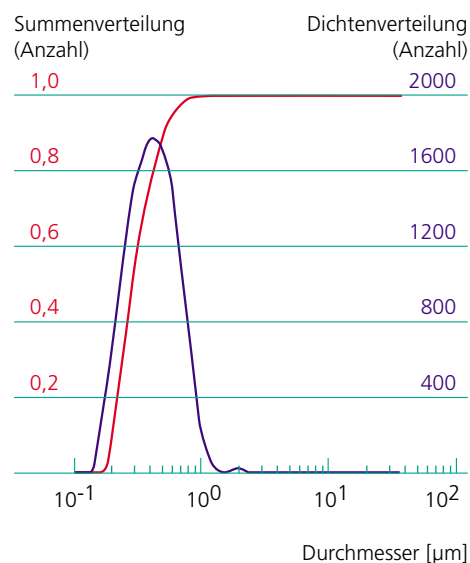


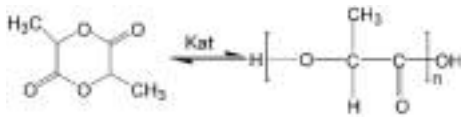
Bild 4 Partikelgrößenverteilung (Anzahl) nach Lösungsmittelaustausch von D,L-PLA - Submikronpartikel.

## Kontakt

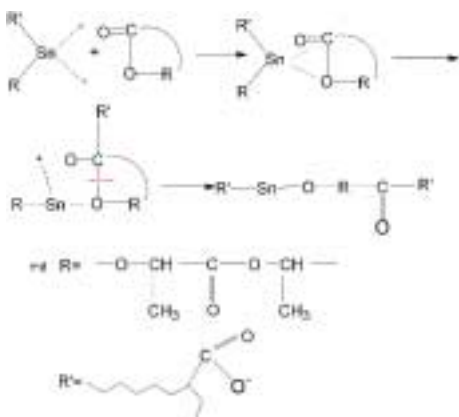


Dr. habil. Gerald Rafler  
Dipl.-Ing. Monika Jobmann  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-12 13  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-25 13  
E-Mail: jobmann@iap.fhg.de

# Poly-L-milchsäure - Verfahrensoptimierung



Schema 1 Ringöffnungspolymerisation von Dilactid.



Schema 2 Insertionsmechanismus der Ringöffnungspolymerisation von Dilactid.

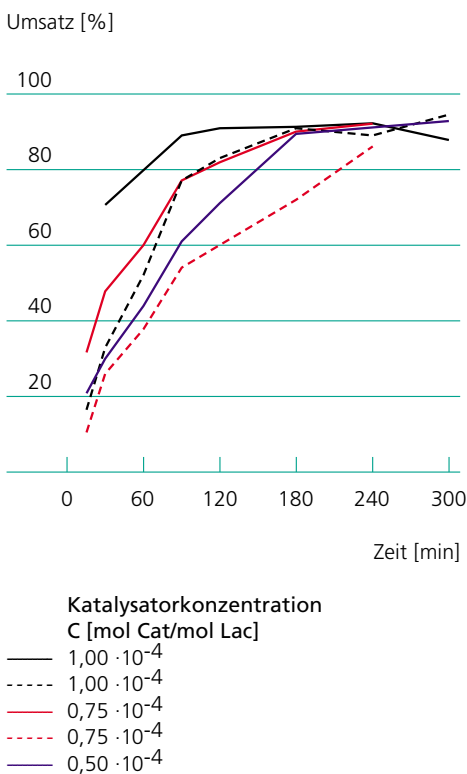


Bild 1 Umsatz der Polymilchsäure in Abhängigkeit von der Reaktionszeit ( $T = 195^{\circ}\text{C}$ , schmaler Kreuzbalkenrührer).

## Bioabbaubarer Kunststoff als Ersatz für langzeitstabile Materialien

Poly-L-milchsäure (PLLA) ist ein biologisch abbaubarer, nach konventionellen Technologien thermoplastisch verformbarer Kunststoff. Sie kann bisher eingesetzte langzeitstabile Kunststoffe auf petrochemischer Basis auf ausgewählten Applikationsfeldern mit vorzugsweise Einmal- oder temporärer Nutzung, beispielsweise bei Verpackungskunststoffen, Agrarfolien oder Hygieneartikeln adäquat substituieren.

### Polymerisationsmethode

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand wird Polylactid technisch durch Ringöffnungspolymerisation von L,L-Dilactid in Gegenwart von Zinn(II)-octoat hergestellt (Schema 1). Für die Massepolymerisation der cyclischen Ester und Diester wird in der Mehrzahl der Publikationen ein nichtionischer Koordinations-Insertions-Mechanismus angenommen. Nach Initiierung erfolgt das Kettenwachstum über Einlagerung der Monomere unter Acryl-Sauerstoff-Spaltung des Ringes in die Initiator-Sauerstoff-Bindung (Schema 2). Hinsichtlich Initiatorkonzentration und Temperatur zeigt die zinn-octoat-initiierte Polymerisation atypischen Verlauf. Monomerumsatz und Molmasse werden mit steigendem Katalysatorgehalt und steigender Temperatur erhöht. Die Molmasse durchläuft ein Maximum [1].

### Polymerisationsverlauf in Abhängigkeit mikrokinetischer Parameter

Zur Optimierung des Verfahrens wurde der Einfluss mikro- und makroki-

netischer Prozessparameter auf den Verlauf der Ringöffnungspolymerisation von L,L-Dilactid sowie die molekularen Eigenschaften des gebildeten Polymers untersucht. Mikrokinetisch wird die Kinetik dieser Massepolymerisation vor allem durch die Reinheit der Monomere, die Prozesstemperatur sowie Typ und Konzentration des eingesetzten Initiators determiniert. In Gegenwart des technisch relevanten Zinn(II)-Initiators ist die Polymerisation durch eine hohe Polymerisationsgeschwindigkeit, rasche Molmassenzunahme mit Erreichen eines Maximalwertes sowie geringe Racemisierung der Poly-L-milchsäure charakterisiert.

### Einfluss makrokinetischer Faktoren

Mechanisches Rühren gehört zu den wichtigsten und ältesten Grundoperationen der chemischen Technik. Verschiedene Rührertypen erzeugen sehr unterschiedliche Strömungsbilder mit radialer oder axialer Durchmischung. Bei der hohen Polymerisationsgeschwindigkeit im Bereich technisch relevanter Bedingungen kommt der Mikrovermischung im Polymerisationssystem eine wesentliche Rolle zu. Bei einer stark ansteigenden Schmelzviskosität von 100 Pa·s bis etwa 8 000 Pa·s muss das Monomere effektiv an die wachsenden Kettenenden transportiert werden, damit keine stoffübertragungsabhängige Behinderung der Polymerisation erfolgt. Hinsichtlich ihrer Effizienz getestet wurden zwei Kreuzbalkenrührer (radial) mit unterschiedlicher Balkenbreite sowie ein Schneckenrührer (axial). In den Bildern 1 und 3 sind die Polymerisationsprofile der zinn-octoat-initiierten Lactidpolymerisation bei Einsatz des schmalen Kreuzbalken-



rührers dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass mit steigender Katalysatorkonzentration höhere Molmassen erreicht werden. Die Molmassen-Zeit-Verläufe zeigen Extremalcharakter. Tabelle 1 zeigt die Änderung der Molmassenverteilung mit der Zeit.

Bei Einsatz des axial mischenden Schneckenrührers ist eine deutlich raschere Zunahme der Molmasse für ansonsten gleiche Prozessbedingungen zu beobachten (Bild 2). Die effektivere Durchmischung erhöht auch die technologische Beherrschbarkeit des Verfahrens, wie die bessere Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse zeigt.

Zeit	$M_w/M_n$	$M_w/M_n$
5 min	1,662	1,896
10 min	2,067	2,773
15 min	2,144	2,507
20 min	2,433	2,425
25 min	2,230	2,255
30 min	2,342	2,267
35 min	2,228	2,220
40 min	2,193	2,167
45 min	2,113	2,171

Änderung der Polydispersität von der Reaktionszeit (Schneckenrührer,  $T = 195^\circ\text{C}$ , Katalysatorkonzentration  $0,75 \cdot 10^{-4}$  mol Cat/mol Lac, Reproduzierbarkeitstest)

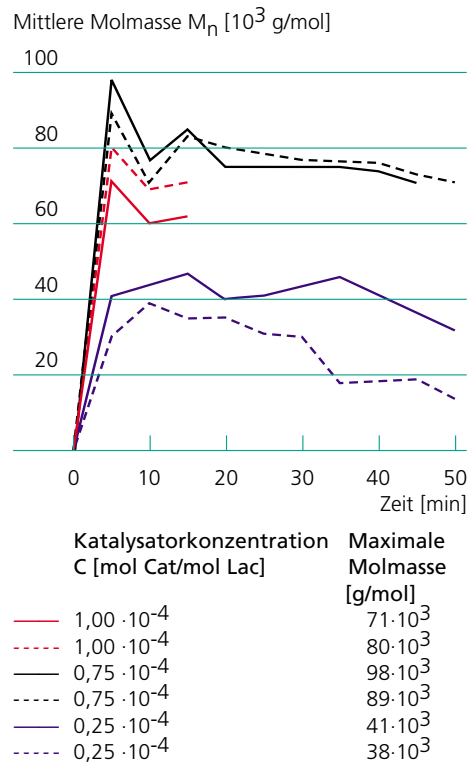


Bild 2 Schneckenrührer.

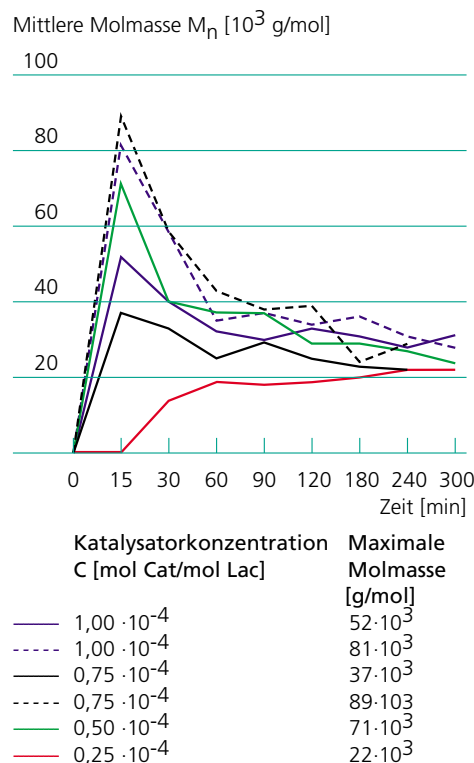


Bild 3 Schmäler Kreuzbalkenrührer.

Kontakt

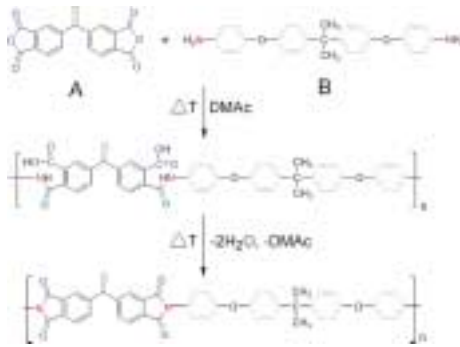


Dipl.-Chem. Inna Bechthold  
 Dr. habil. Gerald Rafler  
 Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-12 11  
 Fax: +49 (0) 331 / 56 8-25 05  
 E-Mail: bechth@iap.fhg.de

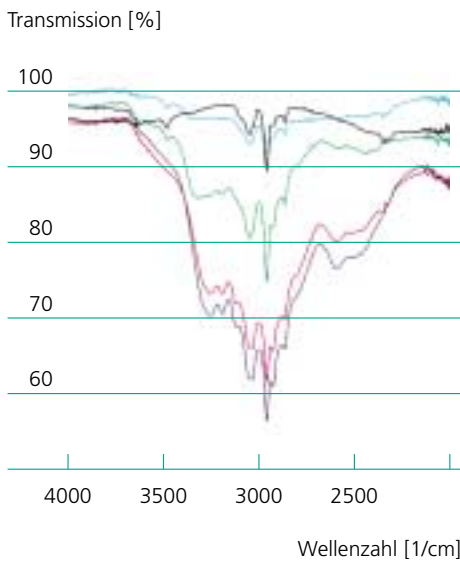
Literatur

[1] J. Dahlmann, G. Rafler, K. Fechner, B. Mehlig  
 »Synthese and Properties of Biodegradable Aliphatic Polyester« British Polymer Journal 23 (1990) 235

# Beschichtungssysteme für kapazitive Feuchtesensoren



Schema 1 Stufenweise Bildung des Polyimides ausgehend vom Dianhydrid A und Diamin B in Dimethylacetamid.



- 25°C
- 100°C, 30 min
- 150°C, 30 min
- 200°C, 30 min
- 300°C, 30 min

Bild 1 Charakterisierung der thermisch induzierten Polyimidbildung mittels FT-IR-Spektroskopie.

## Industrielle Anforderungen an Feuchtesensoren

Der ständig steigende Bedarf an klimatisierten Produktionsstätten sowie Wohn-, Arbeits- und Freizeiträumen bedingt eine wachsende Nachfrage nach entsprechender Mess- und Regeltechnik für Klimaanlage - sowohl auf dem stationären als auch mobilen Sektor. Dies erfordert vor allem im messtechnischen Bereich präzise arbeitende, breit einsetzbare, wenig stör anfällige und preiswerte Lösungen.

Bei Feuchtesensoren haben sich polymerbasierte Systeme [1-3] infolge ihres ausgezeichneten Preis-Leistungs-Verhältnisses, den anpassbaren Funktions- und Verarbeitungseigenschaften sowie ihrer geringen Störanfälligkeit am Markt durchgesetzt. Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik werden bei den polymerbasierten Feuchtesensoren kapazitiv arbeitende Systeme favorisiert, da sie den applikationsrelevanten Nutzungsanforderungen am besten entsprechen:

- direkte Abhängigkeit des Messeffektes von der Feuchte über den gesamten Messbereich (linearer Zusammenhang zwischen Dielektrizitätskonstante und Feuchte)
- ausreichende Sensitivität und Stabilität des Messeffektes
- Reversibilität der sensorischen Eigenschaften nach Wasserbedeckung
- Arbeitsbereich
- lange Lebensdauer
- Medienbeständigkeit

In Zusammenarbeit mit dem Industriepartner wird im Fraunhofer

IAP an der Entwicklung eines polyimidbasierten Sensorsystems gearbeitet. Gesucht ist eine Polymerlösung, welche für die Beschichtung von Silizium-Wafern mit verschiedenen Oberflächeneigenschaften geeignet ist. Im Hinblick auf Herstellung und Einsatz der Sensoren müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Beschichtung des Wafers mit einer Polymerlösung
- ausreichendes Haftvermögen der Polymerschicht auf der Wafer-Oberfläche
- lineare Abhängigkeit der elektrischen Kapazität des Sensors von der Feuchtigkeit in einem weiten Feuchtebereich
- geringe Hysterese-Effekte
- Langzeitstabilität des Sensors über einen Zeitraum von etwa 10 Jahren.

## Wärme- und medienbeständige aromatische Polyimide

Im Bereich der polymeren High-Tech-Werkstoffe sind aromatische Polyimide zentral positioniert. Sie sind durch hohe thermische Stabilität und Medienbeständigkeit charakterisiert. Sie fanden bei der Entwicklung von Feuchtesensoren bereits Anwendung [4]. Ihre Verarbeitung über die in Amidlösungsmitteln gut löslichen Polyamidocarbonsäuren ist mittels spin-coating-Prozessen problemlos möglich. Auch die anschließende thermische Imidisierung bereitet bei dünnen Polymerfilmen keine Schwierigkeiten. Aus Kenntnissen zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen bei Polyimiden ist abzuleiten, dass ein Material auf der Basis von Benzophenontetracarbonsäuredianhydrid (Schema 1, A) und 2,2-Bis-[4-(4-aminophenoxy)-phenyl]-propan (Schema 1, B) die geforderten Verarbeitungs- und Nutzungsanforderungen am besten erfüllen sollte. Entsprechend bekannten Polyimidsynthesen wird die Polymerbildung als zweistufiger Prozess durchgeführt. Zuerst erfolgt die Darstellung der löslichen Polyamidocarbonsäure durch Addition von A und B in einem geeigneten Lösungsmittel. Daran schließt sich die thermisch induzierte Imidisierung an.

### *Darstellungsbedingungen für dünne Polyimid-Schichten*

In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber wurden die verarbeitungsrelevanten Parameter der Polyamidocarbonsäurelösung (Lösungsmittel, Molmasse der Polymere, Konzentration der Polymerlösung, Temperatur) ermittelt und in einem zweiten Schritt

optimiert. Nach dem Auftragen der Lösung mittels Spin-Coating auf dem Wafer kommt es durch thermische Behandlung der Proben zur Entfernung von Solvens und Wasser.

Die Entstehung des Polyimides erfolgt durch thermisch induzierte Dehydratation der gelösten Polyamidocarbonsäure. Parallel dazu wird das Lösungsmittel entfernt. Es konnten Polymer-Schichtdicken von 286 nm bzw. 447 nm auf den Wafern realisiert werden. Mittels Fouriertransformierter Infrarot (FT-IR) -Spektroskopie wurde die Polyimidbildung verfolgt. In Bild 1 sind die IR-Spektren im Wellenzahlen-Bereich von  $2000\text{ cm}^{-1}$  und  $4000\text{ cm}^{-1}$  gegenüber gestellt. Hier geben die sich wandelnden funktionellen Gruppen charakteristische Signale. Wie aus Lage und Intensität der IR-Banden in Bild 1 zu entnehmen ist, beginnt für die verwendeten Polyamidocarbonsäure die Imidbildung ab  $200\text{ °C}$ . Bei  $300\text{ °C}$  sind nach 30-minütiger Polykondensation infrarotspektroskopisch keine Amidstrukturen (Banden um  $3200\text{ cm}^{-1}$  und nahe  $3400\text{ cm}^{-1}$ ) mehr nachweisbar. Dafür erscheinen ab  $200\text{ °C}$  bei  $3480\text{ cm}^{-1}$  die Bande (1. Oberschwingung) für die Imidstruktur. Ihre Intensität nimmt in Übereinstimmung mit dieser Interpretation im Laufe des Temperprozesses zu und scheint sich dann ab einschließlich der  $300\text{ °C}$ - Probe nicht mehr zu ändern (bezogen auf die Signale der aromatischen Ringe um  $3055\text{ cm}^{-1}$ ). Die mit dem eingesetzten Polyimid erreichte Sensorcharakteristik entspricht dem eingangs genannten Eigenschaftsprofil, und bildet die Basis für eine Sensorentwicklung.

## Kontakt



Dr. habil. Gerald Rafler  
Dr. Gunnar Engelmann  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-12 22  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-32 13  
E-Mail: rafler@iap.fhg.de

## Literatur

- [1] Ch.-B. Pank, Y.-H. Lee und S.-B. Yi, *Sensors and Actuators B*, 13-14 (1993) 86-88
- [2] Y. Sakai, *Sensors and Actuators B*, 13-14 (1993) 82-85
- [3] T. Kuroiwa, T. Hayashi and A. Ito, *Sensors and Actuators B*, 13-14 (1993) 89-91
- [4] US5408381 (1995), Johnson Service Company, Milwaukee, WI, Erfinder: P. E. Thoma, C. F. Klein, A. M. Block, R. A. Ralston, C.A. 122 (1995) 161293

# Wasserbasierende Polymersysteme





1. Das Institut
2. Kooperationen
3. Native Polymere
4. Funktionale Polymersysteme
5. Synthese- und Polymertechnik

## 6. Wasserbasierende Polymersysteme

Polymere und Wasser

Modellpolymere mit definierter Architektur

Latex und Alzheimer

Schaltbare kolloidale Kristalle

Permeable Polymerschichten

7. Namen, Daten, Ereignisse





## Polymere und Wasser



Polymersynthese.

### Wasserbasierende Polymersysteme

Das System Polymere und Wasser kann viele industrielle Probleme lösen und findet daher expandierende Märkte: Wasserlösliche Polymere werden vorrangig als Prozesshilfsmittel in der Abwassertechnologie, in biotechnologischen Verfahren, in der Papierindustrie und als Veredelungskomponente in der kosmetischen und pharmazeutischen Industrie sowie in der Mikroelektronik eingesetzt. Wässrige Dispersionen von Polymeren können völlig neue Lösungswege in der Bio- und Nanotechnologie, in der Mikroelektronik und Photonik erschließen.

An dieser Vielfalt orientieren sich die Forschungsarbeiten des Bereiches »Wasserbasierende Polymersysteme«. Sie umfassen das gesamte System Polymere und Wasser und zwar von vollständig wasserlöslichen Polymeren über in Wasser assoziierende Makromoleküle und hydrophile Gele bis zu feinverteilten stabilen Dispersionen in wässriger Trägerphase.



Spinne einer Destillationsapparatur.

### Wasserlösliche Polymere und Gele

Polymere sind wasserlöslich, wenn die Moleküle hinreichend hydrophile Gruppen enthalten. Besonders wirksam sind naturgemäß die ionischen Strukturen von Polyelektrolyten. Wasserlösliche Polymere stellen mit einem Produktionsvolumen von weltweit mehr als einer Million Tonnen pro Jahr einen bedeutenden Anteil der chemischen Industrie dar. Wasserlösliche Polymere sind Schlüsselsubstanzen für Produktveredelungen. Darüber hinaus erfüllen sie viele Funktionen im Umweltschutz. Mit zum Teil sehr geringen Einsatzmengen, oftmals bis hinab in den ppm-Bereich, haben sie in zahlreichen technischen Verfahren technologiebestimmende Bedeutung erlangt. Weltweit sind beachtliche Steigerungsraten der Produktion an wasserlöslichen Polymeren zu verzeichnen. Das beruht unter anderem auf der notwendigen Erweiterung von Wasserreinigungsprozessen. Für die Reinigung der Abwässer aus Industrie und Haushalten sind Hightech-Prozesse erforderlich, wenn daraus wieder nutzbares Brauchwasser oder hygienisch einwandfreies Trinkwasser gewonnen werden soll. Einsatzmengen von Polyelektrolyten im ppm-Bereich bestimmen Technologie und Ökonomie der Verfahren in großen Klärwerken. Problematisch ist jedoch oftmals die Reinigung stark kontaminierter Wässer, was mit klassischen Verfahren oft nur unzureichend gelingt. Hier sind spezielle polymere Hilfsmittel erforderlich, die wir durch spezifische Produktentwicklungen verfügbar machen.

### *Wasserlösliche Polymere für Fest-Flüssig-Trennprozesse*

Wasser ist ein ideales Lösungsmittel: billig, ungiftig, unbrennbar und in großen Mengen vorhanden. Jedoch sind nur wenige Polymere in Wasser löslich. Polymere mit maßgeschneiderten Ladungsverteilungen - Polyelektrolyte - bilden eine Brücke zwischen Wasser als Kontinuum und hydrophoben Stoffen. Daher sind sie beispielsweise in Waschmitteln unverzichtbar. Auch der umgekehrte Fall spielt in der Praxis eine große Rolle: In Wasser suspendierte Feststoffe sollen möglichst vollständig abgetrennt werden. Nicht nur in der Abwasseraufbereitung oder der Schlamm-entwässerung in Klärwerken müssen Probleme solcher Fest-Flüssig-Trennprozesse gelöst werden. Viele industrielle Herstellungsverfahren, wie beispielsweise die Papierproduktion, beruhen auf demselben Prinzip. Polyelektrolyte bewirken die Entwässerung und den gleichmäßigen Aufbau der Papierbahnen. Die Anforderungen an die Entwässerungsbeschleunigung sind immens. Riesige Papierbahnen müssen mit einer Geschwindigkeit von 2000 Meter pro Sekunde fehlerfrei verarbeitet werden. Reißt eine Bahn, ist der Produktionsausfall enorm. Durch immer neue Bestandteile des Papiers müssen diese Polymersysteme an jeden Prozess individuell angepasst werden. Die Kunst der Polymerschneiderei besteht darin, zwar das Wasser effektiv aus dem Papierbrei zu entfernen, dabei aber alle anderen Papierhilfsmittel wie Pigmente, Bleich- oder Bindemittel im Papier zu belassen. Diese Prozesshilfsmittel sorgen außerdem dafür, dass das Wasser sauber entfernt wird und daher im Kreislauf genutzt werden kann. Bei der Schlamm-entwässerung in Kläranlagen tritt noch ein weiteres

Problem auf: die ungeheure Scherbelastung durch die technischen Aggregate, die den Wassergehalt reduzieren. Dadurch besteht die Gefahr, dass die feste Masse des Schlammrückstandes wieder aufgebrochen wird, und die Entwässerung sich verschlechtert. Hier haben sich kationische Polyelektrolyte mit gezielt angepasster Molekülarchitektur außerordentlich bewährt.

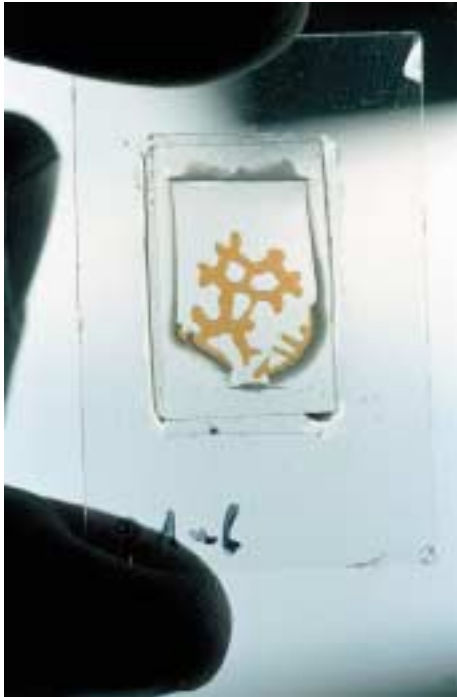
### *Neue Strukturen, bessere Verfahrenstechnik*

Unsere Lösungskonzepte für die Papierindustrie oder die Schlamm-entwässerung setzen von zwei Seiten an: Synthese neuer Polyelektrolytstrukturen durch gezielte Veränderung der Ladungsdichte oder des Verzweigungsgrades einerseits. Andererseits entscheidet die richtige Verfahrenstechnik zur Herstellung dieser Strukturen über die wirtschaftliche und umweltfreundliche Verwendbarkeit. Zur Herstellung solcher Polymere im industriellen Maßstab bringt man Monomere in hoher Konzentration zur Reaktion. Dabei entsteht eine erhebliche Wärme, die abgeführt werden muss. Zusätzlich muss man die Viskosität der Reaktion gezielt steuern können. Früher löste man diese Probleme durch eine Reaktion in inverser Emulsion: die hydrophilen Monomere wurden als konzentrierte wässrige Lösung in einer ölhaltigen Lösung in winzigen Tropfen fein verteilt. Es bilden sich Mikroreaktoren, in denen die Reaktionswärme über die Wasser-Öl-Phasengrenze abgeführt werden kann. Problematisch ist allerdings, dass das Öl vor der Anwendung nicht abgetrennt wird, sondern in den jeweiligen Wasserkreislauf gerät. Seit ungefähr 10 Jahren versucht man dieses Verfahren durch eine Dispersionspolymerisation zu ersetzen,

indem statt Öl Wasser selbst die kontinuierliche Phase darstellt. Dazu nutzt man die unterschiedliche Löslichkeit von Monomeren und Polymeren in einer wässrigen Lösung anorganischer Salze. Bei bestimmten Ionenstärken sind nur die Monomere löslich, die Polymere bilden eine feine, stabile Dispersion. Es gelang durch geschickte Wahl der Rahmenbedingungen den Salzeinsatz zu reduzieren.

### *Definierte Molekülarchitektur regulärer Polyelektrolyte*

Durch Kombination zweier Monomere mit unterschiedlicher Hydrophilie entstehen Polymere mit neuen Eigenschaften. Dabei bauen wir die Makromoleküle nicht mit einer statistischen Verteilung der Monomere auf, sondern mit einer definierten Anordnung im Polymer. Durch die gezielte Kombination von Monomeren entstehen drei wesentliche »reguläre« Strukturen: die beiden Monomere wechseln sich alternierend in der Kette ab, oder sie sind in zwei (oder mehreren) Blöcken angeordnet. Schließlich ist auch eine kammartige Struktur möglich: Ein Monomer bildet das Rückgrat, das zweite die Seitenäste. Erst diese definierte Struktur macht neue Anwendungen möglich: Durch Kombination von Monomeren mit komplexbildenden Gruppen gelingt eine effiziente Immobilisierung von Schwermetallen. Hydrophob modifizierte Polyelektrolyte spielen in der Kosmetik eine große Rolle, um die Wasserlöslichkeit von Wirkstoffen beispielsweise in Cremes zu verbessern und außerdem die Lagerstabilität zu erhöhen. Polymere aus ionischen und nichtionischen Monomeren steigern die Stabilität von Dispersionen für technische Zwecke.



Präparierte Polymerdispersionen.

### Schaltbare Gele

Manche hydrophilen Polymere bilden Netzwerke, die sich zwar in Wasser nicht lösen aber extrem gut Wasser festhalten können. Durch gezielte Aufnahme und Abgabe von Wasser werden derartige Hydrogele eingesetzt im hygienischen Bereich in Windeln oder Verbandmaterial sowie in der chemischen Analyse als Festelektrolyt. Sie lassen sich ebenfalls als intelligente Materialien nutzen. Unter äußeren Einflüssen wie Temperatur oder pH-Wert-Änderungen kollabieren Mikrogele schlagartig. Sie vollziehen einen Gel-Sol-Übergang. Möglich ist es, wasserlösliche Wirkstoffe, wie Medikamente in die Gele einzulagern, die dann durch gezielte Umweltbedingungen freigesetzt werden.

### Poröse Schichten für die Schuhindustrie

Derartige schaltbare Gele vereinfachen die Herstellung poröser Polymerschichten, die beispielsweise Schuhe weicher und bequemer machen. Bisher war es für mittelständische Unternehmen viel zu aufwändig, Polyurethanschichten mit porösen Kapillaren herzustellen. Gerade für mittelständische Unternehmen entwickelten wir einen neuen Koagulationsprozess. Dabei helfen spezielle Mikropartikel mit einer porös hydrophoben Hülle um einen thermisch sensiblen Kern aus einem Hydrogel. Bei Raumtemperatur lässt die Hülle kein Wasser aus dem Kern entweichen. Bei Erwärmung über eine kritische Temperatur schrumpft das Gel im Kern dramatisch und gibt das Wasser frei. Die Porosität der Hülle ist dann so groß, dass das Wasser ungehindert in die Umgebung abgegeben werden kann.

### pH-Elektroden für extreme Messbedingungen

pH-Glaselektroden mit einem verfestigten Elektrolyt haben einen Marktanteil von 70 % unter heutigen technischen Elektroden. Die marktgängigen gelgefüllten pH-Glaselektroden auf der Basis von Polyacrylamid altern leider rasch und sind empfindlich gegen die sogenannten Elektrodengifte wie Sulfide. Die gemeinsam mit einem mittelständischen Unternehmen entwickelten Elektroden auf der Basis von hydrolysestabilen Hydrogelen sind auch unter extremen Bedingungen langzeitstabil (pH-Wert zwischen 0 und 14 und bei Temperaturen um 150 °C). Die störenden Elektrodengifte werden ausgeschaltet, indem sie durch die Gelmaterialien immobilisiert werden.



Partikelektrophorese zur Messung der Teilchenmobilität.

## Dispersionen und Kolloide

Auch wasserunlösliche Polymere können als feinste Verteilung im wässrigen Medium präpariert, transportiert und verarbeitet werden. Bekannt sind wasserverdünnbare Dispersionsanstriche. Durch geeignete Syntheseverfahren können wir Größe, Größenverteilung, Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit der Kunststoffteilchen im Nano- bis Mikrometerbereich systematisch beeinflussen. Industrielle Anforderungen wie Viskosität, Lagerstabilität und Filmbildungsverhalten von wässrigen Dispersionen können wir so gezielt steuern. Zahlreiche innovative Technologien für Beschichtungen in Papier- und Bauchemie oder in der Kosmetik profitieren davon.

### *Polymerkolloide für biomedizinische Anwendungen*

Polymerkolloide mit einheitlicher Größe und Oberflächeneigenschaft sind ideale Träger für Biomoleküle, wie Enzyme, Lektine und Antikörper. Sie besitzen eine große spezifische Oberfläche, sowohl für adsorptive Beladung als auch für feste chemische Kopplung. Das nutzt man beispielsweise in der medizinischen Diagnostik aus: Bindet man Antikörper gegen Röteln-, Rheuma- oder Grippeerreger an die Teilchenoberfläche, dann reagieren die passenden Antigene aus Blut-, Urin- oder Lymphproben nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip mit den gebundenen Antikörpern. Jeder Antikörper besitzt zwei oder drei Bindungsstellen. So entstehen rasch große Komplexe, die ausflocken und sichtbar werden. Der Infektionsbefund liegt innerhalb weniger Minuten vor. Zusätzlich können Farbstoffe, Fluores-

zenzmarker oder ein magnetischer Kern in die Trägerteilchen eingebaut werden. Diagnostische Tests werden so noch empfindlicher. Darüber hinaus eröffnen sich therapeutische Möglichkeiten: Knochenmark kann transplantiert werden, nachdem Krebszellen durch die magnetische Wirkung dieser Teilchen entfernt wurden.

### *Kolloidale Kristalle für die Optik*

Feinste kugelförmige Polymerteilchen können hochgeordnete kristallähnliche Strukturen bilden, wenn sie in sehr einheitlicher Größe hergestellt werden. Die Kügelchen liegen dicht gepackt in einem dreidimensionalen Gitter mit Abständen, die der Wellenlänge von Licht entspricht. Kolloidale Kristalle haben daher interessante optische Eigenschaften. Zusammen mit dem Institut für Dünnschichttechnologie und Mikrosensorik (IDM) und einem mittelständischen Unternehmen der optischen Industrie prüfen wir Wege, um optische Sensorelemente aus diesen Gittern herzustellen. Im Gegensatz zu zweidimensionalen Gittern können dreidimensionale Gitter nicht mit den konventionellen mikrolithographischen Ätztechniken hergestellt werden. Der Aufbau aus vorgefertigten Nano- oder Mikrobausteinen ist erfolgversprechend. Zusätzlich können bestimmte Schaltfunktionen von vornherein in das Gitter integriert werden: Die Gitterkonstante lässt sich beispielsweise durch Quellen der Kristalle verändern. So können andere Wellenlängen detektiert werden.

## Kontakt



Dr. habil. Werner Jaeger  
Forschungsbereichsleiter  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-13 18  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: jaeger@iap.fhg.de

## Modellpolymere mit definierter Architektur

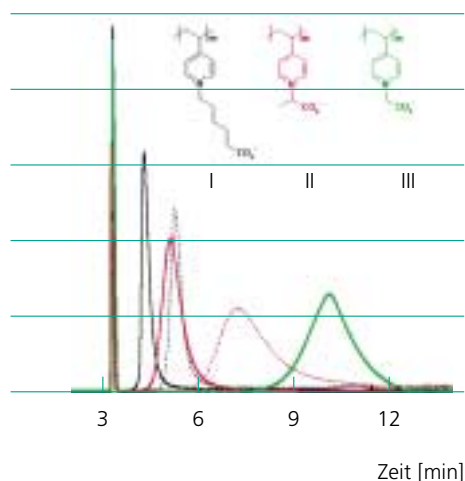


Bild 1 Vergleich der relativen Mobilitäten der Polycarbobetaine I, II und III in der Kapillarelektrophorese (Vergleichssubstanz 2-Aminopyridin).

### Synthese und Charakterisierung neuer Polycarbobetaine

Polyelektrolyte werden vielseitig in verschiedenen Zweigen der Industrie, beispielsweise in der Textil-, Papier-, Kosmetik- und Waschmittelbranche, eingesetzt. Zudem besitzen sie ein breites Anwendungsfeld bei Trennprozessen wie Flockung und Flotation sowie in medizinischen und biologischen Anwendungen. Polybetaine als entsprechende zwitterionische Strukturen sind von zunehmendem wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Interesse, nicht zuletzt aufgrund ihrer strukturellen Verwandtschaft zu Peptiden und lebender Materie. Um die Performance von Polyelektrolyten/Polybetainen zu optimieren, ist es notwendig, die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zu untersuchen. Diesem Zweck dienen Modellpolymere - Polymere mit definierter Architektur. Nur sie ermöglichen es, die detaillierte Strukturkenntnis dem vielseitigen Eigenschaftsbild gegenüberzustellen. Eine sehr leistungsfähige Synthesestrategie ist die Funktionalisierung von Precursorpolymeren mittels polymeranaloger Umsetzung zu geladenen Strukturen, weil sie es erlaubt, verschiedene funktionelle Gruppen am Polymer zu verankern, ohne den Polymerisationsgrad zu verändern. Zur Synthese der Precursorpolymere hat sich die kontrollierte radikalische Polymerisation als effizientes Hilfsmittel erwiesen, das es ermöglicht, vergleichsweise unaufwändig Polymere mit Polydispersitäten kleiner als 1,4 zu erhalten.

### Synthese

Mit verschiedenen Strategien lassen sich so strukturell sehr variable polymere Carbobetaine herstellen (siehe Jahresbericht 1999 Fraunhofer IAP, S. 54). Diese zeichnen sich durch eine permanente positive Ladung (Ammoniumstickstoff) und eine latente negative Ladung (Carboxylgruppe) in jeder Monomereinheit aus. Das macht Carbobetaine im Hinblick auf pH-abhängige Schaltvorgänge sehr attraktiv.

Wie die bisher durchgeführten Untersuchungen zeigen, sind Art der Substitution und Hybridisierung am quaternären Stickstoffatom verantwortlich für sehr unterschiedliche Lösungs- und Aggregations-eigenschaften ansonsten sehr ähnlicher Strukturen.

Im Weiteren sollte nun geklärt werden, inwieweit sterische Hinderung am  $\alpha$ -Kohlenstoff sowie die räumliche Trennung der geladenen Einheiten das pH-abhängige Eigenschaftsprofil verändern. Zu diesem Zweck wurde kontrolliert radikalisch polymerisiertes 4-Vinylpyridin mit entsprechenden Halogencarbonsäureestern umgesetzt und anschließend verseift. Ein Teil der synthetisierten homologen Strukturen ist in Bild 1 zu sehen.



## Mobilität im elektrischen Feld

In Zusammenarbeit mit der Universität Saarbrücken konnten mittels Kapillarelektrophorese deutliche struktur- und pH-Wert-abhängige Mobilitätsunterschiede der Verbindungen nachgewiesen werden.

Theoretisch zeigen Polycarbobetaine pH-abhängig ein Lösungsverhalten zwischen Polykation im sauren und amphiphilem Polymer im basischen pH-Bereich. Je nach Umfang der intra- und intermolekularen Aggregation verringert sich der Einfluß des pH-Wertes auf den Lösungszustand und damit auf die Mobilität der Polymere im elektrischen Feld. Das zeigt sich deutlich, vergleicht man Verbindungen I, II und III (Bild 1). Hier stellen die durchgezogenen Linien die Mobilitätsverteilung der Polymere bei pH = 2, die unterbrochenen Linien bei pH = 3 dar. Die ausgeprägteste Aggregationstendenz (= geringster positiver Ladungsüberschuss) findet sich beim Polycarbobetain III, dessen äußerst geringe Mobilität bei pH = 3 nicht mehr darstellbar ist. Dagegen führen schon eine Methylgruppe in  $\alpha$ -Stellung zum Stickstoffatom (Verbindung II) und schließlich die räumliche Trennung der geladenen Einheiten (Verbindung I) zu einer deutlichen Verringerung der Ladungswechselwirkungen und damit zu einem Anstieg der elektrophoretischen Mobilität.

## IR-Spektroskopie

Neben dieser sehr eleganten Methode sowie der Säure-Base-Titration lässt sich auch die IR-Spektroskopie zur Quantifizierung dieser Phänomene heranziehen. So ist die Lage der antisymmetrischen C=O Valenzschwingung ein direktes Maß für die Wechselwirkung der Carboxylgruppe mit den Ammonium-Einheiten.

Sterisch kaum abgeschirmte Ladungen, wie sie beispielsweise im Pyridiniumbetain III auftreten, erlauben die Ausbildung einer starken Wechselwirkung mit Carboxylatgruppen. IR-spektroskopisch äußert sich das in einer zu höheren Wellenzahlen verschobenen Bande der antisymmetrischen C=O Valenzschwingung (z. B.  $1643\text{ cm}^{-1}$ , Verbindung III), kapillarelektrophoretisch in geringer Mobilität. Stark abgeschirmte oder durch Spacer voneinander getrennte Ladungen führen dagegen zu geringer Assoziation. Im IR-Spektrum erscheint die antisymmetrische C=O Valenzschwingung bei einer bis zu  $16\text{ cm}^{-1}$  niedrigeren Wellenzahl (z. B.  $1638\text{ cm}^{-1}$ , Verbindung I) und in der Kapillarelektrophorese wird eine bis zu 2-fache Mobilität beobachtet. Die Verknüpfung dieser interessanten pH-sensitiven Eigenschaften mit den Anwendungsfeldern von amphiphilen Blockcopolymeren, zum Beispiel als Stabilisatoren in der Emulsionspolymerisation, wird gegenwärtig untersucht.

## Kontakt



Dr. Jörg Bohrisch  
Dipl.-Chem. Thomas Schimmel  
Dr. habil. Werner Jaeger  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-13 31  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: bohrisch@iap.fhg.de

## Förderung

Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG  
Förderkennzeichen Ja 555/5-3

## Kooperation

Universität Saarbrücken



## Latex und Alzheimer

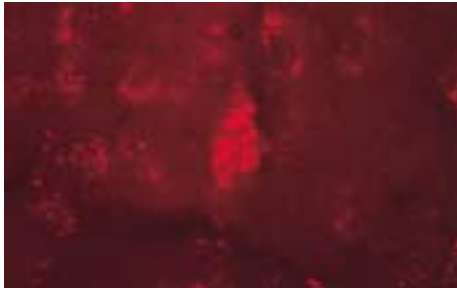
### Kunststoffkolloide für Neurotherapien

In der heutigen Überfluss- und Konsumgesellschaft breiten sich Zivilisationskrankheiten rasch aus. Bewegungsarmut, Stress und falsche Ernährung verursachen Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Rückenleiden und Magen-Darmbeschwerden. Ein besonderes Feld stellen psychische und psychosomatische Störungen sowie Demenzen dar. Unter Demenz versteht man den Verlust an kognitiven Fähigkeiten, wie Urteilsvermögen, Abstraktionsfähigkeit, Sprache und Gedächtnis. War es vor 100 Jahren noch absolut unwahrscheinlich, zwischen 40 und 60 Jahren davon befallen zu werden, sind heute mehr und mehr Menschen in allen Industrieländern betroffen. In der Bundesrepublik leiden in der Altersgruppe über 65 Jahre 5 - 6 % an einer mäßigen bis schweren Demenz. In etwa 60 % der Fälle scheint es sich dabei um die vom Neurologen Alois Alzheimer 1906 erstmals beschriebene Krankheit zu handeln.

#### *Proteinablagerungen blockieren das zentrale Nervensystem*

Diese Entwicklung hat eine breit angelegte und intensiv geförderte, interdisziplinäre Grundlagenforschung ausgelöst. Daran beteiligen sich unter anderem Neuroanatomen, Neurochemiker, Elektrophysiologen, Neuropathologen und Proteinchemiker. Heute gilt als bewiesen, dass die Ablagerung unlöslicher Amyloid-Proteine, unter anderem im basalen Vorderhirn, ursächlich für die verminderte oder blockierte Erregungsleitung im zentralen Nervensystem verantwortlich ist. Zu diesem Forschungsergebnis

haben Hilfsmittel für die Untersuchung der Feinstruktur des Säugetierhirns bemerkenswert beigetragen, wie beispielsweise fluoreszenz-markierte Nanopartikel aus synthetischen Polymeren [1]. Erste Therapieansätze verfolgen zwei Zielrichtungen: a) die Entstehung und Ablagerung der so genannten »neuritischen Plaques« oder »neurofibrillären Bündel« hinauszuzögern oder zu verhindern und b) eine Wiederauflösung bereits erfolgter Ablagerungen zu versuchen. Pharmakologen und Peptidchemiker haben erste Wirkstoffe für beide Wege gefunden (Melatonin Rifampicin, Direct fast yellow, Thioflavin S, Thioflavin T, Kongorot, Chrysamin G). Ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft getragenes Verbundprojekt, das Hirnforscher der Universitäten Groningen (Niederlande), Szeged (Ungarn) und Leipzig vereint, erforscht Wege zur Wiederauflösung der Ablagerungen. Durch eine langjährige, fruchtbare Kooperation mit dem Paul-Flechsig-Institut für Hirnforschung an der Universität Leipzig nimmt das Fraunhofer IAP als Partner an dieser Gemeinschaftsaufgabe teil.



Durch Rhodamin gefüllte Latexteilchen markierte Nervenzelle im Mäusehirn  
oben: Neuron, unten: Astrogliazellen.

## Biokompatible Träger aus synthetischen Polymeren für den Wirkstofftransport

Präpariert und charakterisiert werden Trägerteilchen aus synthetischen Polymeren für eine vorbereitende Tierstudie. Sie werden während des Partikelwachstums oder auch nachträglich mit Wirkstoffen unterschiedlicher Strukturtypen und Eigenschaftsbilder beladen. Teilchenmorphologie und Polymermatrix werden dem Wirkstoff angepasst, ebenso die Art und Weise seiner Einbringung und Kopplung.

Als einfachste wirksame Substanz erwies sich in klinischen Tierstudien bislang der Farbstoff Kongorot. Er wurde von uns per Einschlusspolymerisation in Polybutylcyanoacrylat-Nanopartikeln (PBCA) fixiert. Sie werden als biologisch abbaubar eingestuft. Im Zuge ihrer Erosion setzen sie den Wirkstoff frei. Um auch nach längerer Zeit Trägerpartikel noch zweifelsfrei im Tiergewebe lokalisieren zu können, wurden zum Vergleich Kern-Schale-Teilchen aus Polystyren (PS) und PBCA synthetisiert. Der PS-Kern wirkt wie ein mit Kongorot gesättigter Schwamm. Er gibt den Wirkstoff ab, wenn die äußere Schale weitgehend abgebaut ist. Beide Partikelsysteme werden in Leipzig und Groningen appliziert und getestet. Auf der Wirkstoffliste finden sich weiterhin Peptide, Hormone und Enzyme. Sie werden über Esterbindungen an Polyacrylsäuregele gekoppelt. Das in dieser ersten Projektphase vorgesehene Spektrum an Trägerteilchen wird durch hydrolysierte Polyvinylacetat-Latexteilchen abgerundet. Chemisch stellen sie Nanokolloide aus Polyvinylalkohol dar. Derartige Carrier werden als besonders biokompatibel angesehen.

## Kolloide passieren die Blut-Hirn-Schranke

Noch vor wenigen Jahren galt die Nutzung von kolloidalen Trägerteilchen für eine medikamentöse Therapie des zentralen Nervensystems als Illusion und Utopie. Dann jedoch wurde die Passage der Blut-Hirn-Schranke als erstes und exklusiv mittels kolloidaler Wirkstoffträger aus Polymeren erreicht und beobachtet [2]. Heute sind Trägerteilchen, wie die beschriebenen, Favoriten auf dem Weg zu einer wirksamen Therapie der um sich greifenden Volkskrankheit Alzheimersche Demenz.

## Kontakt



Dr. Bernd-Rainer Paulke  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-11 59  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail paulke@iap.fhg.de

## Kooperation

Paul-Flechsig-Institut für Hirnforschung,  
Universität Leipzig

## Literatur

- [1] B.-R. Paulke, W. Härtig, G. Brückner, »Synthesis of nanoparticles for brain cell labeling in vivo«, Acta Polymerica, 43 (1992) 288-291  
[2] R.N. Alyautdin, V.E. Petrov, K. Langer, A. Berthold, D.A. Kharkevich, J. Kreuter, »Delivery of Loperamide across the Blood Brain Barrier with Polysorbate 80-Coated Polybutylcyanoacrylate Nanoparticles«, Pharmaceut. Res. 14 (1997) 325 - 328

## Schaltbare kolloidale Kristalle



Bild 1 Laserbeugung an geordneten kolloidalen Partikeln

Nr.	Teilchengröße des Saatlatex [nm]	Teilchengröße des Kern-Schale-Latex [nm]	Polydispersität
1	152	177	0,04
2	152	365	0,07
3	152	236	0,04

Tabelle 1 Auswahl an synthetisierten Kern-Schale-Latices

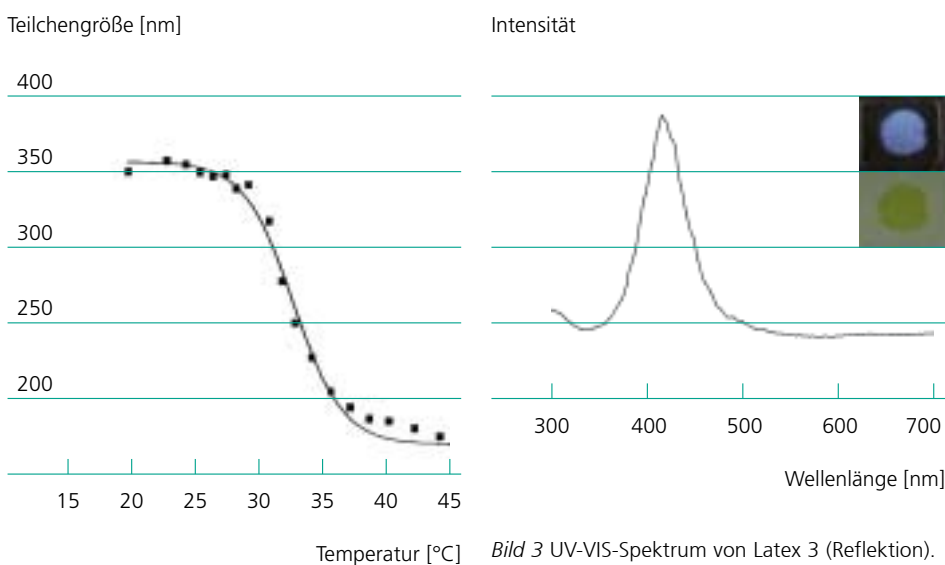


Bild 2 Schaltverhalten von Latex 2.

Bild 3 UV-VIS-Spektrum von Latex 3 (Reflektion). Die Photos zeigen Latex 3 im Auflicht (blau) und im Durchlicht (gelb)..

### Geordnete Strukturen für optische Bauelemente

Die Ausbildung hoch geordneter (kristalliner) Strukturen aus monodispersen Polymerpartikeln (Latexpartikel) ist seit einigen Jahren Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Untersuchungen. Etablierte Methoden zur Herstellung kolloidaler Kristalle (langsame Partikelsedimentation, Zentrifugation, Spin-Coating, elektrophoretische Abscheidung) basieren auf der Selbstorganisation von Partikeln, die durch ein abstoßendes Potential (hard sphere interactions) gekennzeichnet sind. Aber auch Coulomb-Wechselwirkungen können für die Ausbildung geordneter Strukturen verantwortlich sein. So ist bekannt, dass Latices mit hoher Oberflächenladung in verdünnten Dispersionen spontan Kristallgitter bilden können, wenn die Lösung salzfrei ist. Derartige geordnete Strukturen auf Basis von Polymerkolloiden sind auf Grund der charakteristischen Längenskala ihrer Kristallgitter in der Größenordnung der Lichtwellenlänge durch spezifische optische Eigenschaften gekennzeichnet. Potentielle Anwendungen für kolloidale Kristalle werden deshalb in erster Linie auf dem Gebiet der Sensorik und der optischen Bauelemente gesehen. Die Realisierung potentieller Anwendungen ist jedoch an die Lösung folgender Probleme gebunden: Zum einen an die Entwicklung von Materialien und Techniken zur reproduzierbaren Herstellung der Strukturen in den für die jeweilige Anwendung erforderlichen Dimensionen (Monoschicht, Multischicht, ...), Abmessungen und Qualitäten, und zum anderen an die Fixierung der gebildeten Strukturen zur Herstellung handhabbarer Bauelemente.

## Kolloidale Kristalle aus thermisch schaltbaren Kern-Schale-Latexteilchen

Eine neue Qualität gewinnen die kolloidalen Kristalle, wenn sie in thermisch schaltbare Gele eingebettet werden. Dann können sie auf Temperaturänderung mit einer kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Eigenschaftsänderung (z. B. Transparenz, Farbigkeit) reagieren. Der Ansatz, den wir verfolgen, ist ein etwas anderer: Wir versuchen diese Schalteffekte mit Hilfe von Kern-Schale-Partikeln zu realisieren, die aus einem harten Kern (Polystyrol) und einer flexiblen, schaltbaren Hülle (Poly-(N-isopropylacrylamid), Poly-NIPAM) bestehen.

### *Synthese der Kern-Schale-Latices*

Durch Emulsionspolymerisationen wurden zunächst reine Polystyrol-Saatlatices mit verschiedenen Teilchengrößen und sehr engen Verteilungen (Polydispersität  $< 0,01$ ) synthetisiert. Die weiteren Synthesearbeiten zeigten jedoch, dass diese Partikel für das Aufpolymerisieren einer NIPAM-Schale ungeeignet waren. Daher wurde die Herstellung der Latices optimiert. Mit der Synthese sehr eng verteilter Polystyrol-Saatlatices mit einem geringen Anteil NIPAM (5 %) und der anschließenden Aufpolymerisation der NIPAM-Schicht nach einem strengen Dosierregime wurde ein geeigneter Weg gefunden, eng verteilte Kern-Schale-Latices herzustellen (Tabelle 1).

### *Charakterisierung der Kern-Schale-Latices*

Die synthetisierten Kern-Schale-Latices wurden umfassend charakterisiert:

- Partikelgrößenverteilung (Photonenkorrelationsspektroskopie (PCS), Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), Analytische Ultrazentrifuge (AUZ))
- Untersuchung des Schaltverhaltens bei Temperaturveränderung (PCS)
- Ladungsdichte (Polyelektrolyt-Titration), Partikelmobilität (Elektrophorese)
- Untersuchung der optischen Eigenschaften geordneter Strukturen im Latex und in dünnen Schichten (UV-VIS-Spektroskopie).

Das Schaltverhalten der Kern-Schale-Latices entspricht den Erwartungen: Bei der Schalttemperatur von Poly-NIPAM (ca. 32 °C) kollabiert die Schale, und es wird ein starker Abfall der Teilchengröße gefunden (Bild 2).

### *Bildung geordneter Strukturen*

Kern-Schale-Latices wurden mittels Zentrifugation aufkonzentriert und zwischen zwei Quarzträgern fixiert. Die Latices ergeben homogene, transparente Filme, die in Abhängigkeit von der Teilchengröße Licht unterschiedlicher Wellenlänge reflektieren. Die Untersuchung dieser Filme erfolgte mit Hilfe eines UV-VIS-Spektrometers. Aus dem Spektrum ist ersichtlich, dass der aus Latex 3 hergestellte Film blaues Licht reflektiert (Bild 3). In Transmission hingegen erscheint der Film gelb (Bild 3). Im weiteren Verlauf der Arbeiten werden die Teilchengrößen der Latexpartikel so variiert, dass die optischen Effekte den gesamten Bereich des sichtbaren Lichts abdecken. Des Weiteren sollen die kolloidalen Kristalle in einer Polymermatrix stabilisiert und somit ihre Handhabbarkeit verbessert werden.

## Kontakt



Dr. Bernd-Rainer Paulke  
Dr. Eckhard Görnitz  
Dr. Antje Lieske  
Dr. Dirk Ruppelt  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-13 30  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: ruppelt@iap.fhg.de

## Förderung

Bundesministerium für Bildung und Forschung,  
BMBF-Projekt »Neue Materialien und  
Chemische Technologien-NMT«  
Förderkennzeichen NMT/03N8613



# Permeable Polymerschichten

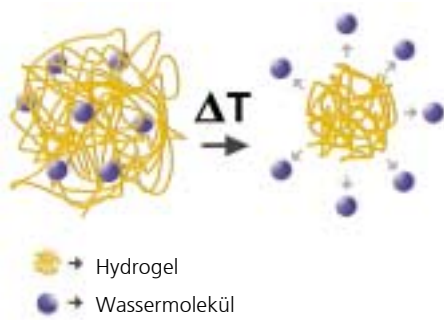


Bild 1 Schematische Darstellung des »Schaltvorganges« eines Hydrogels.



Bild 2 Elektronenmikroskopische Aufnahme eines umhüllten Hydrogelpartikels.



Bild 3 Elektronenmikroskopische Aufnahme eines umhüllten Partikels nach Temperaturbelastung.

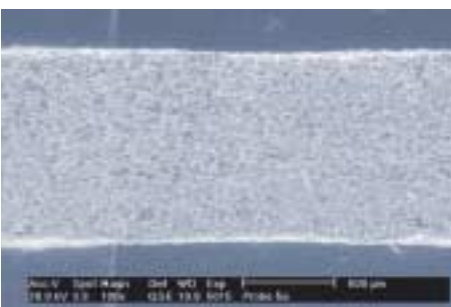


Bild 4 Poröse Polyurethanschicht aus dem entwickelten Koagulationsprozess.

## Koagulation von Polyurethan-Lösungen mit Hilfe thermisch sensibler Hydrogele

Verbundmaterialien mit porösen Polymerschichten als Wirkkomponente werden in zahlreichen Applikationsgebieten erfolgreich eingesetzt, wie im Sport- und Freizeitsektor als Schuh- oder Bekleidungsmaterial, wo sich die Materialien durch einen hohen Tragekomfort auszeichnen. Im Falle von Polyurethanschichten im Dickenbereich größer als 100 µm ist zur Ausbildung entsprechender poröser Kapillarstrukturen nur das Koagulationsverfahren geeignet, wobei eine spezielle Anlagentechnik erforderlich ist, die aus Auftragstechnik, Koagulationsbad und Auswaschstrecke besteht. Dieses Verfahren ist ökonomisch und ökologisch extrem aufwendig. Hersteller von Kunststoffbahnen verfügen in der Regel nicht über derartige hochinvestive Anlagen. Eine deutliche Verbesserung eines Koagulationsverfahrens ist deshalb insbesondere mit Blickrichtung auf kleinere Unternehmen notwendig.

### Innovation des Verfahrens

Innerhalb einer Gemeinschaftsforschung zwischen dem Forschungsinstitut für Leder- und Kunstleder-technologie (FILK) und dem Fraunhofer IAP wurde ein neuartiges Verfahren zur Polyurethankoagulation entwickelt, bei dem die »klassische« Koagulation (Diffusion des Fällmittels Wasser von außen) durch kontrollierte, thermisch initiierte Freisetzung von Wasser von »innen« heraus unterstützt wird. Dazu wird ein spezifisches Hydrogel in der Lösung von Polyurethan (PUR) in Dimethylformamid (DMF) homogen verteilt. Durch Temperaturerhöhung

über die stoffspezifische Phasenübergangstemperatur des Hydrogelmaterials schrumpft das Gel und setzt Wasser frei. Wird das Polymergel in ausreichender Menge der PUR-Lösung zugesetzt, bewirkt dies eine sofortige Ausfällung des PUR-Materials. Die Entwicklung von geeigneten Polymerstrukturen, die die Wasserfreisetzung bei optimalen Temperaturen gewährleistet, sowie die Entwicklung entsprechender Hydrogele mit optimalen Partikelgrößen und mit gesteuerter Permeation, war dabei Aufgabe des Fraunhofer IAP.

### Hydrogele mit steuerbarer Permeabilität

Als wasserspeichernde Polymere sind prinzipiell lower critical solution temperature (LCST)-Polymere in Form von Hydrogelen geeignet, die in wässrigen Systemen ein thermisch sensiblisierbares Phasenübergangsverhalten aufweisen. Bei Temperaturerhöhung über die Phasenübergangstemperatur reagieren derartige, hochgequollene Polymergele mit einer drastischen Volumenschrumpfung, wobei das im Inneren physikalisch gebundene Wasser freigesetzt wird (Bild 1).

N-Isopropylacrylamid (NIPAM) ist hierfür eine geeignete Monomerbasis, die »Schalttemperatur« liegt bei 32 °C. Wegen der Verträglichkeit der LCST-Polymermaterialien mit dem PUR-Lösungsmittel DMF mußte von vornherein eine Formulierung der Partikel in einer porösen, hydrophoben Schutzhülle konzipiert werden. Die Entwicklungsarbeiten zur Darstellung effizienter Gelmaterialien erfolgen deshalb in drei Teilrichtungen:

- Tailoring von linearen LCST-Polymeren auf eine Phasenübergangstemperatur zwischen 50 bis 60 °C

- Erarbeitung optimaler Bedingungen für die Durchführung der Gelsynthesen über einen Inversemulsionspolymerisationsprozess
- Suche nach geeigneten Umhüllungsvarianten und Optimierung des Prozesses.

Die Einstellung der Phasenübergangstemperatur auf eine für den Schritt der Einarbeitung der Gelpartikel in die Polymerlösung verfahrenstechnisch notwendige Temperatur von 50 bis 60 °C wurde durch den Einbau kationischer Gruppierungen in die Poly-NIPAM-Kette erreicht. Die Optimierung der Rezepturen zur Synthese von monomodal verteilten Gelpartikeln über eine inverse Emulsionspolymerisation führte zu Gelprodukten mit einem mittleren Teilchendurchmesser kleiner als 5 µm bei einem Wasseranteil von 90 %. Die Teilchenvolumen reduzieren sich beim Phasenübergang auf 35 %.

Die eigentliche Herausforderung bestand in der Darstellung einer steuerbaren Permeabilität des Quellmittels Wasser aus den Partikeln in das umgebende Lösungssystem Polyurethan in DMF. Durch eine Gestaltung des Syntheseverfahrens als zweistufigen Eintopfprozess, indem der eigentlichen Partikeldarstellung durch inverse Emulsionspolymerisation eine Fällungspolymerisation von Styren/Divinylbenzen nachgeschaltet wurde, gelang es, eine in Abhängigkeit von den Synthesebedingungen bei der Fällungspolymerisation einstellbare Permeabilität zu erreichen. Im Ergebnis der Umhüllung der Primärpartikel mit einer Styrenschale wurde eine Zunahme der mittleren Teilchengröße um bis zu 100 % erzielt, der Anteil an Styren/Divinylbenzen in der isolierten Trockenmasse entsprach dabei dem eingesetzten Massenverhältnis. Bild 2

zeigt die elektronenmikroskopische Aufnahme eines umhüllten Hydrogelpartikels, wobei der Aufbau aus kompaktem Gelkern und poröser Schale deutlich zu erkennen ist.

Mittels Oszillationsuntersuchungen am Rheometer und DSC-Messungen ließ sich das »Schaltverhalten« der Gelpartikel in den entsprechenden PUR-Formulierungen eindeutig nachweisen. Elektronenmikroskopische Aufnahmen thermisch belasteter Gelmaterialien zeigen eruptionsartige Verformungen der Partikelhülle, die durch den Austritt von Wasser aus den Partikeln verursacht werden (Bild 3).

#### *Koagulation*

Die verfahrenstechnische Gestaltung des neuartigen Koagulationsprozesses war Aufgabe des Kooperationspartners (FILK Freiberg). Dies implizierte Untersuchungen zur Stabilität der Gelpartikel unter Scherbeanspruchung, die Entwicklung geeigneter Methoden zur homogenen Verteilung der Partikel in die PUR-Lösungen, sowie die Auswahl und Erprobung unterschiedlicher Energiearten zur Erzeugung einer gleichmäßigen Koagulation. Bild 4 zeigt eine nach dem entwickelten Verfahren (siehe Patente) hergestellte poröse Polyurethanschicht. Die Struktur der Polyurethanschicht entspricht dabei uneingeschränkt den Zielvorgaben.

#### Kontakt



Dr. Mathias Hahn  
 Telefon: +49 (0) 331 / 56 8- 13 20  
 Fax: +49 (0) 331 / 56 8-31 10  
 E-Mail: hahn@iap.fhg.de

#### Förderung

Haushaltsmittel des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft »Otto von Guericke« e.V. (AiF) Förderkennzahl 11731B

#### Kooperation

Forschungsinstitut für Leder- und Kunstledertechnologie, FILK, Freiberg

#### Patente

M. Hahn, A. Mädler, M. Stoll,  
 AZ 100 63 198.3  
 A. Mädler, M. Stoll, M. Hahn,  
 AZ 100 63 197.5

# Namen, Daten, Ereignisse



1. Das Institut
2. Kooperationen
3. Native Polymere
4. Funktionale Polymersysteme
5. Synthese- und Polymertechnik
6. Wasserbasierende Polymersysteme

## **7. Namen, Daten, Ereignisse**

Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Eröffnungsfeier

Tag der offenen Tür

Messebeteiligungen

Promotionen und Preisverleihungen

Wissenschaftliche Zusammenarbeit

Publikationen, Präsentationen und Patente

## Presse- und Öffentlichkeitsarbeit



Die Institutsleiter der Fraunhofer-Institute aus Berlin und Brandenburg.

### Neuer Standort - neue Herausforderung

Den traditionsreichen Standort Teltow kannten die meisten. Der Wissenschaftspark Golm ist dagegen »the new kid on the block«. Am Rande des Ballungsraums Berlin, integriert in die vielschichtige Potsdamer Forschungslandschaft, müssen wir das Interesse unserer neuen Nachbarn erst aufbauen.

### Nachwuchsförderung

Das Fraunhofer IAP bemüht sich besonders um einen guten Kontakt zu Schülern und Studenten, um die Neugier an naturwissenschaftlichen Fragestellungen zu wecken. Der größte Erfolg des Jahres 2000 war zweifellos der Tag der offenen Tür am 21. November 2000, zu dem vor allem die Golmer Bevölkerung, aber auch die Schulen in der Region gezielt eingeladen wurden. Der Erfolg zeigte sich einerseits in gut besuchten Laboren, und andererseits an zahlreichen Anfragen nach weiteren Institutsführungen. Schüler eines Biologie-Leistungskurses entschlossen sich spontan zu einem Praktikum in unserem Haus. Das Leibniz-Gymnasium beschäftigte sich in einer Projektwoche mit der Potsdamer Forschungslandschaft. Bei der Vorstellung des Fraunhofer IAP wurde lebhaft diskutiert. Großer Andrang herrschte auch am 16. November 2000 auf dem Potsdamer Telegrafenberg zum »Tag der Wissenschaften und Forschung Land Brandenburg«. Die Universität Potsdam hatte alle Schulen in Brandenburg eingeladen zu einer Präsentation naturwissenschaftlicher Studienrichtungen. Das Fraunhofer IAP freute sich mit zahlreichen weiteren

Ausstellern aus der Region über das rege Interesse.

### Fachöffentlichkeit

Auch das Fachpublikum will regelmäßig informiert werden. Hier sind insbesondere die Aktivitäten des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) hervorzuheben. Das Fraunhofer IAP präsentierte sich sowohl zur Veranstaltung »Chemie im Dialog - 10 Jahre Strukturwandel in der ost-deutschen chemischen Industrie« in Halle im Juni als auch zum »Tag der Chemie - Wissenschaft trifft Industrie« der Universität Potsdam im November.



Wissenschaftspressekonferenz.



Schülerin am Tag der Wissenschaft und Forschung.



Tag der offenen Tür: Mikroverkapselter Pfefferminzduft.



## Pressespiegel

Über 100 Meldungen wurden uns im Jahr 2000 vom Medienbeobachter zugesandt. Vor allem die regionale Presse in Berlin und Brandenburg berichtete regelmäßig über die Entwicklung des Fraunhofer IAP und den Aufbau des Wissenschaftspark Golm. Die Eröffnungsfeier mit Ministerin Johanna Wanka wurde in der Berliner und Potsdamer Presse ausführlich kommentiert. Bei den wissenschaftlichen Artikeln liegt das Thema Mikrokapseln klar an erster Stelle. Vor allem das Exponat der Hannover Messe - Rasierklingen, die nach Zitronen duften, wenn sie abgestumpft sind - stieß auf breites Interesse. Viele überregionale Redaktionen wie das Handelsblatt interessierten sich plötzlich für die »intelligenten Winzlinge«. Produktentwicklungen aus nachwachsenden Rohstoffen wurden ebenfalls oft recherchiert. Was gibt es Neues in der Cellulose- und Stärkeforschung? Wir hoffen, dass dieser Trend im Jahr der Lebenswissenschaften noch verstärkt wird. Weitere Artikel beschäftigten sich mit der Oberflächenbehandlung, insbesondere mit einem Verfahren, das gerade auch als US-amerikanisches Patent angenommen wurde: Sterilisation von medizinischem Gerät direkt in einer Schutzverpackung. Schwerpunkte der künftigen Pressearbeit liegen auf folgenden Themen:

- Nachwachsende Rohstoffe
- Displaytechnik
- Biozide Oberflächen
- Optische Datenspeicher
- Polymere und Wasser

## Pressekonferenzen

Im Jahr 2000 wurden zwei Pressekonferenzen durchgeführt: Im Anschluss an unsere Kuratoriumssitzung im Juli 2000 luden wir ein, um die Wirtschaftszahlen des Instituts für 1999 bekannt zu geben und die zukünftigen wirtschaftlichen Strategien zu erläutern.

Frisch aus Bonn umgezogen, wollte die Wissenschaftspressekonferenz die Berliner Forschungseinrichtungen näher kennenlernen. Die Fraunhofer-Institute der Region Berlin und Brandenburg (Fraunhofer IAP, Fraunhofer IPK, Fraunhofer ISST, Fraunhofer IZM) luden daher am 23.10.2000 im Hotel Maritim zu einer gemeinsamen Pressekonferenz ein.

## Informationsservice

Für die interessierte Öffentlichkeit bieten wir folgende Informationsmaterialien an:

- Institutsbroschüre (deutsch/englisch)
- Broschüre über den Wissenschaftspark Golm (deutsch/englisch)
- Jahresbericht (deutsch/englisch)
- Produktblätter zu speziellen Forschungsleistungen

Ein Film über die Forschungsarbeiten am Fraunhofer IAP kann nach Absprache für nicht-kommerzielle Aufführungen zur Verfügung gestellt werden.

Aktuelle Informationen finden Sie außerdem auf unserer Homepage.

## Kontakt



Dipl.-Phys. Susanne Langer  
PR und Marketing  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-11 51  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: langer@iap.fhg.de  
Internet: www.iap.fhg.de

## Eröffnungsfeier des Fraunhofer IAP im Wissenschaftspark Golm

### Neue Nachbarn mit denen man etwas unternehmen kann

Institutsleiter Dr. Ulrich Buller begrüßte die 250 geladenen Gäste im Festzelt pünktlich um 11.30 Uhr. »Wir sind umgezogen, um mit neuen Nachbarn etwas zu unternehmen.« Im Wissenschaftspark Golm sind dazu mit drei Max-Planck-Instituten und der Universität Potsdam die besten Voraussetzungen.

### *Brandenburgs Wissenschaftsministerin nennt Golm beispielgebend*

Prof. Dr. Johanna Wanka, Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg hält das Fraunhofer IAP für »eine Bereicherung von unschätzbarem Wert«. Die Zusammenarbeit von Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Lehre im Wissenschaftspark Golm nannte sie »beispielgebend«. Sie hob besonders die unternehmerische Orientierung der Fraunhofer-Gesellschaft hervor zum beiderseitigen Nutzen von Wissenschaft und Unternehmern. »Wir müssen daher jetzt Möglichkeiten für die Ansiedlung von Unternehmen schaffen.« Sie forderte die nötigen Infrastrukturmaßnahmen wie die Einrichtung von Technologieparks.

### *Vertreter des Ministeriums für Bildung und Forschung fordert attraktive Ausbildungsangebote*

Dr. Knut Bauer als Vertreter des Bundesministeriums für Bildung und Forschung veranschaulichte die Bedeutung der Polymerforschung.



Weltweit liegt der Verbrauch von Polymeren bei 140 Mio. Tonnen jährlich, dies entspricht einem Umsatz von 250 Mrd. DM. Bei den derzeitigen Wachstumsprognosen wird bis 2010 der Verbrauch auf 250 Mio. Tonnen steigen. Abschließend forderte er auf, dem abnehmenden Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern entgegen zu wirken durch intensiven Dialog mit der Öffentlichkeit und attraktive Ausbildungsangebote für in- und ausländische Bewerber.

*Vorstandsvertreter der Fraunhofer-Gesellschaft kündigt weiteren Neubau in Golm an*

Dr. Hans-Ulrich Wiese aus dem Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft begrüßte den Umzug in die Nähe der Universität. Auf dem Gelände des Fraunhofer IAP soll mit Unterstützung des Landes Brandenburg ein Neubau für die Projektgruppe Molekulare Bioanalytik als Teil des Fraunhofer-Institutes für Biomedizinische Technik in St. Ingbert bei Saarbrücken errichtet werden. Dies soll die boomende Biotechnologiebranche unterstützen. Schon jetzt verzeichnet die Region Berlin-Brandenburg großes Wachstum in dieser Branche.

*Fachvortrag:  
Polymere aus dem Wasser*

Prof. Dr. André Laschewsky von der Université Catholique de Louvain hielt den Fachvortrag »Polymere aus dem Wasser - Materialien der Zukunft«. Wasser ist ein besonderes Lösungsmittel: ungiftig, nicht brennbar, billig und in großen Mengen vorrätig. Leider ist nicht alles in Wasser löslich:

Das elektrisch polare Wassermolekül verträgt sich nicht mit völlig unpolaren Molekülen. Daher perlt Wasser beispielsweise von gefetteten Oberflächen ab. Prof. Laschewsky gelang es, den Bogen zu spannen vom altbekannten Spülmittel zum Biochip. Das Spiel mit Polymeren und Wasser verspricht weiter spannend zu bleiben, vor allem wenn Prof. Dr. Laschewsky im Laufe des Jahres 2001 dem Ruf an die Universität Potsdam folgt und das Fraunhofer IAP als Leiter des Forschungsbereichs »Wasserbasierende Polymersysteme« verstärken wird.



Dr. Ulrich Buller.



Prof. Dr. Johanna Wanka.



Dr. Knut Bauer.



Prof. Dr. André Laschewsky.



Dr. Hans-Ulrich Wiese.

## Tag der offenen Tür



Herr Dr. Buller lädt ein zur Institutsführung.



Feststimmung im Zelt.



Herr Dr. Fink erläutert die Cellulosetechnik.



Die Hot Swingers mit Musik der 20er Jahren.



Frau Dr. Vorweg präsentiert die Stärke-Analytik.

### Filme zum Institutsumzug

Die Ansprachen wurden aufgelockert durch eine Serie von Kurzfilmen der Filmhochschule »Konrad Wolf«. Die Bilder zeigten mehr als alle Reden die logistische Leistung des Umzugs von 20 Mio. DM teurem Inventar in 1000 Containern, 3000 Kartons und zahlreichen Sondertransporten schwerer und empfindlicher Technik. Doch während der Transportertross sich in den Landstraßenstau einreihet, scheint der Filmzuschauer mit zu fliegen über Brandenburgs Seen und Wälder vorbei an Sanssouci und dem Neuen Palais zum Wissenschaftspark Golm. Neben Impressionen boten die Filme auch aktuelle Forschung: »Bauanleitungen« für leuchtende Ampelmännchen, aus deren Material vielleicht einmal aufrollbare Computermonitore entstehen, Verspinnung von Viskosefäden, elektronenmikroskopische Blicke in Fäden und Folien oder Oberflächenbehandlungen mit Hilfe eines leuchtenden Plasmagases sind nur einige Beispiele. In einem Interview brachte Dr. Buller die Situation der Mitarbeiter von Fraunhofer-Instituten, die zu zwei Drittel von Auftragsforschung leben, auf den Punkt: »Wenn man täglich zum Kunden geht, wird man fast ein anderer Mensch.«

### Institutsführung

Offenbar hatten die Filme neugierig gemacht, zur anschließenden Institutsführung für die Gäste herrschte großes Gedränge trotz der verführerischen Klänge der Hot Swingers im Festzelt, die mit Musik aus den 20er Jahren und ihren eleganten Sängerinnen samt weißer Lilie lockten. Neben der Forschungsarbeit interessierte die Gäste das hauseigene Blockheizkraftwerk.

### Golmer zu Besuch am Fraunhofer IAP

Der Nachmittag begann mit bangem Hoffen: Würden die Golmer Nachbarn und die Potsdamer Studenten der Einladung zum Tag der offenen Tür trotz des schlechten Wetters folgen? Doch da kannten wir die Golmer noch schlecht. Pünktlich um 16.00 Uhr füllte sich wieder das Festzelt und das Foyer. Der Informationstisch hatte alle Hände voll zu tun, um die Neugierigen zufrieden zu stellen. Mit einem Lageplan der offenen Labore konnte jeder auf eigene Faust das Haus erkunden. Das Stärkelabor lockte mit Süßspeisen. Im Verkapselungslabor wurde demonstriert, wie der Duft in den Duftkalender kommt. Als Souvenir gab es eine Probe verkapselten Pfefferminzduft, die erst nach Reiben ihre Wirkung entfaltete. Nicht nur Autoliebhaber konnten beobachten, wie Kunststoffe mit Naturfasern verstärkt werden, um sie später beispielsweise als Autoinnenauskleidung der A-Klasse einzusetzen. Außerdem konnte die im Film gezeigte Forschungsarbeit nun auch live beobachtet werden. Nur in einer Sache war unser Informationsteam leider erfolglos: Die Golmer wollten sich nicht ins Gästebuch eintragen. So fehlen leider belegbare Besucherzahlen, aber Hochrechnungen aus gutgefüllten Laboren und dem Heiserkeitsgrad mancher Laborleiter strafte alle Gerüchte über Forschungsdesinteresse in der Öffentlichkeit Lüge. Bei deftigem Büfett und den mitreißenden Oldies der Big Beat Boys klang der Abend im Zelt aus. Mitarbeiter mit ihren Familien, Kollegen der Max-Planck-Institute und Studenten der Max-Planck-Institute und Studenten feierten und tanzten bis spät in die Nacht. Doch damit war's noch lange nicht vorbei: Eine Besucherin rief einige Tage später an. Sie wünsche

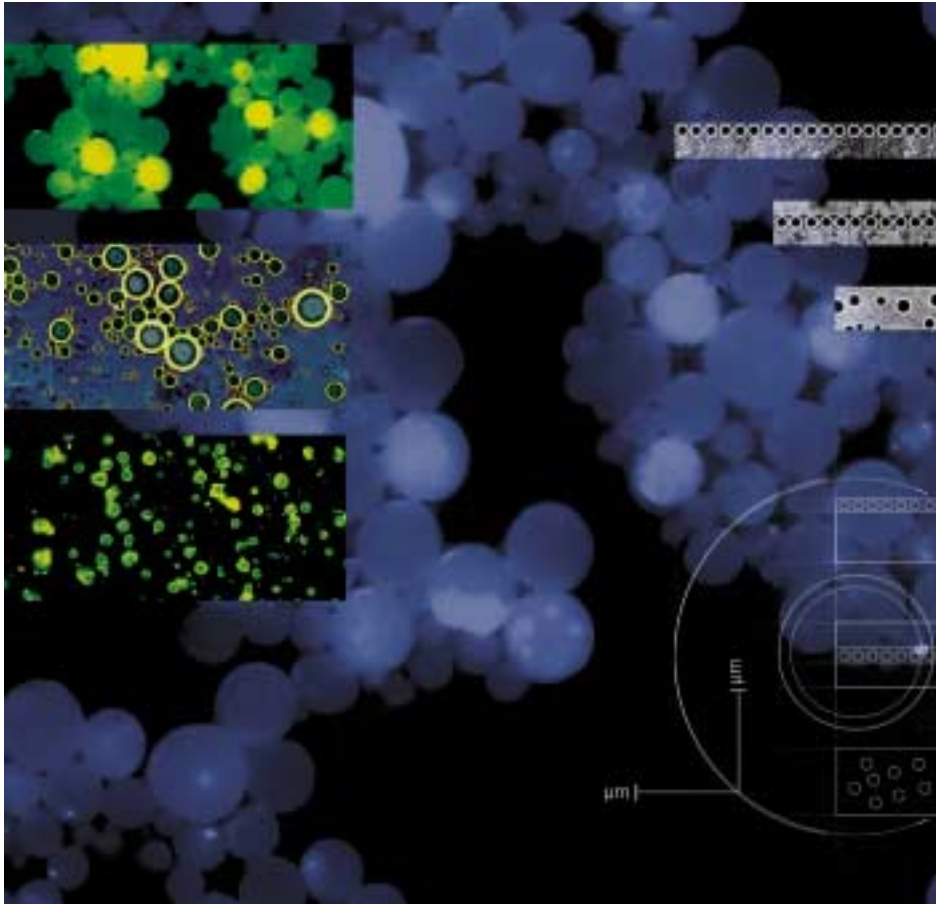


eine Führung für ihre wöchentliche Wandergruppe, nachdem sie uns beim Tag der offenen Tür kennengelernt hat. Am Dienstag nach Pfingsten hätten sie noch einen Termin frei... Genauso stellen wir uns Nachbarn vor, mit denen man etwas unternehmen kann.





## Messebeteiligungen 2000



Messeposter der Fraunhofer IAP unter dem Titel »Geschickt verpackt - Mikrokapseln«.

Materialica, München 25.- 28.9.2000

Auf einem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft wurden Lösungen für Werkstoffe, Produkte und Prozesse vorgestellt. Es wurden Exponate zu folgenden Themen gezeigt:

- Leichtbauteile
- Hochleistungspolymere
- Hohlfasern und Filterelemente
- Nanotechnologie
- Adaptronik
- Produkt- und Prozesssimulation
- Rapid-Technologie
- Laserstrahlbearbeitung

Das Fraunhofer IAP präsentierte auch hier erfolgreich den weitreichenden Einsatz von Mikrokapseln. Die Interessenten kamen aus den unterschiedlichsten Branchen wie beispielsweise:

- Stempeltechnik
- Verklebung von Schrauben
- Verschleißwarnung
- Flammschutz
- Zwei-Komponenten-Handling

## Hannover Messe 20.- 25.3.2000

Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST in Braunschweig wurden In-situ Verschleißanzeigen für Bauteile präsentiert.

### *Elektronische Nase riecht Verschleiß*

Werkzeuge und Bauteile, die hohen Verschleißanforderungen ausgesetzt sind, werden häufig mit einer Schutzschicht versehen. Der Bediener muss wissen, ob die Schichten noch intakt sind - und das möglichst ohne die Maschinen dafür zu stoppen.

### *Duftende Schichten und Sensoren*

Die gewünschte Kontrolle der Verschleißschichten erlaubt ein System aus «duftenden Zwischenschichten und Sensoren, das auch während des Betriebes das Versagen erkennt und den Prozess stoppt, bevor es zu Schäden an den Maschinen kommt. Unter der eigentlichen Verschleißschutzschicht wird eine sogenannte verschleißanzeigende Schicht aufgebracht aus galvanisch abgeschiedenen Mikrokapseln mit einem Durchmesser von etwa 1  $\mu\text{m}$ . Liegt die Zwischenschicht nach Verschleiß der Schutzschicht frei, geben die Kapseln ihren Wirkstoff - beispielsweise Zitronenduft - ab. Ein Sensor - die sogenannte elektronische Nase - detektiert den Wirkstoff und löst ein akustisches oder optisches Signal aus.



Elektronische Nase detektiert Zitronenduft.



Fraunhofer-Stand auf der Hannover Messe.

## Beteiligte Fraunhofer-Institute

Fraunhofer IAP  
Herstellung und Verarbeitung von Mikrokapseln  
Dipl.-Ing. Monika Jobmann  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-12 13  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-25 13  
E-Mail: jobmann@iap.fhg.de

Fraunhofer IST  
Galvanische Schichten und Elektronische Nase  
Dr. Andreas Diez  
Telefon: +49 (0) 531 / 21 55-64 6  
Fax: +49 (0) 531 / 21 55-90 0  
E-Mail: diez@ist.fhg.de

## Promotionen



Dr. Jaqueline Lang.



Dr. Klaus Buchweitz.

### Untersuchungen zur Synthese, Charakterisierung und Applikation von hochsubstituierten Stärkefettsäureestern Jacqueline Lang

Untersucht wurde die Herstellung hydrophober Stärkederivate, insbesondere Stärkefettsäureester (SFE) mit mittlerer bis vollständiger Derivatisierung, durch die technisch realisierbare Ein-Schritt-Derivatisierung von Stärkepolysacchariden mit kommerziell verfügbaren Reagenzien. Molekulare sowie applikative Eigenschaften der Materialien wurden bestimmt. Die Stärkefettsäureester wurden sowohl aus der Lösung - als hydrophobierende Beschichtungsmaterialien für Stärkefolien und als Mikrokapseln - als auch thermoplastisch sowohl alleine - zu schmelzgepreßten Formkörpern - oder als Zusatzstoffe in Kombination mit Stärke und Polycaprolacton durch Coextrusion und Spritzguss verarbeitet. Insgesamt wurde gefunden, dass hochgradig derivatisierte Stärkefettsäureester für die Anwendung im Kunststoffbereich geeignete Substanzen sind. Für eine Verarbeitung aus Lösung oder als thermoplastisch verformbares Material - ohne weitere Zusätze - sind SFE mit hohen Substitutionsgraden prädestiniert, während als Blendkomponente Stärkefettsäureester mit intermediären Substitutionsgrad-Werten geeigneter erschienen.

### Synthese und Charakterisierung neuartiger Sulfobetaine Klaus Buchweitz

Polymere Sulfobetaine mit unterschiedlicher Anordnung der ionischen Strukturen im Verhältnis zur Rückgratkette wurden durch polymeranaloge Umsetzungen dargestellt und bezüglich ihrer physiko-chemischen Eigenschaften untersucht. Polysulfobetaine sind zum einen aus (MSA-*alt*-Alkyliden)-polymeren durch polymeranaloge Aminolyse mittels N,N-Dimethyl-1,3-propandiamin und anschließender Reaktion mit 1,3-Propanthion zugänglich. Zum anderen wurden Polysulfobetaine durch Polyaddition von Methylenbisacrylamid und primären Alkylaminen und anschließender Derivatisierung mit 1,3-Propanthion gewonnen. Weiterhin wurden aus Epichlorhydrin dargestellte Polymere unter anschließender Sulfonierung der Hydroxyfunktion in Polysulfobetaine überführt. Die stufenweise Verlagerung der ionischen Teilstrukturen des Betains von der Seitenkette in das Polymerrückgrat bewirkt Änderungen der physiko-chemischen Eigenschaften. Sie wurden mit folgenden Methoden untersucht: CSC, dynamische Lichtstreuung, Viskositätsmessung, DSC, Ultrazentrifugation. Anwendungsmöglichkeiten bieten die Polysulfobetaine als biozide leitfähige Schichten in Feuchtesensoren in biotischen Umgebungen.

## Preisverleihung

### Röntgenuntersuchungen zur Vorzugsorientierung und übermolekularen Struktur nativer und regenerierter Cellulose Andreas Bohn

Ziel der Arbeit war, die übermolekulare Struktur und Orientierung von Bakteriencellulose (BC) und von Blasfolien aus Regeneratcellulose mit den Methoden der Röntgenweitwinkelstreuung zu untersuchen. BC als Modellsubstanz für native Cellulose wurde im initialfeuchten Zustand sowie in Abhängigkeit von den Trocknungsbedingungen untersucht, wobei nachgewiesen wurde, dass bereits in frühen Stadien der Strukturbildung in wässriger Phase fibrilläre wasserfreie Cellulosekristallite der Modifikation I vorliegen, die jeweils von einer Hydrathülle umgeben und lateral zu Mikrofibrillarbändern aggregiert sind. Dies unterstützt die Schlussfolgerung, dass die Biosynthese von Cellulosemolekülen und deren Kristallisation eng gekoppelte Vorgänge sind. Mit Hilfe von Röntgenpolfiguren wurde der Einfluss einer uniaxialen Deformation während der Trocknung von BC-Vliesen untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die axiale Orientierbarkeit der Mikrofibrillarbänder durch eine NaOH-Behandlung wesentlich gesteigert werden kann, so dass eine uniplanar-axiale Vorzugsorientierung realisierbar ist. Celluloseregeneratfolien lassen sich durch Verformung einer Cellulose/NMMO-Lösung nach dem Blasextrusionsverfahren herstellen. Diese Blasfolien besitzen wie konventionelle Produkte eine partiell-kristalline Struktur mit Cellulose II als kristalliner Phase. Durch Variation der Abzugs- und Aufblasverhältnisse kann die Kettenorientierung von isotrop bis uniaxial eingestellt werden.

### Possehl-Ingenieurpreis-Verleihung 2000

Die Possehl-Stiftung, die aus dem Vermächtnis des Lübecker Senators Possehl hervorging, dient in besonderem Maße dazu, lokale Institutionen der Hansestadt zu fördern. Im Rahmen dieser Fördermaßnahmen wurde 1983 erstmalig ein Ingenieurpreis gestiftet, der alljährlich hervorragende Abschlussarbeiten der Fachhochschule Lübeck prämiert. Die Auszeichnung für die beste Diplomarbeit des Jahres 2000 wurde an Frau Dipl.-Ing. Nathalie Sieverling verliehen. Frau Sieverling ist seit November 1998 am Fraunhofer IAP tätig und beschäftigte sich während ihrer Diplomarbeit mit der Herstellung und Charakterisierung von Stärkemakroazoinitiatoren für die radikalische Polymerisation. Anhand exemplarischer Versuche wurde gezeigt, daß sich die neuen Produkte als Substrate zur radikalischen Pflanzung kationischer Monomere in wässriger Lösung eignen. Die feierliche Preisvergabe fand in traditioneller Weise am 30. November 2000 im Audienzsaal des Lübecker Rathauses statt.



Dr. Andreas Bohn.



Dipl.-Ing. (FH) Nathalie Sieverling und Betreuer sowie der Dekan der FH-Lübeck bei der Possehl-Ingenieurpreis-Verleihung.

# Wissenschaftliche Zusammenarbeit mit Universitäten und Instituten

## Fraunhofer-Institute

- Fraunhofer-Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig
- Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik (IGB), Stuttgart
- Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM), Bremen
- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST), Braunschweig
- Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV), Freisingen
- Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT), Oberhausen
- Fraunhofer-Institut für Chemische Technik (ICT), Pfinztal

## Universitäten und Hochschulen

- *Universität Potsdam*  
Interdisziplinäres Forschungszentrum Biopolymere: Chitin/Chitosan
- *Universität Hamburg*  
Hemicellulosen
- *Technische Universität Braunschweig*  
Cellulose- und Stärkederivate
- *Universität Göttingen*  
Bindemittel für Holzwerkstoffe
- *Universität Potsdam*  
Polyelektrolyt-Wechselwirkungen
- *Universität Hamburg*  
Polyelektrolyt-Wechselwirkungen
- *Universität Saarbrücken*  
Polyelektrolyt-Analytik
- *Freie Universität Berlin*  
Kolloidale Arzneistoffträger
- *Technische Universität Berlin*  
Polyelektrolyt-Komplexe

## Andere Forschungseinrichtungen

- *MPI für Kolloid- und Grenzflächenforschung Golm*  
Polyelektrolyt-Komplexe
- *Institut für Polymerforschung Dresden e.V.*  
Polyelektrolyt-Wechselwirkungen
- *IDM, Teltow*  
Supramolekulare Kolloide
- *Forschungsinstitut für Leder- und Kunstleder-Technologie Freiberg*  
Polymergele
- *Institut für Diagnostikforschung Berlin*  
Magnetische Carrier
- *GKSS, Institut für Chemie Teltow*  
Membranfunktionalisierung

## Auslandsbeziehungen

- Donau-Universität, Krems/Niederösterreich - Christian-Doppler-Labor für spezifische Adsorptionstechnologien: Adsorbentien auf Cellulosebasis
- École Polytechnique Fédérale Lausanne: Polyelektrolyte
- Université Montreal: Polyelektrolytcharakterisierung
- Purdue University Indianapolis: Polyelektrolyt-Wechselwirkungen

## Internationale Gäste

- *Prof. T. Norisuye*  
Graduate School of Science, Faculty of Science, Osaka University, Japan
- *Prof. F. Nakatsubo*  
Division of Forest & Biomaterials Science, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Japan
- *Prof. K. Nishinari*  
Department of Food and Nutrition, Faculty of Human Life Science, Osaka City University, Japan

## Veranstaltung

- 2. Verbundtreffen »Modifizierte Stärke« am 07.11.2000 am Fraunhofer IAP in Golm

## Messebeteiligungen

- Hannover Messe, Beteiligung am Stand des Fraunhofer IST
- Materialica 2000, München, Stand des Fraunhofer-Verbundes »Werkstoffe, Bauteile«

## Institutskolloquien

- *Prof. Dr. H. Al Ghatta*  
»The Current Status of High Molecular Weight PET«, R&D General Manager SINCO RICHERCHE S.p.A. Centro Ricerche di Pozzilli, 14.9.2000
- *Prof. Y. Akishev*  
»Plasma: Generation and Application between Surface Modification and Nuclear Fusion«, Troitsk Institute for Innovation and Thermonuclear Research (TRINITI), Russia, 15.9. 2000
- *Prof. Dr. S. Warwel*  
»Olefin-Metathese: Anwendungen in der Petro-, Polymer- und Oleochemie«, Direktor der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung, 14.11.2000
- *PD Dr. habil. T. Heinze*  
»Polysaccharide - wertvolle Ausgangsmaterialien für neuartige Funktionspolymere und Werkstoffe«, Universität Jena, 16.11.2000

## Mitarbeit in Fachorganisationen und Gremien

- *Dr. U. Buller*  
Fachgruppe »Waschmittelchemie« der Gesellschaft deutscher Chemiker e.V.
- *Dr. U. Buller*  
Mitglied des wissenschaftlichen Beirates des Kompetenzzentrums Kunststoffe Schwarzeide.
- *Dr. S. Radosta*  
DIN-Normungsausschuss »Stärkeanalytik«
- *Dr. W. Vorweg*  
Stärkefachausschuss
- *Dr. W. Vorweg*  
Ausschuss für Lebensmittelrheologie
- *Dr. W. Jaeger*  
Zentrum für Umweltwissenschaften der Universität, Potsdam



## Publikationen, Präsentationen und Patente

- *Dr. W. Jaeger*  
Berliner Verband für Polymerwissenschaften
- *Dr. C. Fanter*  
Normenausschuss, Bauwesen (NABau) des  
DIN, NABau - AA 11.42.08  
»Oberflächenmessverfahren«
- *Dr. F. Loth*  
Fachausschuss »Holzchemie« der Deutschen  
Gesellschaft für Holzforschung e. V.
- *Dr. F. Loth*  
Fachausschuss »Cellulose und  
Cellulosederivate« des Vereins der Zellstoff-  
und Papierchemiker und -ingenieure
- *Dr. F. Loth*  
»Interdisziplinäres Forschungszentrum  
Biopolymere« der Universität Potsdam
- *Dr. H.-P. Fink*  
Advisory Board der Zeitschriften »Cellulose«  
und »Cellulose Chemistry and Technology«
- *Dr. H.-P. Fink*  
Verein Zellcheming, Fachausschuss Cellulose  
und Cellulosederivate
- *Dr. H.-P. Fink*  
Berliner Verband für Polymerforschung
- *Dr. H.-P. Fink*  
Forschungskuratorium der Forschungsver-  
einigung Werkstoffe aus Nachwachsenden  
Rohstoffen

### Lehrtätigkeit

- *Dr. H.-P. Fink*  
»Einführung in die Strukturcharakterisierung  
von Polymeren« im Rahmen der  
Ringvorlesung »Angewandte  
Polymerchemie« der Universität Potsdam
- *Dr. R. Danz*  
Einzelvorlesungen zu »Physikalisch aktive  
Polymere« im Rahmen der Ringvorlesung  
»Angewandte Polymerchemie« der  
Universität Potsdam
- *Dr. S. Janietz*  
»Moderne Aspekte der Elektrochemie«,  
Herbstsemester 2000/2001 im Institut für  
Physikalische und theoretische Chemie der  
Universität Potsdam
- *Dr. W. Jaeger*  
Einzelvorlesungen in der Vorlesungsreihe  
»Strukturbildung in kolloidalen Systemen«  
der Universität Potsdam

- *Dr. W. Jaeger*  
Einzelvorlesungen im Rahmen der  
Ringvorlesung »Angewandte Polymer-  
chemie« der Universität Potsdam

### Dissertationen

- *A. Bohn*  
»Röntgenuntersuchungen zur Vorzugs-  
orientierung und übermolekularen Struktur  
nativer und regenerierter Cellulose«,  
Technische Universität Berlin,  
November 2000
- *J. Lang*  
»Untersuchungen zu Synthese,  
Charakterisierung und Applikation von  
hochsubstituierten Stärkefettsäureestern«,  
Universität Potsdam, September 2000
- *K. Buchweitz*  
»Synthese und Charakterisierung neuartiger  
Polysulfobetaine«, Technische Universität  
Berlin, Oktober 2000

### Veröffentlichungen

- *U. Buller, H.-J. Warnecke*  
Neue Werkstoffe und Materialien - Inno-  
vationsbasis für viele Industrien in »Chemie:  
Eine reife Industrie oder weiterhin Inno-  
vationsmotor?« Verlag Blazek und Bergmann,  
Frankfurt a. M., 2000, S. 123-151
- *U. Drechsler, S. Radosta, W. Vorwerg*  
Characterization of cellulose in solvent mix-  
tures with N-methylmorpholine-N-oxide by  
static light scattering, *Macromol. Chem.*  
*Phys.* 2000, 201, 15
- *A. Bohn, H.-P. Fink, J. Ganster, M. Pinnow*  
X-ray texture investigations of bacterial cellu-  
lose, *Macromolecular Chemistry and Physics*,  
201 (2000) 1913-1921
- *K. Henkel, B. Elling, R. Danz, A. Büchtemann,  
O. Straube, I. Poloumpa, A. Yfantis,  
D. Schmeißer*  
Piezoelectric polymer sensor for high pressu-  
res in forming machines, *Proc. Materials*  
*week*, 25.-28.09.2000, München, im Druck
- *R. Gerhard-Multhaupt, W. Künstler, T.  
Görne, A. Puch, T. Weinhold, M. Seiß,  
Zhongfu Xia, A. Wedel and R. Danz*  
Porous PTFE space-charge electrets for pie-  
zoelectric applications, *IEEE Transactions*  
*on Dielectrics and Electrical Insulation*,  
7(2000)480-488
- *A. Holländer*  
Ran an die Oberfläche, Reinigung,  
Aktivierung und Funktionalisierung im  
Plasma, *Verfahrenstechnik* 34/ 7-8 (2000)  
68-70
- *A. F. Thünemann, S. Janietz, S. Anlauf,  
A. Wedel*  
Thermochromism of a liquid crystalline dialk-  
oxy substituted poly (1,4-phenylen-1,3,4-oxa-  
diazol-2,5-diyl), *J. Mater. Chem.* 10, (2000),  
2652
- *S. Janietz, S. Anlauf, A. Wedel*  
New n-type rigid rod full aromatic poly  
(1,3,4-oxadiazole)s and their application  
in organic devices, *Synt. Met.*, im Druck
- *R. Reuschling, A. Wedel*  
OLEDs - Organic Light Emitting Diodes,  
*Vakuum in Forschung und Praxis* 6, 12  
(2000), 379
- *A. Dietz, M. Jobmann, G. Rafler*  
Mikrokapseln in der Galvanotechnik,

- Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 31(2000), 612-615
- *A. Dietz, M. Jobmann, G. Rafler*  
Funktionelle Mikrokapseln in Dispersions-schichten, das Schweizer Industriemagazin - Technische Rundschau 92(2000)14, 38-39
  - *A. Dietz, M. Jobmann, G. Rafler*  
Mikrokapseln in der Galvanotechnik, Metalloberfläche 54 (2000) 1
  - *J. Bohrisch, O. Grosche, U. Wendler, W. Jaeger, H. Engelhardt*  
Electroosmotic mobility and aggregation phenomena of model polymers with permanent cationic groups, Macromol. Chem. Phys. 201 (2000) 447-452
  - *A. Gessner, R. Waicz, A. Lieske, B.-R. Paulke, K. Mäder, R. H. Müller*  
Nanoparticles with decreasing surface hydrophobicities: influence on plasma adsorption, International Journal of Pharmaceutics 196 (2000) 245-249
  - *A. Gessner, B.-R. Paulke, R. H. Müller*  
Analysis of Plasma Protein Adsorption onto Polystyrene Particles by Two-dimensional Electrophoresis, Electrophoresis, 21 (2000) 2438 - 2442
  - *H. Dautzenberg, Y. Gao, M. Hahn*  
Interaction of LCST-Polymers with Polyelectrolytes, Langmuir 16 (2000) 9070- 9081
  - *U. Gohlke, A. Otto*  
New variants of the separation of heavy metals from waste water, TU Berlin, Biologische Abwasserreinigung, Bd.14 Behandlung von Abwässern mit schwermetallhaltigen Verbindungen, S.79-98
  - *O. Grosche, J. Bohrisch, U. Wendler, W. Jaeger, H. Engelhardt*  
Characterization of synthetic polyelectrolytes by capillary electrophoresis, Journal of Chromatography A 894 (2000) 105-116
  - *W. Jaeger, U. Wendler, A. Lieske, J. Bohrisch, C. Wandrey*  
Novel Polyelectrolytes with Regular Structure - Synthesis, Properties and Applications, Macromol. Symp. 161 (2000) 87-96
  - *B. Kolaric, W. Jaeger, R. v. Klitzing*  
Mesoscopic ordering of polyelectrolyte chains in foam films: role of electrostatic forces, J. Physical Chem. B 104 (2000) 5096-5101
  - *E. H. Rahma, S. Dudek, R. Mothes, E. Görnitz, K.D. Schwenke*  
Physicochemical characterisation of mungobaen (*Phaseolus aureus*) protein isolates, Journal of the Science of Food and Agriculture, 80 (2000) 477-483
  - *S. Schwarz, K. Lunkwitz, B. Keßler, U. Spiegler, E. Killmann, W. Jaeger*  
Adsorption and stability of colloidal silica, Colloids and Surfaces A 163 (2000) 17-27
  - *K. D. Schwenke, R. Mothes, S. Dudek, E. Görnitz*  
Phosphorylation of the 11 S globulin from rapeseed (*Brassica napus* L.) by phosphorous oxychloride: chemical and conformational aspects, J. of Agricultural and Food Chemistry, 48, 3 (2000) 708 - 715
  - *K. D. Schwenke, C. Knopfe, A. Seifert, E. Görnitz and D. Zirwer*  
Acetylation of faba bean legumin: conformational changes and aggregation, J. of the Science of Food and Agriculture, 81 (2000) 126-134
  - *A. F. Thünemann, A. Lieske, B.-R. Paulke*  
Komplexe zur Herstellung niederenergetischer Oberflächen, Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 31 (2000) 233 - 237
  - *A. F. Thünemann, S. Janietz, S. Anlauf, A. Wedel*  
Thermochromism of a liquid crystalline dialkoxystituted poly(1,4-phenylene-1,3,4-oxadiazol-2,5-diyl), Journal of Materials Chemistry. 10 (2000)2652-2656
  - *A. F. Thünemann, U. Wendler, W. Jaeger*  
A supramolecular structured complex of poly(acrylic acid) and polystyrene-block-poly(vinylbenzyltrimethylammonium chloride), Polymer International 49 (2000) 782-786
  - *C. Wandrey, D. Hunkeler, U. Wendler, W. Jaeger*  
Counter ion activity of highly charged strong polyelectrolytes, Macromolecules 33 (2000) 7136-7143
  - *Y. Wang, K. Kimura, P. L. Dubin, W. Jaeger*  
Polyelectrolyte-micelle coacervation: Effects of micelle surface charge density, polymer molecular weight, and polymer/surfactant ratio, Macromolecules 33 (2000) 3324-3331
- Vorträge**
- *U. Buller*  
Stärkederivate - Aktuelle und zukünftige Anwendungen, Symposium zur Einweihung des Polysaccharid-Technikums der Wolff Walsrode AG, Fallingb. 14.4.2000
  - *U. Buller*  
Aliphatische Polyester und Cellulosederivate - Verfahren und Materialentwicklung Chemietechnik - Kolloquium, Dortmund, 26. Januar 2000
  - *U. Buller, B. Volkert*  
Auftragsforschung in Deutschland am Beispiel der Modifizierung von Stärke. Tensidtage Kiev 2000, Kiev, Ukraine, 11. - 12.9.2000
  - *B. Volkert, F. Loth*  
Hochsubstituierte carboxylgruppenhaltige Stärkederivate. 2. Verbundtreffen »Modifizierte Stärken«, Golm, 7.11.2000
  - *J. Bohrisch, W. Vorweg, S. Radosta, A. Ebert*  
Entwicklung hydrophober Stärke, 2. Verbundtreffen »Modifizierte Stärke« der FNR, Golm, 07.11.2000
  - *S. Radosta, W. Vorweg, A. Ebert*  
Gewinnung und Charakterisierung von Stärkepolysacchariden und Derivaten, 2. Verbundtreffen »Modifizierte Stärken« der FNR, Golm, 07.11.2000
  - *W. Vorweg, S. Radosta, A. Kröger, A. Ebert*  
Hydroxypropylierung von Stärke für die Entwicklung transparenter Gießfolie, 2. Verbundtreffen »Modifizierte Stärken« der FNR, 07.11.00, Golm
  - *S. Radosta, W. Vorweg, M. Haberer*  
Molecular characteristics of different polysaccharides and fractions, Conference 2000: New Horizont in Polysaccharide Research, Berlin/Potsdam, 08.-12.05.2000
  - *W. Vorweg, S. Radosta*  
Molekulare Eigenschaften von Stärke und Derivaten, Sitzung des Stärke-Fachausschusses, Wien, 27.-29.09.00
  - *W. Vorweg, S. Radosta, M. Haberer*  
Molekulare Zusammensetzung von Stärkepolysacchariden, XXIII.Hamburger Makromolekulares Symposium, Hamburg, 25.-26.09.2000
  - *P. Weigel, H.-P. Fink*  
Verwendung alternativer Zellstoffe im NMMO-Verfahren, 4. Int. Symposium »Alternative Cellulose« 6.-7.9.2000, Rudolstadt

- *P. Weigel, H.-P. Fink*  
Spritzgussfähige Biokomposite, 3. Int. Wood and Natural Fibre Composite Symposium 19.-20.9.2000 Kassel
- *M. Voges, M. Brück, H.-P. Fink, J. Gensrich*  
The Carbacell process - an environmentally friendly alternative for cellulosic Man-Made-fibre production, Viscose Seminar 2000, Stenungsund, 13.-15.6.2000
- *T. Cibik, J. Ganster, P. Weigel*  
Eigenverstärkte Blasfolien auf Cellulosebasis, Workshop: funktionalisierte organische Nanostrukturen, Potsdam 3.-4.5.2000
- *T. Cibik, J. Ganster, P. Weigel*  
Eigenverstärkte Blasfolien auf Cellulosebasis, Kolleg-Tag TU Berlin, Berlin 7.7.2000
- *H.-P. Fink, A. Bohn*  
Untersuchungen zur Vorzugsorientierung von nativen und regenerierten Cellulosematerialien, DFG Kolloquium zum Schwerpunktprogramm Cellulose, Bad Herrenalb, 16.-18.1.2000
- *H.-P. Fink*  
Structure of dissolving pulp Dissolving Pulp, Reactivity Training Course, Teltow, 17.2.2000
- *H.-P. Fink*  
Blown cellulose films from NMMO-solution, China Textile University, Shanghai, 22.2.2000
- *H.-P. Fink*  
Structural aspects of Lyocell-type cellulosic man-made fibres, China Textile University, Shanghai, 23.2.2000
- *H.-P. Fink, A. Bohn, J. Ganster*  
X-ray texture investigations of bacterial cellulose, 219th ACS National Meeting, San Francisco, 26.-30.3.2000
- *H.-P. Fink*  
Structure and properties of bast fibres, Green Tech 2000 Conference, Utrecht, 3.-5.4.2000
- *H.-P. Fink*  
Structure formation of bacterial cellulose, Int. Conf. »New Horizons in Polysaccharide Research«, Berlin, 8.-12.5.2000
- *H.-P. Fink*  
Structure and properties of natural cellulosic fibres, 70th anniversary celebration of the Institute of Natural Fibres, Poznan, 28.6.2000
- *H.-P. Fink*  
Strukturelle Aspekte neuer Cellulosematerialien, Physikalisches Kolloquium, Universität Potsdam, 19.7.2000
- *M. Voges, M. Brück, H.-P. Fink, J. Gensrich*  
The carbacell process - an environmentally friendly alternative for cellulose man-made fibre production, Akzo-Nobel Cellulosic Man-made Fibre Seminar, Stenungsund 13.-15.6.2000
- *H. Sixta, H. Harms, J. Puls, B. Saake, J.C. Parajo, S. Dapia, H.-P. Fink, P. Weigel, H. Al Ghatta, A. Glionna*  
Comparison between New Organosolv and Acid Sulfite Dissolving Pulps for Viscose Fibres, Akzo-Nobel Cellulosic Man-made Fibre Seminar, Stenungsund 13.-15.6.2000
- *P. Weigel, H.-P. Fink*  
Verwendung alternativer Zellstoffe im NMMO-Verfahren, 4. Int. Symp. »Alternative Cellulose - Herstellen, Verformen, Eigenschaften«, Rudolstadt, 6.-7.9.2000
- *P. Weigel, M. Doss, H.-P. Fink*  
Spritzgussfähige Biocomposite, 3rd Int. Wood and Natural Fibre Composites Symp., Kassel, 19.-20.9.2000
- *H. Schleicher, W. Wagenknecht, J. Kunze*  
Über Strukturveränderungen und Aktivierung von Cellulose durch harnstoffhaltige bzw. aminhaltige Lösungen, Zellcheming-Konferenz, Rundgespräch der Cellulosechemiker, Baden-Baden, 26.-28.6.2000
- *R. Danz, B. Elling, A. Büchtemann*  
Polymere Elektrete und ihre Anwendungen, Süd-Chemie AG, 2.11.2000, München
- *K. Henkel, B. Elling, R. Danz, A. Büchtemann, O. Straube, I. Poloumpa, A. Yfantis, D. Schmeißer*  
Piezoelectric polymer sensor for high pressures in forming machines, Messe Materialica, 25.-28.09.2000, München
- *R. Danz, A. Büchtemann, B. Elling, M. Pinnow, A. Wedel*  
Field-induced orientation processes in polymer solids, 4th Sino-Germany Symposium on Solid State Physics, 23.-25.10.2000, Shanghai
- *S. Janietz*  
Entwicklung u. Optimierung eines Verfahrens zur Erzeugung dünner Aminoharz-Polymer-schichten auf Metall und Halbleitersubstraten durch elektrochemische Abscheidung,
- 41. Sitzung Dechema- Arbeitsausschuss »Polyreaktionen«, 19.1. -20.1. 2000
- *S. Janietz, S. Anlauf, A. Wedel*  
New n-type rigid rod full aromatic poly (1,3,4-oxadiazole)s and their application in organic devices, E-MRS 2000, Juni 2000, Strasbourg, Frankreich
- *A. Wedel*  
Optical and electrical characterization of polymer light emitting diodes, Institute of Photographic Chemistry, Chinese Academy of Sciences, 20.6.2000, Peking, China
- *A. Wedel*  
Chemistry and Physics of polymer-light emitting diodes, Pohl-Institute of Solid State Physics, Tonji-University, 27.6.2000, Shanghai, China
- *S. Janietz, A. Wedel, A. Anlauf, R. Friedrich*  
Polymere Funktionsmaterialien und deren Einsatz in elektronischen Bauelementen, Berliner Polymertage 2000, Oktober 2000, Berlin
- *S. Janietz*  
PLED-Stand der Technik: Anwendungsgebiete und Marktsituation, Informationsseminar Uni Potsdam, Fachbereich Physik 2 30.11.00-1.12.00
- *S. Janietz*  
Licht emittierende elektrochemische Zellen, Informationsseminar Uni Potsdam, Fachbereich Physik 2, 30.11.00-1.12.00
- *A. Wedel, S. Janietz*  
Polymer materials for electronic applications, Philips Meeting / FhG, IZM Berlin, 14.12.2000
- *J. Lang, G. Rafler*  
Charakterisierung und Eigenschaften von hochsubstituierten Stärkefettsäureestern, 51. Stärketagung, 12.-14.4.2000, Detmold
- *G. Rafler, M. Jobmann, J. Lang, R. Nastke*  
Maßgeschneiderte Polymere für die Mikroverkapselung, Oberhausener UMSICHT-Tage, Oberhausen, 27.-28.9.2000
- *R. Nastke*  
Mikroverkapselung partikuläre Feststoffe, Oberhausener UMSICHT-Tage, Oberhausen, 27.-28.9.2000
- *B. Funke, M.G. Lindhauer, G. Engelmann, J. Lang, G. Rafler*  
Hydrophobic Starch Derivatives for Technical

- Applications, 51. Stärke-Tagung, Detmold, 12.-14.4.2000
- *B.-R. Paulke, A. Lieske, M. Hahn*  
Modellarzneistoffträger für grundlegende mechanistische Untersuchungen, SFB-Präsentation »Partikuläre Arzneistoff-Trägersysteme«, Berlin-Dahlem 4.-5.7.2000
  - *J. Bohrisch, W. Vorweg, S. Radosta, A. Ebert*  
Entwicklung hydrophober Stärke, 2. Verbundtreffen »Modifizierte Stärken«, Golm, 07.11.2000
  - *M. Hahn*  
Entwicklung partikulärer LCST-Gelmaterialien als Wirkmaterial zur Polyurethan- Koagulation, Kolloquium zur Mitgliederversammlung der AiF- Vereinigung Leder-Kunstleder, Freiberg 29. und 30.6.2000
  - *W. Jaeger, J. Bohrisch, O. Grosche, T. Schimmel, U. Wendler*  
Synthesis and Aggregation Behaviour of Polycarboxybetaines, Polyelectrolytes 2000, Les Diablerets, July 1-5, 2000
  - *W. Jaeger, J. Bohrisch, O. Grosche, T. Schimmel, U. Wendler*  
Polycarboxybetaine: Synthese und Charakterisierung, XIII. Hamburger Makromolekulares Symposium, Hamburg, 25./26.09.2000
  - *W. Jaeger*  
Novel synthetic polyelectrolytesyntheses, properties, application, 4. Österreichische Polymertage, Innsbruck, 26.-28.04.2000
  - *W. Jaeger, J. Bohrisch, T. Schimmel, O. Grosche, A. Lieske*  
Amphiphilic ionically charged block copolymers - Synthesis and aggregation phenomena, Pacificchem 2000, Honolulu, 14.-19.12.2000
  - *W. Jaeger, S. Bruzzano, N. Sieverling*  
Radikalische Funktionalisierung von Stärke und Applikationen der Produkte, Verbundtreffen »Modifizierte Stärken«, Golm, 7.11.2000
  - *W. Jaeger*  
Polyelektrolytkomplexe, BASF Kunststofflabor, 26.1.2000
  - *A. Mädler, M. Stoll, M. Hahn*  
Permeable Polymerschichten durch Koagulation mit Hydrogelen, Polymerwerkstoffe 2000, Halle 25.-27.9.2000
- Poster
- *F. Loth, D. Falkenhagen*  
Preparation and Characterisation of Cellulose Microspheres for Biomedical Applications, PIMS 2000, 9th International Conference on Polymers in Medicine & Surgery, Krems, Österreich, 11.-13.9.2000
  - *B. Volkert, F. Loth*  
Highly substituted carboxylated starch derivatives, 6th European Training course on Carbohydrates, Debrecen, Ungarn, 8.-14.7.2000
  - *S. Radosta, U. Drechsler, W. Vorweg*  
Charakterisierung von Cellulose in Lösungsmittelgemischen mit N-Methylmorpholin-N-oxid 5. Berichtskolloquium Schwerpunktprogramm der DFG Cellulose und Cellulosederivate - Molekulares und supramolekulares Strukturdesign, Bad Herrenalb, 16-18.01.2001
  - *W. Vorweg, S. Radosta, M. Haberer*  
Molecular Composition of Starch, Polysaccharides 10th International Symposium Plant Polysaccharides, Wageningen, 23.-26.08.00
  - *S. Radosta, W. Vorweg*  
Molekulare Eigenschaften modifizierter Stärken, XXIII. Hamburger Makromolekulares Symposium, Hamburg, 25.-26.09.2000
  - *H.-P. Fink, P. Weigel*  
Neue Materialien aus Cellulose, 3. Int. Wood and Natural Fibre Composite Symposium 19.-20.9.2000 Kassel
  - *A. K. Bledzki, H.-P. Fink, R. Kleinholz u. a.*  
Strukturoptimierte naturfaserverstärkte geschäumte und ungeschäumte Polymere für höher belastbare, leichte Fahrzeugbauteile, 3rd Int. Wood and Natural Fibre Composites Symp., Kassel, 19-20.9.2000
  - *R. Dietel, A. Büchtemann*  
Molecular Orientation of Thin Organic Layers Studied by FTIR-Spectroscopy, XXV. European, Congress on Molecular Spectroscopy, 27.8.-1.9.2000, Coimbra, Portugal,
  - *Zhang Xiaoqing, A. Wedel, A. Büchtemann, Xia Zhongfu, Zhang Yewen*  
Charge Storage in Porous Silica Thin Film Electret with Silicon Substrate, 4th Sino-Germany Conference on Solid State Physics, 22.-25.10.2000, Shanghai, China
  - *S. Janietz, S. Anlauf, A. Wedel*  
Synthesis and solid state properties of organosoluble n-type conjugated poly(1,3,4-oxadiazole)s, ICSM 2000, Juli 2000, Bad Gastein, Österreich
  - *A. Wedel, S. Janietz*  
Injection and charge transport phenomena in polymer multilayer systems for electronic applications, ICONO'5 2000, März 2000, Davos, Schweiz
  - *M. Jobmann, G. Rafler*  
Biodegradable polymeric nanoparticles, 3rd International Conference of the Deutsche Kolloid-Gesellschaft and the Colloid Committee of the Hungarian Academy of Sciences »Adsorption and nanostructures - From theory to application«, Budapest, 25.- 28.9.2000
  - *R. Nastke, M. Jobmann, A. Dietz*  
Mikroverkapselte Wirkstoffe für galvano-technische Anwendungen, Berliner Polymerentage 2000, Humboldt-Universität Berlin, 9.-11.10.2000
  - *M. Jobmann, G. Rafler*  
Submikronpartikel aus bioabbaubaren Polymeren, Berliner Polymerentage 2000, Humboldt-Universität Berlin, 9.-11.10.2000
  - *M. Jobmann, R. Nastke*  
Mikroverkapselte Additive für technische Anwendungen, »Tag der Chemie« im Wissenschaftspark Golm, Universität Potsdam, 8.11.2000
  - *R. Nastke*  
Mikroverkapselung - Anwendung eines 70 Jahre alten Polymeren, Symp. »Kunststoffe zwischen Ökonomie, Ökologie und Technologie«, Würzburg, 22.-24.11.2000
  - *G. Engelmann, J. Lang, G. Rafler*  
Werkstoffveredlung durch den Einsatz hydrophober Stärkeester, Symp. »Maßgeschneiderte Polymere«, Merseburg, 20.-21.3.2000
  - *A. Lieske, B.-R. Paulke, M. Hahn*  
Modellarzneistoffträger für grundlegende mechanistische Untersuchungen, SFB-Präsentation »Partikuläre Arzneistoff-Trägersysteme«, Berlin-Dahlem, 4.-5.7.2000
  - *J. Bohrisch, A. Lieske, T. Schimmel, U. Wendler, W. Jaeger*  
Neue synthetische Polyelektrolyte - Herstellung und Eigenschaften, GDCh-Vortragstagung »Maßgeschneiderte Polymere«, Merseburg, 20.-21.3.2000

- *J. Bohrisch, T. Schimmel, U. Wendler, W. Jaeger*  
Novel Block Copolymers with Carboxybetaine  
Functionality, XXIII. Hamburger  
Makromolekulares Symposium, Hamburg,  
25.-26.9. 2000
- *J. Bohrisch, T. Schimmel, U. Wendler, W. Jaeger*  
Novel Block Copolymers with Carboxybetaine  
Functionality, Polyelectrolytes 2000, Les  
Diablerets, 1.-5.7.2000
- *J. Bohrisch, O. Grosche, U. Wendler, W. Jaeger*  
Aggregationsphänomene an  
Modell-Carboxybetainen, Berliner  
Polymerentage, Berlin, 9.-11.10.2000
- *J. Bohrisch, O. Grosche, U. Wendler, W. Jaeger*  
Aggregationsphänomene an  
Modellpolycarboxybetainen, GDCh-  
Vortragstagung »Maßgeschneiderte  
Polymere«, Merseburg, 20.-21.3.2000
- *T. Schimmel, J. Bohrisch, W. Jaeger*  
Novel Polyelectrolytes with Carboxybetaine  
Functionality, Berliner Polymerentage, Berlin,  
9.-11.10.2000
- *U. Gohlke*  
Abtrennung komplex gebundener  
Schwermetallionen mit Polyelektrolyten,  
Berliner Polymerentage, 9.-11.10.2000
- *R. Hagen, G. Rafler, E. Schaaf*  
Verfahren zur Herstellung von Polyestern mit  
reduziertem Gehalt an Acetaldehyden, AZ:  
100 45 719.3
- *H. Krause, U. Teipel, R. Nastke, G. Rafler*  
Verfahren zum Mikroverkapseln von Partikeln  
aus Treib- und Explosivstoffen,  
AZ: 199 23 202.4
- *A. Becker, U. Treuling, U. Gohlke,  
W. Jaeger, S. Stegmann, R. Mudersbach*  
Aufstrom-Tiefenfiltrationsverfahren,  
AZ: 10101313.2
- *M. Hahn, A. Mädler, M. Stoll*  
Verfahren zur Herstellung von partikulären  
Gelmaterial mit gesteuertem  
Permeationsverhalten, AZ: 100 63 197.5
- *A. Mädler, M. Stoll, M. Hahn*  
Verfahren zur Fällung von Polymerlösungen,  
AZ: 100 63 198.3
- *M. Hahn, B.-R. Paulke, W. Jaeger*  
Verfahren zur Polymerisation wasserlöslicher  
Vinylmonomere in wässrigen  
höherkonzentrierten Dispersionen und  
Stabilisatoren zur Durchführung des  
Verfahrens, AZ: 100 55 470.9

#### In- und ausländische Patentanmeldungen

- #### Inländische Patentanmeldungen
- *B. Volkert, F. Loth*  
Verfahren zur Herstellung von hochsubstitu-  
ierter Carboxymethylstärke,  
AZ: 100 33 197.1
  - *S. Janietz, A. Wedel*  
Polymeres Schaltelement, AZ: 100 51 369.7
  - *S. Janietz, A. Wedel*  
Breitbandig lichtemittierende Dioden,  
AZ: 10059810.2
  - *S. Janietz, A. Wedel, A. Holländer*  
Verfahren zur Herstellung eines Mehrschicht-  
systems aus löslichen Polymeren,  
AZ: 10059811.0
  - *G. Rafler, R. Nastke*  
Mikropartikel auf Duromerbasis, Verfahren  
zu ihrer Herstellung und Applikation,  
AZ: 101 11 094.4
  - *G. Rafler, E. Bonatz, F. Börner*  
Aus der Schmelze verarbeitbares Aminoharz  
auf der Basis von 1,3,4-Triazin und  
Aldehyden, AZ: 100 56 398.8
- *H. Schleicher, J. Kunze, H. Lang, F. Loth*  
Verfahren zur Verringerung des Ordnungs-  
grades von Cellulose, AZ: 100 19 628.4
  - *R. Naske, G. Rafler*  
Aminoplast mikroverkapselte Feststoffe und  
Verfahren zu deren Herstellung,  
AZ 100 49 777.2





## Impressum

### **Anschrift der Redaktion**

Fraunhofer IAP  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Geiselbergstr. 69  
14476 Golm  
Telefon: +49 (0) 331 / 56 8-10  
Fax: +49 (0) 331 / 56 8-30 00  
E-Mail: [info@iap.fhg.de](mailto:info@iap.fhg.de)  
Internet: [www.iap.fhg.de](http://www.iap.fhg.de)

### **Redaktion**

Susanne Langer

### **Satz/Gestaltung**

Kai Royer

### **Fotos**

Bernhard Schurian  
Michael Utech  
Hans-Joachim Jäzoch

Wir danken für die freundliche Bereitstellung von Fotos aus anderen Fraunhofer-Instituten und aus dem Wissenschaftspark Golm.

### **Digital Composings**

Kai Royer

### **Tabellen und Grafiken**

Jan Dobes

### **Belichtung und Druck**

Druckhaus Berlin-Mitte GmbH

### **Bildverzeichnis**

S. 8/S. 92 Technikum des Fraunhofer IAP,  
Bernhard Schurian

S. 22 Elektrodialyse zur Aufreinigung von organischen Säuren,  
Fraunhofer IGB

S. 38 Hochviskose Lösungen aus modifizierter Stärke,  
Bernhard Schurian

S. 56 Photolumineszierende Polymerlösungen,  
Hans-Joachim Jäzoch

S. 66 Reaktor für Polymersynthese,  
Bernhard Schurian

S. 78 Polymerisation im wässrigen Medium,  
Bernhard Schurian

