



Leibniz-Institut
für Polymerforschung
Dresden

Jahresbericht 2019



Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.

Jahresbericht 2019

INHALT

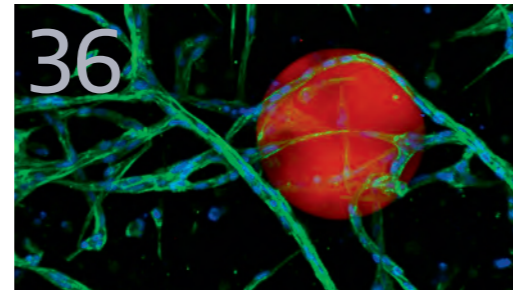
- 4 Inhalt
- 6 Vorwort | Preface
- 8 Schlaglichter | Highlights
- 10 Organe
- 11 Personal und Finanzen
- 12 Organigramm

Funktionale nanostrukturierte Grenzflächen und Polymersysteme



- 14
- 16 Unraveling chain walking catalysis – In depth characterization of dendritic polyethylene by means of advanced scattering and separation techniques
- 18 Unraveling chain walking catalysis – New polymer architectures predicted by theory and simulations
- 20 Metallopolymere – auf der Suche nach dem Besten zweier Welten
- 22 Remarkable mechanochromism in blends of a π -conjugated polymer P3TEOT: The role of conformational transitions and aggregation
- 24 Material- und Prozessentwicklung für die effiziente Fertigung der großformatigen Bipolarbatterie EMBATT2.0
- 26 An efficient and scalable binder system for high-performance silicon nanoparticle-based lithium ion batteries
- 28 Plasmonische Oberflächenstrukturen und Cluster: Von der Assemblierung zur Sensor-Integration
- 30 NMR investigations on the intercalation and selfdiffusion of fluorinated anions in a high-voltage Zn-graphite battery
- 32 Understanding co-nonsolvency and volume phase transitions in polymer brushes
- 34 Exploring the interplay between the field- and deformation-induced particle rearrangements in magnetic elastomers

Biologie-inspirierte Grenzflächen- und Materialgestaltung



- 36
- 38 Molecular switch of cell mimics by light-driven proton transfer
- 40 Smart multifunctional coatings made by polymer brushes
- 42 Janus particles: From concepts to sustainable applications
- 44 Temperature-induced mechano- and growth factor release modulation of glycosaminoglycan based interpenetrating polymer networks
- 46 Hydrogels with programmable host reactions
- 48 Multiphasic microgel-in-gel materials to recapitulate cellular mesoenvironments *in vitro*
- 50 Highresolution bioprinting of multi-component hydrogels
- 52 A smart polymer for sequence-selective binding, pulldown and release of DNA targets
- 54 Polyacrylamide (PAAm) bead sensors for *in vivo* quantification of cell-scale stress in zebrafish development

Polymere Netzwerke und übermolekulare Strukturen



- 56
- 58 Methode zur Photostrukturierung von Hydrogelarrays zur Durchführung mehrstufiger Enzymreaktionen in der Mikrofluidik
- 60 Konzepte für mechanosensitive Partikel und deren Integration in 4D-Strukturen
- 62 Dynamics of spin-labeled polyacid chain segments in polyelectrolyte multilayers
- 64 Magneto-adaptive Faser-Elastomer-Komposite
- 66 Recycling of waste tire rubber by mechano-chemical devulcanization
- 68 Metall-Kunststoff-Verbunde mit einer elastischen Zwischenschicht und die Prüfung der Verbunde im Blockscherversuch
- 70 Tendomers – force sensitive bis-rotaxanes with jump-like deformation behavior
- 72 Scaling theory for critical behavior in fiber networks

Prozessgeführte Strukturbildung polymerer Materialien



- 74
- 76 Entwicklung von Flammenschutzmitteln für PUR/PIR-Schäume
- 78 Green routes for preparation of supercapacitors based on PANI and graphite derivatives
- 80 A step closer to integrative simulation of polymer processes
- 82 Mikrospritzgießen – Einblicke in die Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen
- 86 Einfluss einer thermischen Nachbehandlung auf die Permeationseigenschaften von Polyurethanen
- 88 Stoffschlüssige Kunststoff-Kunststoff-Verbunde mit faserverstärkten UP-Duromeren und TPU
- 90 Nachhaltiges reaktives Blenden von Biopolymeren
- 92 Predicting mechanical stress in field-responsive polymers with an evolving microscopic order
- 94 Ergebnisse in Zahlen
- 95 Publikationen
- 123 Abgeschlossene Promotionen
- 124 Preise und Auszeichnungen
- 126 Wissenschaftlertausch
- 132 Wissenschaftliche Veranstaltungen
- 134 Wissenschaftliche Kolloquien (öffentlich)
- 139 Messen, Präsentationen, Ausstellungen
- 141 Lehrtätigkeit
- 144 Impressum

INHALT

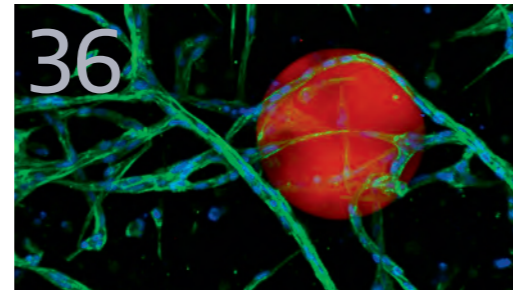
- 4 Inhalt
- 6 Vorwort | Preface
- 8 Schlaglichter | Highlights
- 10 Organe
- 11 Personal und Finanzen
- 12 Organigramm

Funktionale nanostrukturierte Grenzflächen und Polymersysteme



- 16 Unraveling chain walking catalysis – In depth characterization of dendritic polyethylene by means of advanced scattering and separation techniques
- 18 Unraveling chain walking catalysis – New polymer architectures predicted by theory and simulations
- 20 Metallopolymere – auf der Suche nach dem Besten zweier Welten
- 22 Remarkable mechanochromism in blends of a π -conjugated polymer P3TEOT: The role of conformational transitions and aggregation
- 24 Material- und Prozessentwicklung für die effiziente Fertigung der groß-formatigen Bipolarbatterie EMBATT2.0
- 26 An efficient and scalable binder system for high-performance silicon nano-particle-based lithium ion batteries
- 28 Plasmonische Oberflächenstrukturen und Cluster: Von der Assemblierung zur Sensor-Integration
- 30 NMR investigations on the intercalation and selfdiffusion of fluorinated anions in a high-voltage Zn-graphite battery
- 32 Understanding co-nonsolvency and volume phase transitions in polymer brushes
- 34 Exploring the interplay between the field- and deformation-induced particle rearrangements in magnetic elastomers

Biologie-inspirierte Grenzflächen- und Materialgestaltung



- 38 Molecular switch of cell mimics by light-driven proton transfer
- 40 Smart multifunctional coatings made by polymer brushes
- 42 Janus particles: From concepts to sustainable applications
- 44 Temperature-induced mechano- and growth factor release modulation of glycosaminoglycan based interpenetrating polymer networks
- 46 Hydrogels with programmable host reactions
- 48 Multiphasic microgel-in-gel materials to recapitulate cellular mesoenvironments *in vitro*
- 50 Highresolution bioprinting of multi-component hydrogels
- 52 A smart polymer for sequence-selective binding, pulldown and release of DNA targets
- 54 Polyacrylamide (PAAm) bead sensors for *in vivo* quantification of cell-scale stress in zebrafish development

Polymere Netzwerke und übermolekulare Strukturen



- 58 Methode zur Photostrukturierung von Hydrogelarrays zur Durchführung mehrstufiger Enzymreaktionen in der Mikrofluidik
- 60 Konzepte für mechanosensitive Partikel und deren Integration in 4D-Strukturen
- 62 Dynamics of spin-labeled polyacid chain segments in polyelectrolyte multilayers
- 64 Magneto-adaptive Faser-Elastomer-Komposite
- 66 Recycling of waste tire rubber by mechano-chemical devulcanization
- 68 Metall-Kunststoff-Verbunde mit einer elastischen Zwischenschicht und die Prüfung der Verbunde im Blockscherversuch
- 70 Tendomers – force sensitive bis-rotaxanes with jump-like deformation behavior
- 72 Scaling theory for critical behavior in fiber networks

Prozessgeführte Strukturbildung polymerer Materialien



- 76 Entwicklung von Flammenschutzmitteln für PUR/PIR-Schäume
- 78 Green routes for preparation of supercapacitors based on PANI and graphite derivatives
- 80 A step closer to integrative simulation of polymer processes
- 82 Mikrospritzgießen – Einblicke in die Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen
- 86 Einfluss einer thermischen Nachbehandlung auf die Permeationseigenschaften von Polyurethanen
- 88 Stoffschlüssige Kunststoff-Kunststoff-Verbunde mit faserverstärkten UP-Duromeren und TPU
- 90 Nachhaltiges reaktives Blenden von Biopolymeren
- 92 Predicting mechanical stress in field-responsive polymers with an evolving microscopic order
- 94 Ergebnisse in Zahlen
- 95 Publikationen
- 123 Abgeschlossene Promotionen
- 124 Preise und Auszeichnungen
- 126 Wissenschaftlertausch
- 132 Wissenschaftliche Veranstaltungen
- 134 Wissenschaftliche Kolloquien (öffentlich)
- 139 Messen, Präsentationen, Ausstellungen
- 141 Lehrtätigkeit
- 144 Impressum



VORWORT

Liebe Leser, liebe Mitarbeiter,
Partner, Freunde und Förderer,

Wir freuen uns, Ihnen den Jahresbericht 2019 des Leibniz-Instituts für Polymerforschung Dresden e. V. vorlegen zu können.

Das vergangene Jahr brachte wichtige Entscheidungen zur Besetzung leitender Positionen am Institut. Seit 1. Juli 2019 hat Frau Dr. Lilla Farkas das Amt der Kaufmännischen Direktorin (KD) inne. Dem aus Altersgründen ausgeschiedenen ehemaligen KD, Herrn Achim von Dungern, sei auch an dieser Stelle nochmals für sein Wirken am IPF gedankt.

Abgeschlossen wurden die Berufungsverfahren für zwei Professuren. Herr Professor Dr.-Ing. Markus Stommel übernimmt zum 1. März 2020 die Professur für Polymerwerkstoffe an der Technischen Universität Dresden (TUD) verbunden mit der Leitung des IPF-Instituts für Polymerwerkstoffe (Nachfolge von Professor Dr. Gert Heinrich). Ebenfalls im Ergebnis einer gemeinsamen Berufung ist Herr Dr. Sven Wießner ab 1. Februar 2020 Inhaber der neu etablierten Professur für Elastomere Werkstoffe der TUD und leitet den Forschungsbereich Elastomere am IPF. Er kann damit die bereits im Rahmen einer Juniorprofessur von 2012 bis 2018 geleistete Arbeit fortsetzen und ausbauen. Mit Herrn Dr. Abhinav Sharma erhielt ein weiterer Mitarbeiter des IPF den Status eines TUD Young Investigators. Durch die inzwischen fünf TUD Young Investigators am Institut wurden die Beziehungen zur Universität in den letzten Jahren weiter intensiviert.

Der Jahresbericht präsentiert erneut exemplarisch einige konkrete Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeit in der Form von Kurzberichten. Die Darstellung ist nach den vier strategischen Themen (ST) gegliedert, die von Wissenschaftlern der fünf Institute des IPF zumeist übergreifend bearbeitet werden, und den vier Kapiteln ist jeweils eine Einführung der Sprecher mit einer kurzen Übersicht über die Aktivitäten im betreffenden ST vorangestellt. Ergänzt wird die Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse durch Listen aller Veröffentlichungen in zumeist referierten und hochrangigen Fachzeitschriften – mit 364 so viele wie nie zuvor – sowie der am Institut betreuten Promotionen. Die Angaben zu Struktur, Gremien, Personal und Finanzen sowie die Fakten zu Auszeichnungen, Gästen, diversen Veranstaltungen und Präsentationen sowie Lehrtätigkeit werden ergänzt durch eine Übersichtsseite mit Schlaglichtern zu besonderen Ereignissen und Aktivitäten. Zu den bemerkenswerten Fakten gehört auch ein neuer Rekord bei der Einwerbung von Drittmitteln. (vgl. S. 9, 11).

Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre! Unseren Zuwendungsgebern, Förderern und Kooperationspartnern danken wir sehr herzlich für die gute Kooperation im Jahr 2019. ■

Prof. Dr. Brigitte Voit und Dr. Lilla Farkas
Vorstand des IPF

PREFACE

Dear readers, dear employees,
partners, friends and supporters,

We are pleased to present the Annual Report 2019 of the Leibniz Institute of Polymer Research Dresden e. V. In 2019, important decisions were taken concerning appointments to leading positions at the IPF. On July 1, 2019 Dr. Lilla Farkas joined the institute as new Managing Director and CFO after retirement of her predecessor. In this place we would like to thank Achim von Dungern once again for his work for our institute.

The appointment procedures for two professorships have finally been concluded. Professor Dr.-Ing. Markus Stommel has been appointed Professor for Polymer Materials at the Technische Universität Dresden (TUD) and Head of the IPF Institute of Polymer Materials and assumed both positions on March 1, 2020 (succeeding Professor Dr. Gert Heinrich). In an additional joint appointment of TUD with IPF, on February 1st, 2020, Dr. Sven Wießner took over the new Professorship for Elastomer Materials at the TUD. At the IPF, he heads the Research Division Elastomers. His appointment allows him to continue and further develop the activities pursued within his junior professorship (2012 to 2018). Dr. Abhinav Sharma was the fifth IPF scientist to be appointed TUD Young Investigator. These appointments have helped to intensify the cooperation with the university in the last few years.

The annual report gives an insight into research activities with short articles on selected results. They are arranged according to the four strategic themes, which are mostly dealt with in cooperation by scientists from the five institutes of the IPF. Each chapter has an introduction by the speakers to give a brief overview of the activities in the respective field. The presentation of scientific results is supplemented by lists of PhD theses supervised at the institute and of all publications in journals – 364 in 2019, as many as never before and mostly published in renowned peer-reviewed journals. A great deal of information is provided on structure, committees, personnel and finances as well as on awards, guests, various events and presentations, and teaching activities. Some outstanding results, events, and facts are highlighted at pages 8 and 9, among them the new record in acquisition of third-party funding.

We wish you a stimulating read and we sincerely thank our donors, sponsors and cooperation partners for the good cooperation in 2019. ■

Prof. Dr. Brigitte Voit and Dr. Lilla Farkas
Board of the IPF

HIGHLIGHTS SCHLAGLICHTER

• **Neuer Rekord bei Drittmittelerwerb:** Erstmals über 10 Millionen Euro
IPF gefragter Partner in Verbundprojekten im Hightech-Bereich und stark bei der Einwerbung von Mitteln für grundlagenorientierte Projekte (vgl. S. 9), dazu direkte Industriekooperationen und Projekte im Bereich Technologietransfer
New record in acquisition of third-party funding: EUR 10 million exceeded for the first time
IPF both partner of choice in collaborative projects in hightech area and successful in acquisition of basic-research projects (cf. p. 9), also direct cooperation with industry and technology-transfer projects

• **ERC Starting Grant des Europäischen Forschungsrates** für Dr. Julian Thiele für das Projekt „3DPartForm“ – ca. 1,5 Millionen EUR für die Entwicklung eines neuartigen Ansatzes in der additiven Fertigung
Dr. Julian Thiele receives European Research Council Starting Grant for the project “3DPartForm” – ca. EUR 1.5 million for the development of a new approach in additive manufacturing

• **MaterialVital-Preis im Rahmen des BMBF-Programms „Materialinnovationen für gesundes Leben: ProMatLeben – Polymere“** für das IPF-Ausgründungsprojekt ResCure: Hydrogel-basierte Wundauflagen für chronische Wunden
IPF spin-off project ResCure receives MaterialVital Award within the program “Material innovations for a healthy life: ProMatLeben – Polymers” of the Federal Ministry of Education and Research for development of hydrogel wound dressings

• **Organisation von internationalen Tagungen, federführend International Conference on Adhesion in Aqueous Media: From Biology to Synthetic Materials und 15th Zsigmondy Colloquium** (Tagungen vgl. S. 132), sowie Veranstaltungen für die Öffentlichkeit, u.a. Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften
Organization of international conferences, e.g. International Conference on Adhesion in Aqueous Media: From Biology to Synthetic Materials und 15th Zsigmondy Colloquium (Conferences cf. p. 132) and of events for the general public, such as the Dresden Science Night

• **Offizielle Einweihung des neuen Gebäudes in Anwesenheit der Sächsischen Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst, Frau Dr. Eva-Maria Stange**
Official inauguration of the new building in presence of Dr. Eva-Maria Stange, Saxon State Minister for Higher Education, Research and the Arts



3D
PartForm



© IPF/J. Thiele, S. Konze



© ProMatLeben/AMN



© K. Uhlig



© I. Kühnert



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



• **Erhalt des Zertifikats „HR Excellence in Research“ der Europäischen Kommission sowie Anerkennung als familienfreundliche Einrichtungen nach dritter erfolgreicher Verteidigung des 2010 erstmals errungenen Zertifikats audit berufundfamilie**
IPF has received the certificate “HR Excellence in Research” of the European Commission and has been acknowledged as family-friendly institution after having defended the certificate audit berufundfamilie for the third time since 2010

• **Dr. Eva Bittrich erhält Paul Drude Award, die höchste internationale Auszeichnung auf dem Gebiet der Ellipsometrie** (Auszeichnungen vgl. S. 124)
Dr. Eva Bittrich receives Paul Drude Award, the most important international prize in the field of ellipsometry (Awards cf. p. 124)



© Univ.-Cluj-Bucuresti



TISSUE
GUARD

NEURON-D



BETTER
BASICS
LABORBEDARF

• **Ausgründungen aus IPF vollzogen**
IPF spin-offs start business activities

- **TissueGUARD GmbH**
Zellkultur-Plattform für die künstliche Gewebezüchtung und voll funktionale Transplantate ohne anhaftendes Fremdmaterial
Cell-culture platform for tissue engineering and chemically and physically untouched tissues
- **Neuron-D GmbH**
Humane 3D-Zellkultur-Modelle für neurodegenerative Erkrankungen
3D human cell culture models for investigation and treatment of neurodegenerative diseases
- **Better Basics Laborbedarf**
Modulares Halterungssystem für Laborzubehör und Glasgeräte
Modular racks for laboratory equipment and glass vessels

• **IPF präsentiert sich auf der weltgrößten Kunststoffmesse K 2019 in Düsseldorf mit eigenem 35 qm-Stand im Science Campus; Doktorandenexkursion zur Messe (Messen vgl. S. 139)**
IPF presentation at the world's Nr. 1 Trade Fair for Plastics and Rubber, K 2019 in Düsseldorf: 35 qm booth within the Science Campus; Group of IPF PhD students visits fair (Fairs cf. p. 139)

• **Hohe mediale Aufmerksamkeit für Anti-Malaria-Textilien – Ergebnis eines Projektes von IPF und Universität Pretoria, Südafrika – im Rahmen der Kampagne „Genial Sächsisch!“ der Sächsischen Zeitung**
Broad media echo for anti-malaria textiles – developed within a joint project of IPF and the University of Pretoria, South Africa – in the campaign “Genial Sächsisch!” of the regional newspaper Sächsische Zeitung

ORGANE

Das Institut wurde auf Empfehlung des Wissenschaftsrates mit Wirkung vom 1.01.1992 als eingetragener Verein gegründet. Es gehört der Leibniz-Gemeinschaft an und wird zu gleichen Teilen von Bund und Ländern institutionell gefördert. Die Organe des Vereins sind die Mitgliederversammlung, das Kuratorium, der Vorstand und der Wissenschaftliche Beirat. Dem Verein gehörten im Berichtsjahr ab dem 1.01.2019 zehn stimmberechtigte Mitglieder an. Der Freistaat Sachsen ist als juristische Person Mitglied des Vereins.

Das **Kuratorium** hatte 2019 folgende Mitglieder:

- Freistaat Sachsen – vertreten durch das Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, vertreten durch Ministerialrat Christoph Meier, Dresden, Vorsitzender
- Bundesrepublik Deutschland – vertreten durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, vertreten durch Dr. Peter Schroth, Bonn, stellvertretender Vorsitzender
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Rödel, Technische Universität Dresden, von der Mitgliederversammlung gewähltes Mitglied des Vereins
- Prof. Dr. Dr. h. c. Peter Fratzl, Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam, von der Mitgliederversammlung gewählter Sachverständiger

Als Mitglieder im **Vorstand** waren bestellt:

als **Wissenschaftliche Direktorin:**

Prof. Dr. Brigitte Voit

als **Kaufmännischer Direktor:**

Achim von Dungern (bis 30.06.2019)

Dr. Lilla Farkas (ab 1.07.2019)

Der **Wissenschaftliche Beirat** setzt sich aus sechs bis zehn stimmberechtigten ausgewiesenen externen Fachleuten des In- und Auslandes

in den verschiedenen Arbeitsgebieten des Vereins zusammen. Die Mitglieder werden im Benehmen mit dem Vorstand berufen. Im Berichtsjahr gehörten dem Wissenschaftlichen Beirat folgende Mitglieder an:

- Prof. Dr. Matthias Ballauf, Helmholtz-Zentrum Berlin,
- Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten, Universität Stuttgart,
- Prof. Claudia Fischbach-Teschl, Cornell University, USA,
- Prof. Dr. Katharina Landfester, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz,
- Prof. Dr. Matthias Lutolf, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Schweiz,
- Prof. Dr. Wolfgang Paul, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
- Dr. Jens Rieger, BASF SE, Ludwigshafen,
- Dr. Georges Thielen, Goodyear Innovation Center, Luxemburg,
- Dr. Matthias Ullrich, Evonik Resource Efficiency GmbH, Marl,
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Wessling, RTWH Aachen.

Weitere **Gremien am Institut** sind Kollegium und Wissenschaftlich-Technischer Rat. Das Kollegium, das durch die Leiter der fünf IPF-Institute gebildet wird, wirkt mit bei der Forschungsplanung, berät und unterstützt den Vorstand bei Aufstellung, Vollzug und wissenschaftlichem Controlling des Programmbudgets. Der Wissenschaftlich-Technische Rat besteht aus gewählten wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts und berät den Vorstand in wissenschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Fragen.

Förderverein

Dem Verein zur Förderung des IPF gehörten im Berichtsjahr 25 Firmen und Institutionen sowie 18 Privatpersonen an. (Mitgliederliste im Internet unter „Organisation“) ■



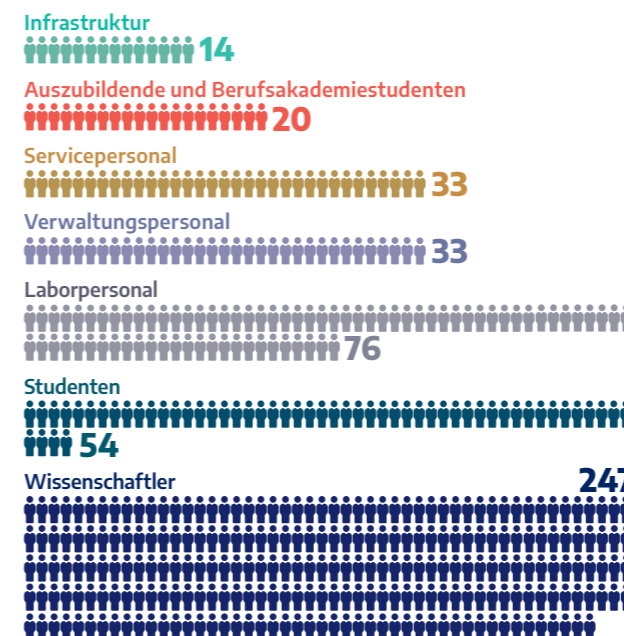
Personal

Im Institut arbeiteten zum 31.12.2019 477 Mitarbeiter; davon waren 247 Wissenschaftler. Zum Stichtag am Jahresende verzeichnet die Statistik 104 Doktoranden und 37 Postdoktoranden. 312 Mitarbeiter wurden aus institutionellen Mitteln und 165 Mitarbeiter aus Drittmitteln finanziert. Der Anteil weiblicher Mitarbeiter lag bei 46 % aller Beschäftigten, der von Beschäftigten mit ausländischer Staatsangehörigkeit bei 18 %. Über das Jahr waren insgesamt 219 Gastwissenschaftler und -studenten für kürzere (71) oder längere (148) Zeiträume* im Rahmen von Gastaufenthalten am IPF tätig. Außerdem beschäftigte das Institut im Jahr 2019 insgesamt 123 studentische Hilfskräfte und Praktikanten. Zum Stichtag 31.12.2019 hatten 20 Auszubildende einen Ausbildungsvertrag mit dem Institut: 10 Chemielaboranten, 9 Biotechnikstudenten und ein Verfahrensmechaniker. Das Institut ist nach dem audit berufundfamilie als familienfreundliche Einrichtung zertifiziert.

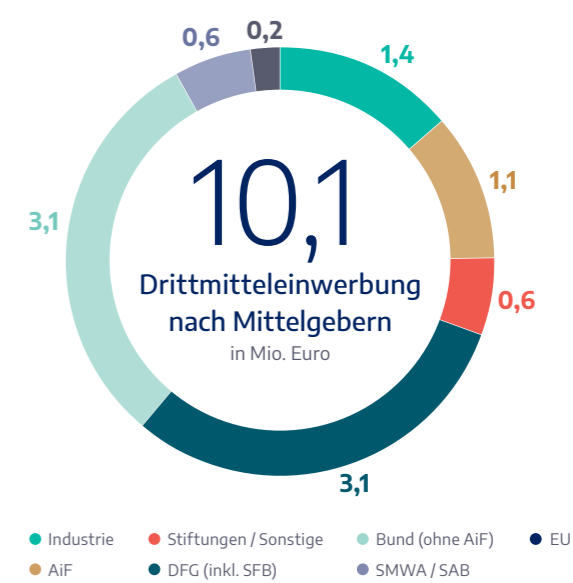
* kleiner/größer drei Monate



Mitarbeiter nach Beschäftigungsgruppen



PERSONAL UND FINANZEN



Finanzen

Im Haushaltsjahr 2019 erhielt das IPF für laufende Maßnahmen eine institutionelle Förderung in Höhe von 26,3 Mio. EUR. Diese Mittel wurden zu 52 % für Personal, zu 33 % für sächliche und Verwaltungsausgaben und zu 15 % für Investitionen verwendet. Außerdem wurden dem IPF für 2019 finanzielle Mittel in Höhe von 4,3 Mio. EUR für die Baumaßnahme Gebäude Kaitzer Straße 4 bewilligt. Aus öffentlich geförderten Projekten und Industrieverträgen im Drittmittelbereich konnten 10,1 Mio. EUR eingeworben werden. Damit erreichten die Drittmittel einen Anteil von 28 % am Gesamtetat. 8,7 Mio. EUR der eingeworbenen Mittel entstammen öffentlich geförderten Projekten der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Europäischen Union, der Bundesministerien für Bildung und Forschung, für Ernährung und Landwirtschaft sowie für Wirtschaft und Energie (über AIF Projekt GmbH), des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, der Volkswagen-Stiftung, der Alexander von Humboldt-Stiftung oder des Deutschen Akademischen Austauschdienstes. Über direkte Kooperationen mit der Industrie wurden 1,4 Mio. EUR eingenommen. ■

ORGANIGRAMM

Stand: 31.12.2019

MITGLIEDERVERSAMMLUNG

KURATORIUM

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT

VORSTAND

Wissenschaftliche Direktorin

Prof. Dr. Brigitte Voit

Kaufmännische Direktorin

Dr. Lilla Farkas

LEITUNGSSTAB

Forschungsplanung / -koordinierung

Antonio Reguero

Öffentlichkeitsarbeit

Kerstin Wustrack



Prof. Dr. Brigitte Voit

Institut Makromolekulare Chemie

Abteilung Polymerstrukturen
Dr. Anton Kiriy

Abteilung Bioaktive und responsive Polymere
Dr. Dietmar Appelhans

Abteilung Funktionale Nanokomposite und Blends
Dr. Petra Pötschke

Abteilung Analytik
Dr. Klaus-Jochen Eichhorn



Prof. Dr. Andreas Fery

Institut Physikalische Chemie und Physik der Polymere

Abteilung Polymergrenzflächen
PD Dr. Alla Synytska

Abteilung Polyelektrolyte und Dispersionen
Dr. Ulrich Scheler

Abteilung Nanostrukturierte Materialien
Dr. Petra Uhlmann



Prof. Dr. Udo Wagenknecht (kommissarisch)

Institut Polymerwerkstoffe

Abteilung Verarbeitungsprozesse
Dr. Ines Kühnert

Abteilung Reaktive Verarbeitung
Prof. Dr. Udo Wagenknecht

Abteilung Mechanik und Verbundwerkstoffe
Dr. Konrad Schneider

Abteilung Elastomere
Dr. Sven Wießner



Prof. Dr. Carsten Werner

Institut Biofunktionelle Polymermaterialien

Ladung, Struktur und Adhäsion an Biogrenzflächen
Dr. Ralf Zimmermann

Hämokompatibilität von Biomaterialien
Dr. Manfred Maitz

Matrix Engineering
Dr. Uwe Freudenberg



Prof. Dr. Jens-Uwe Sommer

Institut Theorie der Polymere

Theoretische Polymerphysik
Prof. Dr. Jens-Uwe Sommer

Materialtheorie und Modellierung
PD Dr. Marina Grenzer



Dr. Michael Wilms

Bereich Forschungstechnik

Geräteentwicklung und Konstruktion
Dr. Michael Wilms

Gerätebau und Werkstattservice
Dirk Zimmerhäckel



Dr. Lilla Farkas

Verwaltung und Technische Dienste

Finanzen und Controlling
Dr. Kathrin Imberger

Personal und Soziales
Susanne Otto

Beschaffung und Allgemeine Dienste
Kerstin Nitsche

Bibliothek
Ursula Umlauf

Labor- und Anlagentechnische Gebäudeausrüstung
Falk Wünsche

Informationstechnik
Ulrich Seltmann

Funktionale nanostrukturierte Grenzflächen und Polymersysteme



Prof. Dr. Brigitte Voit Prof. Dr. Andreas Fery Prof. Dr. Carsten Werner

In ST1 fokussieren die Arbeiten auf Verständnis und Darstellung von funktionalen Polymeren und Nanohybridstrukturen, speziell auch unter dem Aspekt der Effizienz und Nachhaltigkeit, und deren skalierbare Integration in Anwendungen und Systeme.

Im Bereich der funktionalen Polymere wurde die Entwicklung und Optimierung von Synthesemethoden zur Erzeugung von Funktionspolymeren für Anwendungen in der Optoelektronik und der Energietechnik vorangetrieben. So wurden erstmalig halbleitende und aus der Lösung prozessierbare Ruthenium-basierte Polymetallayne realisiert, der Vorteil von AB-Monomeren gegenüber der Kombination von AA + BB Monomeren in der Palladium-katalysierten Suzuki-Polykondensation zu konjugierten Polyarylenen herausgestellt (*Macromol. Rapid Commun.* 2020, 41, 1900521) und ein starker Mechanochromismus in Blends von π -konjugierten P3TEOT aufgezeigt (*Adv. Optical Mater.*, 2019, early view). Zum Einsatz von großflächigen bipolaren Lithiumionen-Batterien im Auto konnten elektrochemisch stabile Durchleiterfolien als auch effiziente Festkörperelektrolyte entwickelt werden. Zudem konnten neue Ansätze für partikelbasierte Li-Ionenbatterien realisiert werden (*J. Electrochem. Soc.* 2019, 166 A5275) und NMR-Untersuchungen erlauben ein besseres Verständnis von Transportprozessen in Batterien (*Adv. Mater.* 2019, 1905681). Für die Reduktion von Graphenoxid zu Graphen, welches in Kombination mit Polyanilin für Superkondensatoren Einsatz findet, wurde eine energieeffiziente und umweltfreundliche Methode basierend auf Gerbsäure entwickelt. Schließlich konnten Methoden zur großflächigen Polymerbürstenmodifikation von Grenzflächen entwickelt werden, die unter anderem in Batterien Anwendungen finden. Hervorzuheben ist aber auch, dass in einer sehr fruchtbaren Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment das Kettenwachstum und die Entwicklung

der verzweigten Architektur bei der Chain-Walking-Polymerisation von Olefinen erstmalig vollständig aufgeklärt wurde (*JACS* 141, 2019, 15586). In einer weiteren Kooperation zwischen Theorie und Experiment konnte der Kollapsübergang von PNIPAm-Bürsten in Wasser-Alkohol-Mischungen quantitativ beschrieben werden (*Macromolecules* 52, 2019, 6285).

Im Bereich der Nanohybridstrukturen konnten optoelektronisch funktionelle Nanostrukturen durch Kombination von maßgeschneiderter Synthese metallischer Kolloide (*Chem. Mater.* 2019, 31, 2822) und deren Anordnung auf Polymeroberflächen erzeugt werden. Dieser Ansatz bietet Zugang zu photonischen Elementen wie Lichtwellenleitern (*Nano Letters* 2019, 19, 3854), sensorischen Komponenten (*Nanoscale* 2019, 11, 17655–17663), Materialien für oberflächenverstärkte Ramandetektion und streckbaren Sensorelementen (*ACS Appl. Mater. & Interfaces* 2019, 11, 28189), sowie Superabsorberoberflächen.

Besondere Fortschritte wurden in der Integration dieser Strukturen in Biomaterialien oder elektronischen Bauelementen erzielt, die die Voraussetzung für zahlreiche Anwendungen bildet (*Proceedings IEEE* 2019, 107, 204). Hier bieten die partikuläre Struktur sowie die Strukturbildung durch Selbstanordnung Vorteile gegenüber klassischen lithographischen Fertigungstechniken, wie Skalierbarkeit und energieeffizientere Fertigungsprozesse.

Viele der genannten Anwendungen erfordern die Charakterisierung von dünnen Filmen, für die am IPF unter anderem die spektroskopische Ellipsometrie methodisch intensiv weiterentwickelt wird. Frau Dr. Bittrich hat dafür 2019 den *Paul-Drude-Award* erhalten. ■

Unraveling chain walking catalysis – In depth characterization of dendritic polyethylene by means of advanced scattering and separation techniques

Laura Plüschke, Ron Dockhorn, Anthony Ndiripo, Jan Merna, Jens-Uwe Sommer, Harald Pasch, Albena Lederer

Living coordination polymerization of ethylene or other α -olefins through Pd(II)- α -diimine catalysts gives rise to macromolecules with outstanding controllability over polymeric structure and material properties. Indeed, the exceptional capability of the catalyst to maneuver within the polymer favors the formation of high molecular weight macromolecules with dendritic architecture. However, despite countless investigations in the past, the conception of CW catalysis and the products derived from it greatly varied, provoking that research outputs were marked by substantial contradictions.

Within an interdisciplinary research project, a selection of polyethylene obtained from CW catalysis (CWPE) was compiled through systematical variation of reaction conditions. The so-produced macromolecules were subjected to state-of-the-art analytical techniques to reveal the molecular properties of CWPE on global and segmental length scale. Moreover, the experimental results were compared to theoretically predicted CW structures generated by Monte Carlo simulations to elucidate the true potential of CW polymerization.¹

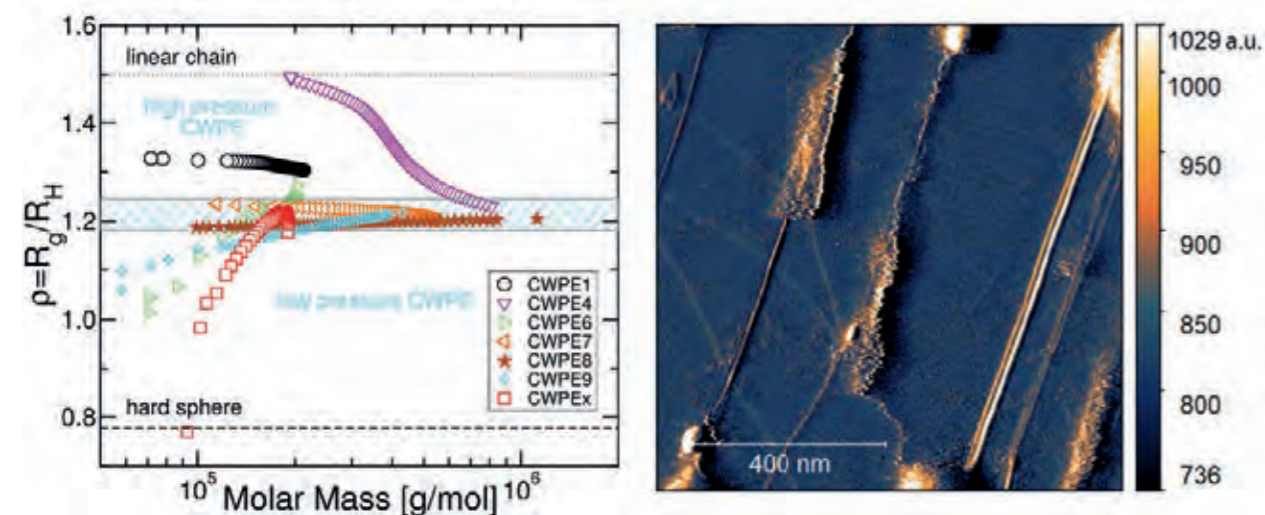


Fig. 1 Left: Molar mass dependence of the structure ratio ρ of various CWPE obtained from quadruple-detector HT-SEC. The marked region denotes the universal scaling behavior of all CWPE at high molar mass, proposed to be dendritic bottlebrush architecture. Right: AFM image of CWPE on HOPG substrate in amplitude mode.

On global scale, CWPEs demonstrate worm-like chain scaling with poor sensitivity to the variation of reaction conditions. Yet, their contraction factors indicate that substantial deviations in their branching densities are triggered by synthesis modification. Using quadruple-detector high temperature size exclusion chromatography (HT-SEC-d4),² a universal scaling regime was monitored, which all CWPE approach at sufficient polymer size (figure 1, left).

Small angle neutron scattering experiments gave access to the structural characteristics of CWPE on various length scales and identified a molar mass-dependent transition from dendritic to linear scaling behavior, which

is universal for CWPE regardless of the applied reaction conditions. The respective theoretical arguments and the comparison between simulated and experimental scattering data are highlighted in article no. 31 (PB5). However, on global scale this crossover leads to the formation of macromolecules with worm-like chain scaling but differences in their local topology depending on the given reaction conditions. These bottlebrush shaped macromolecules were validated by AFM as depicted in figure 1, right. Not only does this provide solid evidence for the proposed structural transition of CW structures, it was also the first time that the exceptional architecture of CWPE was visualized in appropriate measure.¹

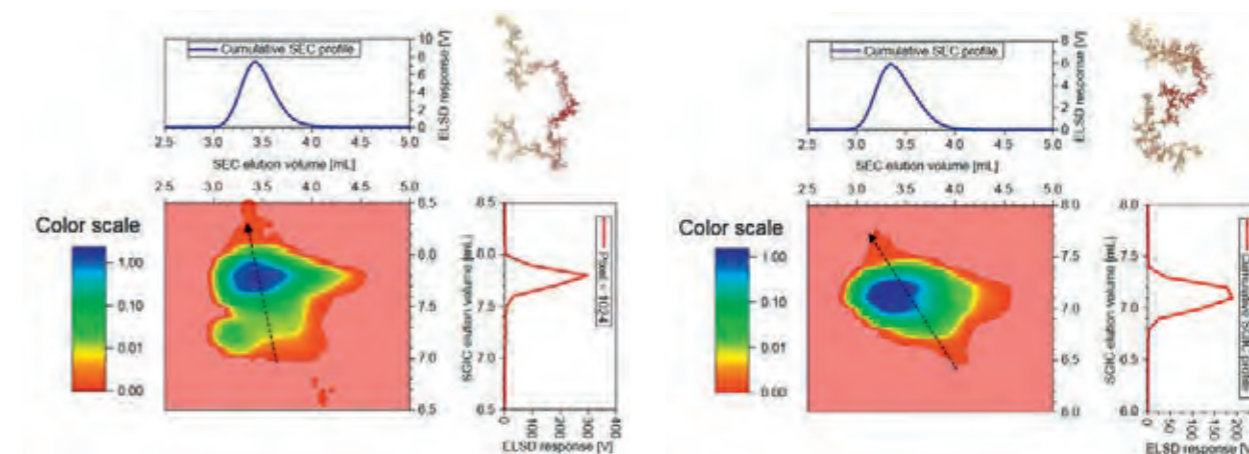


Fig. 2 2D contour plot from HT-SGIC x HT-SEC of CWPE obtained from high (left) and low reaction pressure (right), respectively. The arrows are guides for the eye, only and illustrate the universal crossover of CWPE.

These observations were recently verified by two-dimensional liquid chromatography of CWPE with various topological properties. There, high temperature solvent gradient interaction chromatography (HT-SGIC) separating according to chemical composition was hyphenated with HT-SEC separating according to molar mass. The so-produced 2D contour plots (figure 2) display the bivariate distribution of the respective analyte and allow for an in-depth structural characterization by means of liquid chromatography.

Complex polymer synthesis calls for sophisticated analytical strategies in order to reliably clarify structure-property relationships and open new avenues for targeted application of complex macromolecular systems. In this extended analytical study, we demonstrate the power of complementary, modern characterization techniques to unravel the specific architecture of chain-walking polyolefins and unlock new possible applications in which their bottle-brush character is crucial. ■

[1] R. Dockhorn, L. Plüschke, M. Geisler, J. Zessin, P. Lindner, R. Mundil, J. Merna, J.-U. Sommer and A. Lederer: *J. Am. Chem. Soc.*, 2019, 141, 15586–15596.
[2] L. Plüschke, R. Mundil, A. Sokolohorskiy, J. Merna, J.-U. Sommer and A. Lederer: *Anal. Chem.*, 2018, 90, 6178–6186.

Unraveling chain walking catalysis – New polymer architectures predicted by theory and simulations

Ron Dockhorn, Laura Plüschke, Martin Geisler, Johanna Zessin, Albena Lederer, Jens-Uwe Sommer

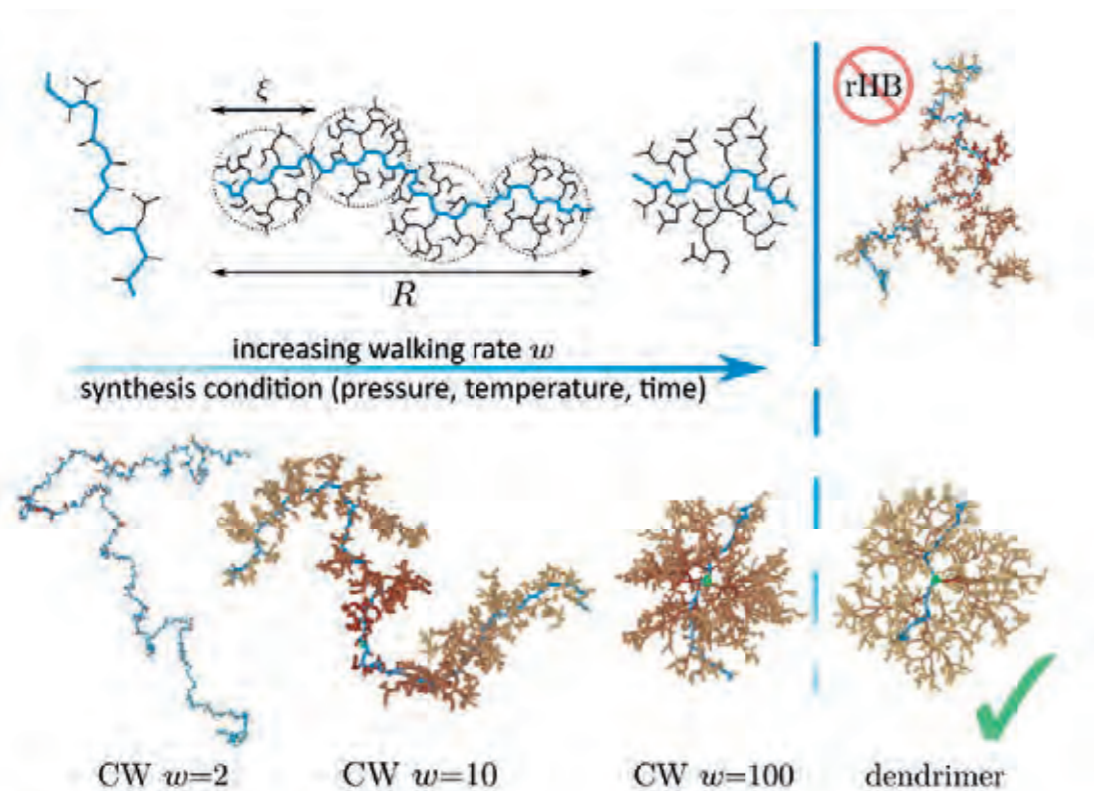


Fig. 1 Sketch of the proposed theoretical model (upper panel) confirmed by the simulation of the chain walking catalysis under varying walking rate w (lower panel). The chain walking catalysis leads to dendronized bottle-brushes and dendrimers rather than randomly hyperbranched structures.

The synthesis for defined polymer architectures is challenging and focus of recent research. In 1998 Brookhardt et al. [1] and in 1999 Guan et al. [2] introduced an elegant approach to obtain hyperbranched polyethylenes synthesized by Pd–diimine-catalyzed metallocene catalysts [1] by the chain walking (CW) polymerization technique. The catalyst is able to polymerize ethylene and α -olefines into a variety of complex architectures depending on pressure, temperature and olefine concentration. The

complexity arises due to the unique catalyst property to walk along the polymer introducing branch-on-branch structures. The literature discusses three regimes/topologies of polymers appearing in the synthesis: linear, dendritic, and hyperbranched. As linear and dendritic topologies for polymers are well-defined, the phrase “hyperbranched” is confusingly used as synonym for all highly branched object also referring to randomly hyperbranched (rHB) Zimm-Stockmayer polymerization [3].

Coarse-grained Monte Carlo simulations utilizing the bond fluctuation model [4, 5] of the CW polymerization catalysis with different walking rates w are performed [6] to investigate the influence of the walking mechanism on the polymer architecture at a given molecular weight N . For low walking rates $w \approx 1$ the structure grows with linear chain extensions, whereas high walking rates $w \gg 1$ promote dendritic growth of the polymer, see figure 1. The transition region is characterized by large amount of branched side chains reflecting a cross-over regime with linear global features and dendritic local sub-structures contrary to rHB. Indeed, the obtained CW structures have characteristics of disordered dendritic bottle brushes and the degree of branching can be adjusted by the walking rate of the catalyst.

A generalized mean-field model [6, 7] is applied, and is found in fair agreement with the simulation data describing the scaling relation of the different regimes under good solvent conditions, see figure 2. Additionally, SANS scattering experiments of the CW polymerization are performed and compared to the simulation data to verify the observed macro-conformational transitions, see figure 3. These findings are aimed to understand the physical properties related with the polymer architectures of the CW structures and to improve the rational design of a novel class of hyperbranched molecules. ■

Sponsors

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG): Contract number LE 1424/7 and SO 277/13
- Czech Science Foundation (GAČR): Contract number 15-15887J

Cooperations

- Dr. Peter Lindner, Institut Laue-Langevin, Grenoble, France
- Prof. Jan Merna and
- Dr. Robert Mundil, University of Chemistry and Technology Prague, Prague, Czech Republic

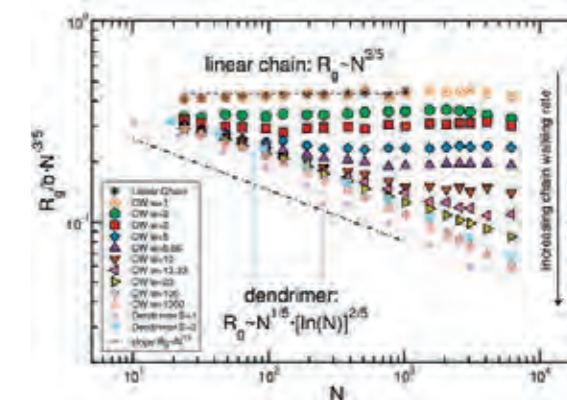


Fig. 2 Radius of gyration R_g of the CW structures scaled by linear chain behavior obtained for different walking rate w and various degree of polymerization N confirming the macro-conformational transitions.

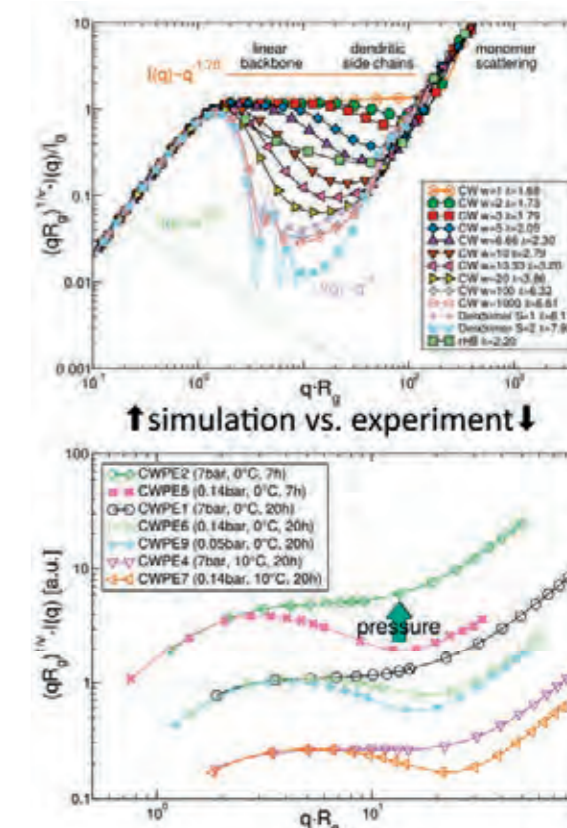


Fig. 3 Top: Calculated scattering intensity as a function of momentum transfer q for CW structures ($N = 3072$), rHB molecules, and perfect trifunctional dendrimers. The lines indicate the expected slopes for linear chains and mean-field prediction for rHB molecules. Bottom: Experimental SANS data of polyethylenes obtained by chain walking mechanism (CWPE) under varying synthesis conditions.

- [1] S. Mecking, L. K. Johnson, L. Wang, M. Brookhardt: J. Am. Chem. Soc. 1998, 120, 888–899.
- [2] Z. Guan, P. M. Cotts, E. F. McCord, S. J. McLain: Science 1999, 283, 2059–2062.
- [3] B. H. Zimm, W. H. Stockmayer: J. Chem. Phys. 1949, 17, 1301–1314.
- [4] I. Carmesin, K. Kremer: Macromolecules 1988, 21, 2819–2823.
- [5] H. P. Deutsch, K. Binder: J. Chem. Phys. 1991, 94, 2294–2304.
- [6] R. Dockhorn, L. Plüschke, M. Geisler, J. Zessin, P. Lindner, R. Mundil, J. Merna, J.-U. Sommer, A. Lederer: J. Am. Chem. Soc. 2019, 141, 15586–15596.
- [7] A. Jurjiu, R. Dockhorn, O. Mironova, J.-U. Sommer: Soft Matter 2014, 10, 4935–4946.

Metallopolymere – Auf der Suche nach dem Besten zweier Welten

Po-Yuen Ho, Kilian Horatz, Takuya Tsuda, Hartmut Komber, Franziska Lissel

Faltbare Monitore, Sensoren welche direkt auf der Haut getragen werden – die Nutzung halbleitender Polymere erlaubt uns neue Anwendungen, welche mit konventionellen elektronischen Bauteilen kaum möglich sind.

Während tausende rein organischer – also hauptsächlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehender – halbleitender Polymere bekannt sind und täglich über neue Varianten berichtet wird, gibt es nur wenige *Metallopolymere*, welche zusätzlich Metallzentren beinhalten. Die meisten Metalle haben aber bekannte und gut modu-

lierbare elektrochemische Eigenschaften, können z. B. als Elektronenreservoir agieren oder gezielt dotiert werden, und sind folglich hochinteressant für elektronische Anwendungen.

Metallzentren können auf drei Arten an Polymere angebunden sein: über eine Seitenkette (Fig. 1, a), assoziiert an das Polymer-Rückgrat (Fig. 1, b), oder *direkt* in das Rückgrat eingebettet (Fig. 1, c). Diese auch als Wolf-I, Wolf-II und Wolf-III bezeichneten Strukturklassen spiegeln die elektronische Interaktion zwischen Polymerrückgrat und Metallzentren wider: während diese in Wolf-I Polymeren

elektronisch unabhängig agieren, sind in Wolf-III Systemen die Metallzentren *intrinsischer Baustein* des Polymerrückgrats: Wird das Polymer zum Ladungstransport genutzt, sind die Metallzentren obligat beteiligt. Dies erlaubt die Nutzung der Metallzentren als elektronisch-funktionale Strukturelemente und ist folglich sehr vielversprechend. Allerdings sind erstaunlich wenige Wolf-III *Metallopolymere* bekannt, und diese beinhalten meist elektrochemisch träge Edelmetalle wie Platin oder Gold, welche nur begrenzt interessant sind.

Hier setzte die Arbeit von Dr. F. Lissel und ihrer Gruppe *Funktionelle Elektronische Materialien* (FEM) am Institut für Makromolekulare Chemie (IMC) des IPF an: Ziel war es, einen Weg zu finden, lösliche Wolf-III *Metallopolymere* mit elektrochemisch aktiven Metallzentren herzustellen.

Im Rahmen seiner am IPF und CFAED der TU Dresden durchgeführten M. Sc. Arbeit testete der aus Hong Kong stammende P.-Y. Ho verschiedene Polymerisationsbedingungen, und war schließlich in der Lage, eine aus dem Bereich der anorganischen Chemie bekannte Reaktion zu einer Polymerisationsmethode weiterzuentwickeln. Dies erlaubte die Synthese eines ersten hochmolekularen und hoch-löslichen Ruthenium-basierten Wolf-III *Metallopolymers* (Fig. 2), in welchem die Metallzentren linear und symmetrisch in das Rückgrat eines klassischen halbleitenden Polymers eingebettet sind.

Direkt am IPF wurden von Dr. H. Komber detaillierte Kernspinresonanzuntersuchungen des neuen Materials durchgeführt, zur weiteren strukturellen Aufklärung wurden u. a. Röntgenstrukturanalysen (Universität Zürich, CH) genutzt. Kollaborationspartner am Leibniz-Schwesterinstitut IFW Dresden zeigten, dass die Metallzentren ihre elektrochemische Funktionalität behalten und reversibel zwischen zwei Oxidationszuständen

geschaltet werden können. Mehr noch: Unter speziellen experimentellen Bedingungen zeigte das Polymer sogenanntes gemischt-valentes Verhalten, d. h. es fand eine elektronische „Kommunikation“ zwischen den Metallzentren statt. Schließlich wiesen Kollaborationspartner der Universität Cambridge (GB) nach, dass das neue Metallopolymere halbleitende Eigenschaften besitzt und ein funktionelles Material für elektronische Anwendungen ist.

Damit zeigt sich das hohe Potential dieser neuen Materialklasse. Nach der am IPF durchgeführten Arbeit eröffnet sich hier ein ganz neues Gebiet: Die Variation der Metalle und ihrer strukturellen Umgebung, der organischen Komponenten und ihrer Verknüpfung ergeben ein breites Spielfeld, um hochfunktionale Materialien für elektronische Anwendungen zu erhalten. ■

Gefördert durch

Fonds der Chemischen Industrie (FCI)

Kollaborationspartner

- Prof. Dr. Stefan C. B. Mansfeld, CFAED
- Dr. Evgenia Dmitriva, IFW Dresden
- Dr. Olivier Blacque, Universität Zürich (CH)
- Dr. Ulrike Kraft und
- Prof. Dr. Henning Siringhaus, Universität Cambridge (GB)

Publikation

P.-Y. Ho, H. Komber, K. Horatz, T. Tsuda, S. C. B. Mansfeld, E. Dmitriva, O. Blacque, U. Kraft, H. Siringhaus, und F. Lissel: *Polym. Chem.* 2020, 11, 472–479

Teil der Sonderausgabe

Polymer Chemistry Emerging Investigators 2020

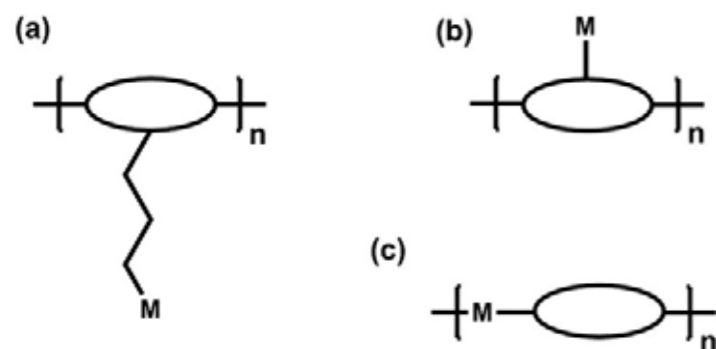


Abb. 1 Metallzentren können auf verschiedene Arten an Polymere angebunden sein: via einer Seitenkette (Wolf-I, a), an das Rückgrat assoziiert (Wolf-II, b), oder in das Rückgrat eingebettet (Wolf-III, c).

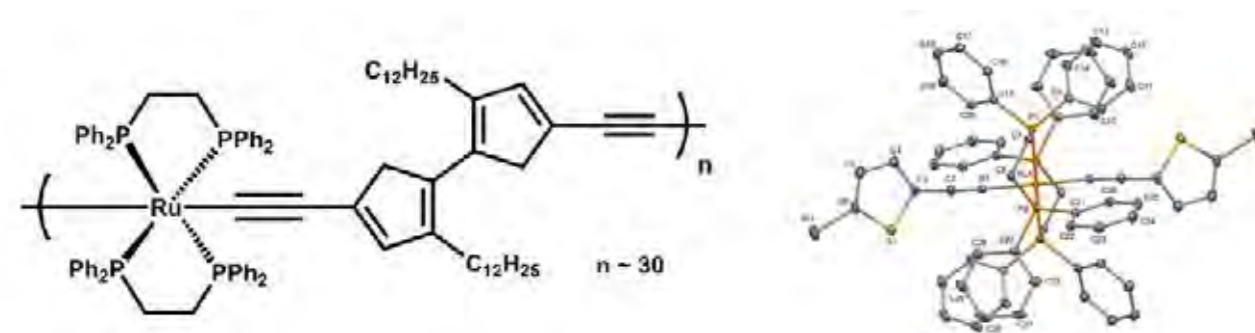


Abb. 2 links Das neue Wolf-III Metallopolymere; rechts Röntgenstrukturanalysen von Vorläufermolekülen zeigten die lineare Einbettung des Metallzentrums (mittig, hier orange).

Remarkable mechanochromism in blends of a π -conjugated polymer P3TEOT: The role of conformational transitions and aggregation

Johanna Zessin, Max Schnepf, Ulrich Oertel, Tetyana Beryozkina, Tobias A. F. König, Andreas Fery, Michael Mertig, and Anton Kiriy*

In the field of material science, one major problem of structural polymers is failure through mechanical stress or strain. Mechanochromic polymers, or their composites, which respond to mechanical stress with a change of their absorption and fluorescence features,¹ have a potential as sensors to monitor the material's failure. Moreover, mechanochromic polymers might be useful in many emerging materials and applications, e.g., in artificial skin, wearable, camouflage systems, and for anti-counterfeiting.² In this work, a novel mechanism for well-pronounced mechanochromism in blends of a π -conjugated polymer based on reversible conformational transitions of a chromophore rather than caused by different aggregation states of the chromophore, is exemplified.³

To explore the mechanochromic behavior, we prepared blends of poly(3-tri(ethylene glycol) (P3TEOT) with the highly polar, water soluble polyvinyl alcohol (PVA). Blends with a content of P3TEOT of 1.35 wt% give a bright orange colored free-standing PVA film after the film-casting process (Figure 1b). These films (thickness = 0.5 mm) were cut into strips (10 x 50 mm²), heated above the glass transition temperature of PVA (T_g ~ 75 °C)⁴ and uniaxially stretched by 100 % (Figure 1c).

The accompanied color change from orange to red is readily apparent with the naked eye (Figure 1b). As presented in Figure 1d, UV-vis absorption measurements reveal a red-shift of λ_{max} from 460 nm up to 510 nm upon the stretching. The emission band is red-shifted as well (λ_{max} from 600 to 615 nm) (Figure 1e).

An opposite transition of the emission spectra is observed at low concentrations of P3TEOT. For instance, the sample containing 10⁻³ wt% of P3TEOT shows an emission maximum of 553 nm in the unstretched state (Figure 3a), which undergoes a blue shift to λ_{max} = 511 nm emerges upon stretching by 180 %. This counterintuitive phenomenon can be explained in terms of the concentration dependency of the P3TEOT's aggregation state, which in turn results in different molecular conformations and optical properties. The mechanochromic transitions are fully reversible and initial conformational state and isotropic structure can be recovered upon a brief heating above glass transition point of PVA or in the presence of moisture.

The unique ability of P3TEOT blends to change color upon the stretching is due to an "intermediate", moderately planar conformation of P3TEOT in the solid state and because of its low glass transition temperature.

A combination of these two factors are responsible for mobility of P3TEOT chain and their transition to more planar states upon the stretching at high concentrations of P3TEOT or to twisted states, at low concentrations of

P3TEOT. An advantage of the P3TEOT/PVA-based mechanochromic system is that the optical response can be monitored at unprecedentedly low concentration of the chromophore down to 10 ppm. ■

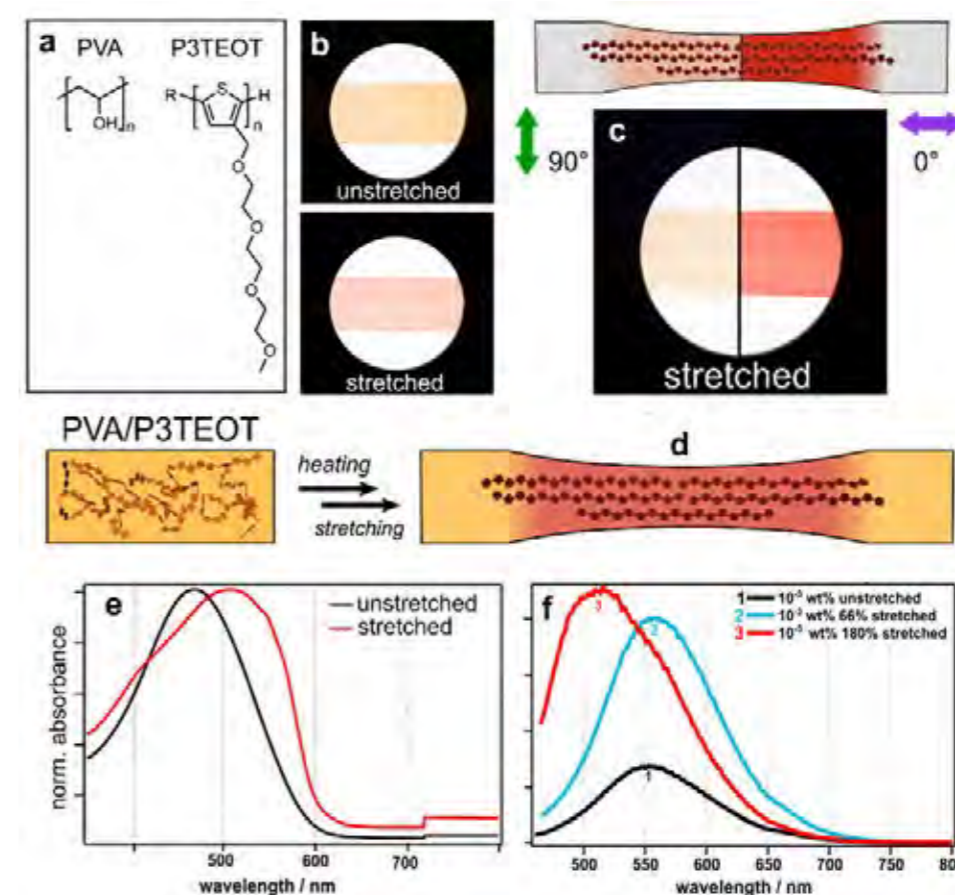


Fig. 1 (a) Chemical structure of P3TEOT and PVA. (b) Photos of the unstretched and stretched polymer blends. (c) Polarized photographs of the stretched film. (d) Schematics of the uniaxial stretching of a PVA/P3TEOT blend. (e) UV/Vis absorption spectra of a blend at 1.35 wt% P3TEOT concentration of the unstretched (black line) and stretched (red line) sample. Fluorescence spectra of PVA films with 10⁻³ wt% P3TEOT: unstretched (black lines, 1), stretched by 66 % (blue lines, 2), and stretched by 180 % (red lines, 3). Excitation wavelength is 450 nm.

[1] D. R. T. Roberts, S. J. Holder: *J. Mater. Chem.* 2011, 21, 8256.

[2] Y. Deng, S. Gao, J. Liu, U. Gohs, E. Mäder, G. Heinrich: *Mater. Horizons* 2017, 4, 389.

[3] J. Zessin, A. Kiriy, M. J. Schnepf, U. Oertel, T. Beryozkina, T. A. F. König, A. Fery, M. Mertig: *Adv. Opt. Mater.* 2019, 1901410; <https://doi.org/10.1002/ADOM.201901410>.

Material- und Prozessentwicklung für die effiziente Fertigung der großformatigen Bipolarbatterie EMBATT2.0

Doris Pospiech, Eike T. Röchow, Oliver Kobsch, Karina Kunz, Ines Kühnert, Beate Krause, Petra Pötschke

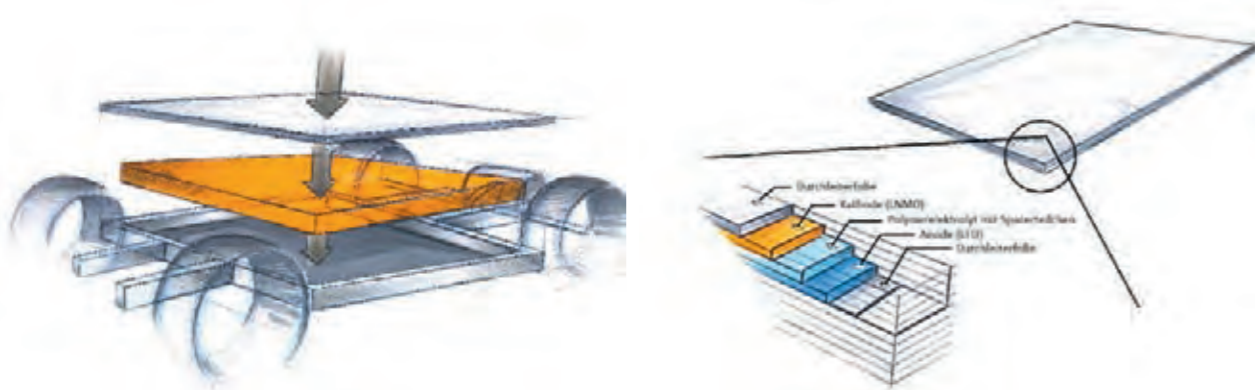


Abb. 1 links: Schema der großformatigen Bipolarbatterie in der Automobilanwendung; rechts: Anordnung der Materialien im Bipolarstack.

Aufgrund des steigenden Anteils an regenerativen Alternativen zur Energiegewinnung müssen moderne Energiespeichersysteme etabliert werden, um Versorgungsengpässe zu vermeiden. Dabei haben sich besonders Lithium-Ionen-Batterien (LIB) aufgrund ihrer Energieeffizienz als eine der vielversprechendsten Lösungsansätze hervorgetan. Auch für mobile Energiespeichersysteme bieten LIB eine hervorragende Anwendungsmöglichkeit. Allerdings sind die Energiedichten von LIB für den Automobilbereich noch nicht ausreichend und müssen weiter verbessert werden, um z. B. adäquate Reichweiten zu erzielen.

Diese Problematik wurde im Bmbf-Verbundprojekt EMBATT2.0 (www.embatt.de/projekte/embatt20.html) mit der Entwicklung einer konzeptionell neuen Batterie adressiert. Dabei wurden drei Materialentwicklungen angestrebt, um das neue Batteriedesign in Form einer Bipolar-Batterie umzusetzen und gleichzeitig mit verbesserten Speichereigenschaften zu vereinen. Das IPF als Projektpartner war federführend für die Entwicklung zweier Materialklassen verantwortlich. Zum einen wurde eine polymerbasierte Kunststofffolie entwickelt, die

elektrochemisch inert und elektrisch leitfähig ist und die bisher verwendete Aluminium-Durchleiterfolie ersetzen soll. Zum anderen sollte aus Sicherheitsgründen der übliche luft- und wasserempfindliche Flüssigelektrolyt durch einen Festkörper-Polymerelektrolyten abgelöst werden, der gleichzeitig die Funktion des Elektrolyten und des Separators übernimmt. Die Position dieser Schichten in der Bipolar-Batterie zeigt schematisch Abbildung 1.

Für die polymerbasierte Durchleiterfolie stand als Ziel, eine im Technikumsmaßstab kontinuierlich herstellbare Folie mit einer Dicke unter 100 µm und einer elektrischen Leitfähigkeit durch die Folie von ca. 0,1 S/cm zu entwickeln. Diese Werte wurden durch Variation der PVDF-Matrix, den Einsatz gemischter Füllstoffsysteme bestehend aus Leitruß und verzweigten Kohlenstoff-Nanoröhren, und durch Variation der Schmelz- sowie Folienextrusionsbedingungen erreicht (Abb. 2) [1]. Die Folie konnte in nachfolgenden Verarbeitungsschritten von Rolle zu Rolle mit Kohlenstoff-Primer sowie mit LTO (Lithium-Titanat-Oxid)-Anode und LNMO (LiNi_{10,5}Mn_{1,5}O₄)-Kathode beschichtet werden.

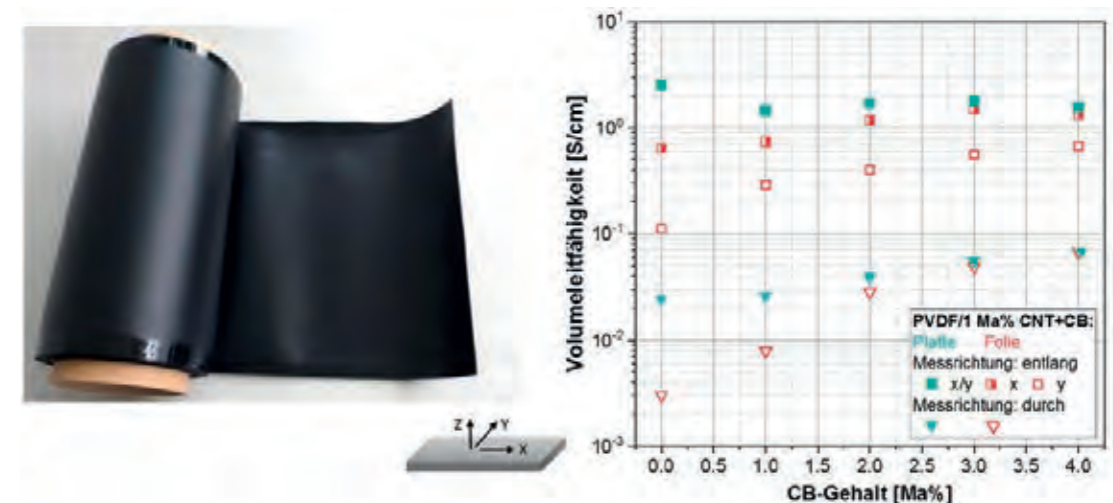


Abb. 2 links: Extrudierte Folie (Dicke 75 µm); rechts: Vergleich der elektrischen Volumenleitfähigkeit von extrudierten Folien und gepressten Platten für PVDF/1 Ma% MWCNT mit verschiedenen Anteilen an Carbon Black (CB).

Für die Entwicklung des Polymerelektrolyten sollten vernetzte Imidazolium-basierte Poly(ionische Flüssigkeiten) (PIL) hergestellt und deren ionische Leitfähigkeit gegenüber dem Stand der Technik (z. B. [2]) verbessert werden (Abb. 3). Dabei wurde eine Vielzahl an polymerisierbaren IL synthetisiert und mit UV-Bestrahlung polymerisiert. Anhand der systematischen Variation der chemischen Struktur wurden

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen bezogen auf das thermische und elektrochemische Verhalten sowie die ionische Leitfähigkeit der Polymermaterialien ermittelt. Durch die Herstellung von Kompositelektroden mittels *in situ* Photopolymerisation, in denen der Polymerelektrolyt zusätzlich die Funktion des Binders übernimmt, wurde die Systemintegration in Kooperation mit dem Fraunhofer IKTS überprüft. ■

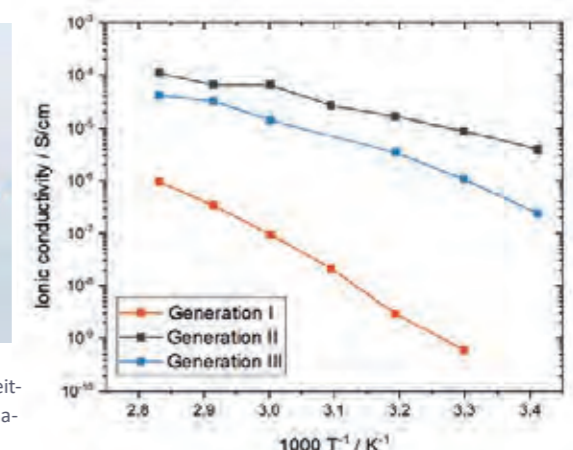
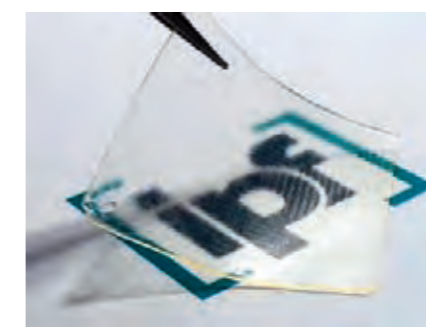


Abb. 3 links: Freitragende Polymerelektrolytfolie; rechts: ionische Leitfähigkeiten von vernetzten Polymerelektrolyten mit systematisch variiertem chemischer Struktur.

Projektmittelgeber

Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMBWF, FKZ O3XP0068E)

Kooperationspartner

- Dr. M. Wolter, Dr. K. Nikolowski, M. Coeler und Dr. M. Fritsche, Fraunhofer IKTS, Dresden
- Dr. T. Jähner, Glatt Ingenieurtechnik GmbH, Weimar

- Dr.-Ing. G. Hagen, KMS Technology Center GmbH, Dresden
- Dr. M. Roscher, ThyssenKrupp System Engineering GmbH, Hohenstein-Ernstthal
- M. Clauß, IAV GmbH, Chemnitz-Stollberg
- Dr. Gäbler, Synthon Chemicals GmbH & Co. KG, Bitterfeld Wolfen
- F. Burghart und M. Berger, ULT AG, Löbau
- F. Gerlinger, Isocoll Chemie GmbH, Nördlingen

[1] K. Kunz, B. Krause, B. Kretschmar, L. Juhasz, O. Kobsch, W. Jenschke, M. Ullrich, P. Pötschke: *Polymers* 11 (4) (2019) 591, doi:10.3390/polym11040591.
 [2] V. Delhorbe, D. Bresser, H. Mendil-Jakani, P. Rannou, L. Bernard, T. Gutel, S. Lyonard, L. Picard: *Macromolecules* 50 (2017) 4309.
 [3] E. T. Röchow, M. Coeler, D. Pospiech, B. Voit, K. Nikolowski, M. Wolter: *In situ* preparation of crosslinked polymer electrolytes for lithium ion batteries: synthesis of monomer systems, ion conductivity and electrochemical properties, *Manuskript für Polymers in Vorbereitung*.

An efficient and scalable binder system for high-performance silicon nanoparticle-based lithium ion batteries

Anna Urbanski, Petra Uhlmann

Silicon is one of the most promising anode materials for high energy density lithium ion batteries (LIBs) due to its high theoretical capacity and natural abundance. Unfortunately, significant challenges arise due to the large volume change of silicon upon lithiation/delithiation which inhibit its broad commercialization. An advanced binder can, in principle, reversibly buffer the volume change, and maintain strong adhesion toward the various electrode components as well as the current collector. We studied a novel binder system for nanostructured hybrid anodes, containing silicon nanoparticles as most promising for the development of high energy density lithium ion batteries (LIBs). By combination and

systematic investigation of poly(vinyl butyral) (PVB), which was tested for the first time for nanostructured anodes, and poly(acrylic acid) (PAA), we reached specific capacities as high as 2170 mAh/g after the first hundred cycles for PAA/PVB-based electrodes with a Si loading of ~ 1 mg/cm² tested between 0.01 and 1.2 V vs. Li/Li⁺. We also demonstrated a good binder-particle interaction and strong adhesion to Cu-foil [1]. The electrochemical performance of the prepared electrodes was correlated with swelling characteristics, Young's modulus and adhesion strength determined by AFM, chemical analysis by ATR-FTIR, morphology as well as post-mortem analysis by SEM.

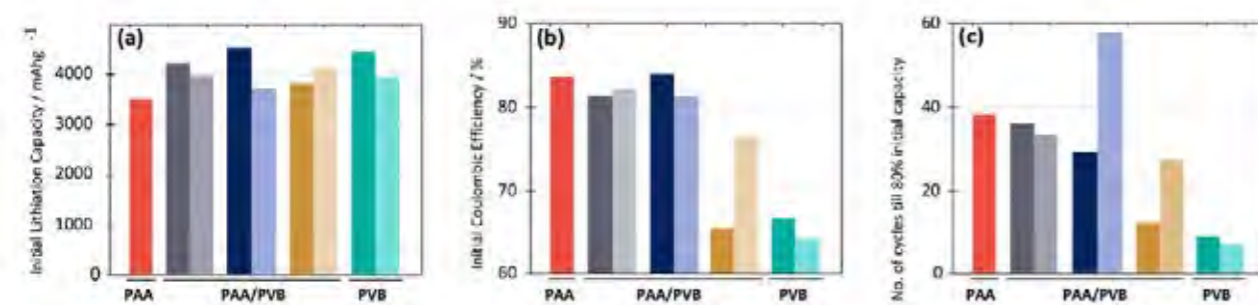


Fig. 1 Comparison of (a) the initial specific lithiation capacities, (b) of the initial Coulombic efficiency and (c) of number of cycles until 80 % of the 4th lithiation capacity: the performance of the electrode depends on molar ratios COOH-/OH-groups of PAA/PVB; PAA increases the Coulombic efficiency; PVB increases the capacity.

It could be proven that both the adhesion to electrode components and current collector as well as the mechanical properties of the binder played a decisive role, and the blend of PAA450/PVB210 showed the best performance in galvanostytic cycling of Swagelok cells (Fig. 1). Generally the best electrochemical performance was found for binders with an equal molar ratio of the polymers and of COOH and OH groups. It was also found that PVB improves the homogeneity of the electrodes, decreases crack formation and improves the adhesion to the current collector. However, because PVB also increases swelling in the electrolyte, and probably SEI formation, and reduces the mechanical stability of the nanocomposite which forms the electrode, a careful balancing of material properties and electrochemical performance is required.

In a further work, the influence of LiNO₃ in ether-based electrolytes on the electrochemical performance of microparticulate silicon anodes was studied. Electrochemical impedance spectroscopy, SEM and XPS were used to examine the solid electrolyte interface (SEI) on silicon microparticles.[2] ■

Sponsor

German Ministry of Education and Research (BMBF), Excellent Battery-WING center "Batteries-Mobility in Saxony" (grant No. 03X4637D)

Cooperations

- Dr. Lars Giebeler, Dr. Ahmad Omar und Dr. J. Guo, Leibniz-IFW Dresden
- Project partner: Leibniz IFW, Fraunhofer IWS, Fraunhofer IKTS, Fraunhofer IVI, namlab, TU Dresden

[1] A. Urbanski, A. Omar, J. Guo, A. Janke, U. Reuter, M. Malanin, F. Schmidt, D. Jehnichen, M. Holzschuh, F. Simon, K.-J. Eichhorn, L. Giebeler, P. Uhlmann, An efficient two-polymer binder for high-performance silicon nanoparticle-based lithium-ion batteries: A systematic case study with commercial polyacrylic acid and polyvinyl butyral polymers, *J. Electrochem. Soc.* 2019, 166 A5275–A5286.

[2] J. Guo, A. Omar, A. Urbanski, S. Oswald, P. Uhlmann, L. Giebeler, Electrochemical behavior of microparticulate silicon anodes in ether-based electrolytes: Why does LiNO₃ affect negatively?, *ACS Appl. Energ. Mat.* 2019, 2, 4411–4420.

Plasmonische Oberflächenstrukturen und Cluster: Von der Assemblierung zur Sensor-Integration

Andreas Fery und Tobias A. F. König

Licht kann die Leitungsbandelektronen von metallischen Nanopartikel zu kollektiven Schwingungen, sogenannten Oberflächenplasmonen anregen. Dieser Effekt ist besonders für die plasmonische Resonanzfrequenz effizient und kann auf verschiedene Weise für Sensorikanwendungen genutzt werden: Einerseits wird die Resonanzfrequenz selbst bei der Anlagerung von Molekülen auf der Oberfläche verändert, wodurch die Bildung von Adsorbatschichten detektiert werden kann, andererseits wird das Licht in der Nähe der Partikel lokal verstärkt, wodurch die Partikel als Antennen für spektroskopische Detektion genutzt werden können. Letzterer Prozess ist für die Raman Spektroskopie hocheffizient.

Unser Ziel ist diese Effekte durch Anordnungen von plasmonischen Partikeln zu erzielen, wodurch aufwändige lithographische Verfahren vermieden werden können und zudem die Integration der sensorischen Einheiten in Polymermaterialien oder auf Oberflächen erleichtert wird. Basis für diesen Ansatz ist die Synthese von Partikeln mit maßgeschneiderter Form [1]. Darauf aufbauend entwickeln wir Strategien für die Selbstanordnung [2] der Partikel, wobei besonders die Anordnung in Gittern auf Oberflächen, sog. Plasmonische Meta-Oberflächen [3] für die Detektion von Adsorbatschichten und die Anordnung

in Partikel-Cluster für die Raman Sensorik Vorteile bieten. Kürzlich zeigten wir einen neuartigen Ansatz um den Gittereffekt mechanisch durchzustimmen [4], wodurch die Detektion dynamisch auf verschiedene Analyten optimiert werden kann [5]. Für Partikelcluster konnten wir zeigen, dass besonders Kern- / Satelliten-Überstrukturen eine hohe Aktivität bei der oberflächenverstärkten Raman-Streuung (SERS) zeigen, wobei Verstärkungsfaktoren von bis zu 100000 erreicht werden konnten.[6] Auf der Basis der diffusen Reflexionsspektroskopie, der Kleinwinkel-Röntgenstreuung (SAXS) und der elektromagnetischen Simulationen wird der Ursprung der gekoppelten Moden aufgezeigt und dient somit als Grundlage für alternative Konstruktionen funktionaler Überstrukturen. Ein wichtiger Schritt zur Integration solcher Partikelstrukturen in polymere Werkstoffe gelang im Rahmen eines DFG Projektes in Zusammenarbeit mit der Gruppe Nagel (IPW). Hier konnten wir erstmals zeigen, dass es möglich ist, Partikelanordnungen so auf Spritzguss-Werkzeuge aufzubringen, dass die Anordnungen beim Spritzgussprozess nicht zerstört, sondern in das Polymerbauteil eingebettet werden. Damit können in Zukunft die Partikelanordnungen direkt in Flusszellen oder Sensorbauteile integriert werden. ■

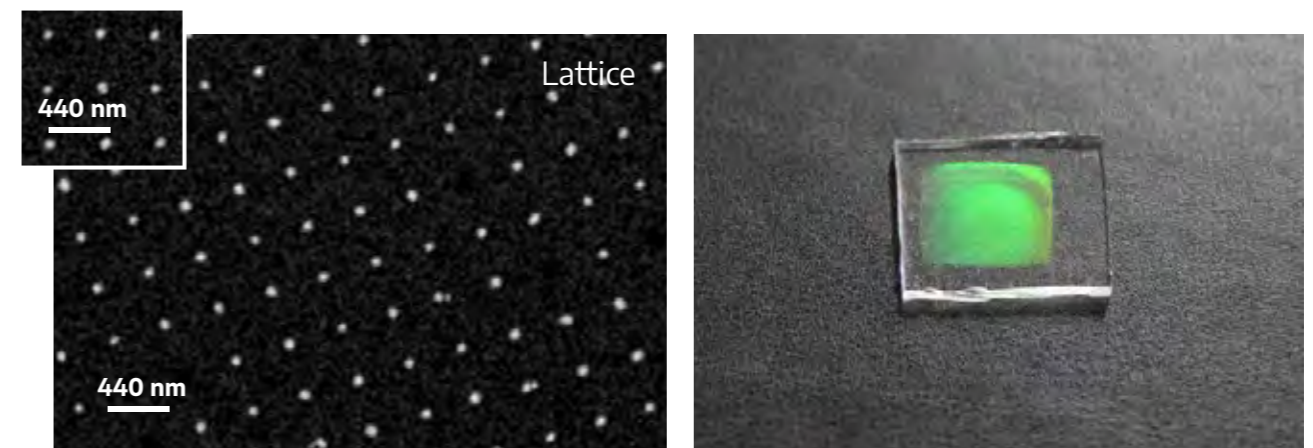


Abb. 1 Mikroskopie- und Photographieaufnahme einer plasmonischen Oberflächenstruktur, die mittels Selbstanordnung auf einem funktionellen Polymermaterial hergestellt wurde.

Projektmittelgeber

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) Fe600/28-1
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) Na831/4-1
- VolkswagenStiftung / Freigeist-Fellowship Tobias A. F. König

Kooperationspartner

- Dr. Jürgen Nagel, Institut Polymerwerkstoffe, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.

- [1] A. M. Steiner, M. Mayer, D. Schletz, D. Wolf, P. Formanek, R. Hübner, M. Dulle, S. Förster, T. A. F. König, A. Fery: Chem. Mater. 2019, 31, 8, 2822–2827.
 [2] Ch. Ng, T. A. F. König, A. Fery: Langmuir 2019, 35, 26, 8629–8645.
 [3] M. Mayer, M. J. Schnepf, T. A. F. König, A. Fery: Advanced Optical Materials 2019, 7, 1, 1800564.
 [4] V. Gupta, P. T. Probst, F. R. Goßler, A. M. Steiner, J. Schubert, Y. Brasse, T. A. F. König, A. Fery: ACS Appl. Mater. Interfaces 2019, 11, 31, 28189–28196.
 [5] Y. Brasse, V. Gupta, H. C. T. Schollbach, M. Karg, T. A. F. König, A. Fery: Advanced Materials Interfaces 2019, <https://doi.org/10.1002/admi.201901678>.
 [6] C. Kuttner, R. P. M. Höller, M. Quintanilla, M. J. Schnepf, M. Dulle, A. Fery, L. M. Liz-Marzán: Nanoscale, 2019, 11, 17655–17663.

NMR investigations on the intercalation and selfdiffusion of fluorinated anions in a high-voltage Zn-graphite battery

Benjamin Kohn, Ulrich Scheler

High-performance rechargeable batteries are significant for meeting actual growing energy demands and storage requirements in particular for the application of renewable energy sources. Zinc is commonly seen as a promising anode material, however there have limitations arising from dendrite formation and the low electrochemical stability of aqueous electrolytes. These would eventually block the electrode and thus limit the lifetime of the battery. In the present study an organic hybrid electrolyte consisting of zinc bis(trifluoromethanesulfonyl) imide ($\text{Zn}(\text{TFSI})_2$) and LiPF_6 has been used. The electrochemical properties with a cycling window of 4 V and the cycling performance with retaining more than 97 % capacity after 2000 cycles of the new battery system are very promising. The addition of LiPF_6 to the electrolyte significantly suppresses the anodic dissolution and the electrolyte decomposition of Zn electrolyte.

NMR spectroscopy, which is sensitive to the local environment of the nucleus under study, has been applied to investigate the intercalation of the anions

in the graphite cathode. Because the chemical shift of ^{19}F strongly depends on the local environment both anions in the hybrid electrolyte are identified in the ^{19}F NMR spectra in the electrolyte by their chemical shift. For a comparison solid-state NMR spectra have been recorded from a graphite cathode charged to 2.7 V. The spectral lines of the electrolyte intercalated in the graphite electrode are significantly broader than the lines in the electrolyte. Because even under fast magicangle sample spinning (MAS) no further line narrowing can be achieved, it becomes clear that the line width originates from inhomogeneous broadening, i.e. variations in the local environment and much reduced tumbling motion of the anions in the graphite. All signals in the spectrum exhibit a strong downfield shift, which is attributed to the interaction with the graphite.

Pulsed-field gradient (PFG) NMR is commonly applied to measure translational motion in liquids. Here it has been applied to investigate the self-diffusion kinetics

in the hybrid electrolyte. Solely detecting the ^{19}F -NMR-signal easily selects the anions from the complex organic electrolyte. The signals from the two different anions are differentiated by their chemical shift. In the hybrid electrolyte the self-diffusion coefficient for both anions is significantly lower than for the pure systems. This maybe attributed to the larger viscosity of the mixture. ^{19}F NMR has been applied here for gaining further insight into both the diffusion behavior of the electrolyte and the intercalation of anions in the graphite cathode of the working battery. ■

Cooperation

Dr. G. Wang, F. Wang, P. Zhang, Dr. J. Zhang, Prof. X. Feng
Center for Advancing Electronics Dresden (cfaed) &
Department of Chemistry and Food Chemistry,
Technische Universität Dresden

[1] G. Wang, B. Kohn, U. Scheler, F. Wang, St. Oswald, M. Löffler, D. Tan, P. Zhang, J. Zhang, X. Feng: Adv. Mater. 2019, 1905681.

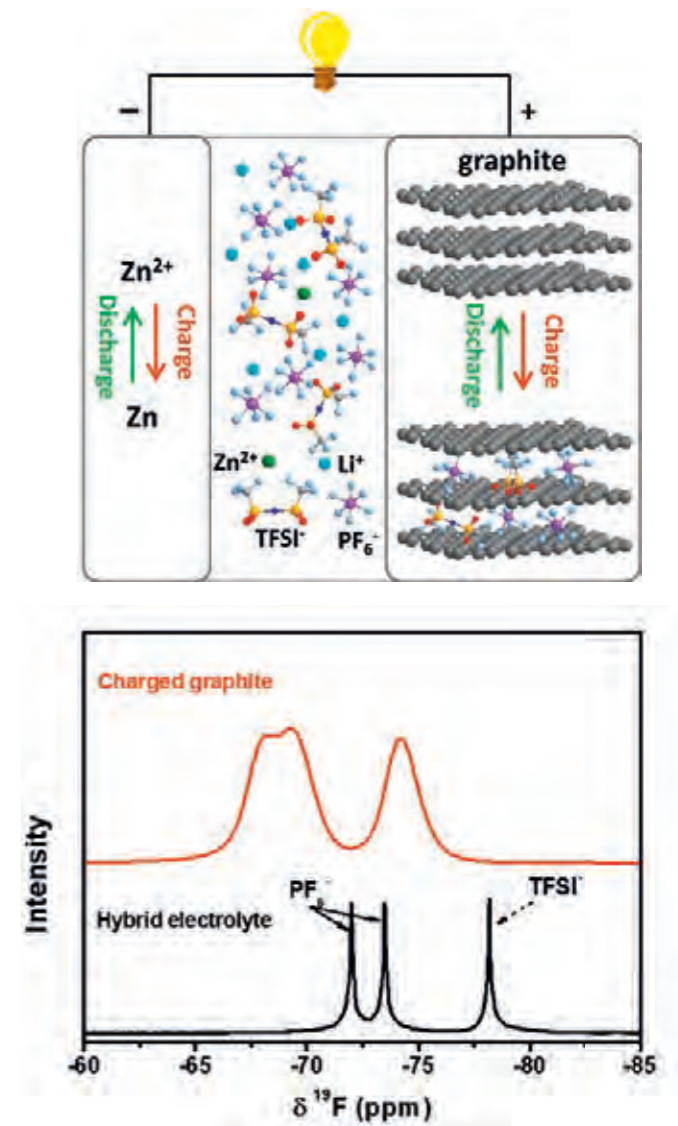


Fig. 1 Top: Schematic of the Zn-graphite battery
Bottom: ^{19}F NMR spectra of the hybrid electrolyte and the charged graphite.

Understanding co-nonsolvency and volume phase transitions in polymer brushes

Jens-Uwe Sommer, Huaisong Yong,
André Galuschko, Petra Uhlmann, Andreas Fery

Switchable surfaces can only be efficient if small variations of environmental parameters can induce a large response such as volume phase transitions in polymer brushes. For water soluble polymers there are two routes to achieve this goal: The transition at the lower critical solution temperature and the co-nonsolvency effect. In both cases, a subtle interplay of interactions between polymer and solution gives rise to a so-called type-II phase transition [1] which causes a jump-like collapse of the polymer layer. Theoretical understanding of the co-nonsolvency transition is related to the theory of polymers in competitive solutions which is in the focus of the research in the Institute Theory of Polymers during recent years. Co-nonsolvency occurs if one component of a binary solvent mixture displays a strong tendency to adsorb at the polymer and can form temporary crosslinks, see Fig. 1 [2]. Using mean-field concepts we have predicted the co-nonsolvency response of polymer brushes with respect to the relevant parameters such as solvent selectivity and grafting density. It has been shown that the bridging between monomers induced by the cosolvent can be mapped onto a concentration-

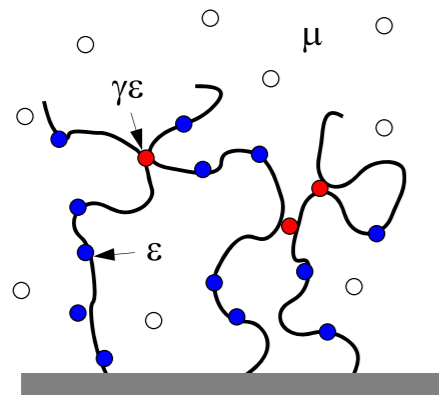


Fig. 1 Sketch of the adsorption-attraction model for co-nonsolvency. White circles: free cosolvent, blue circles: cosolvent adsorbed on the chains, red circles: double adsorbed cosolvent bridges. The latter are responsible to the collapse of the brush layer.

dependent Flory interaction parameter for the polymer. For the simplest scenario it can be written as

$$\chi(c) = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{4} \frac{(\mu + \epsilon)^2}{1 + \epsilon c} \right]$$

Here, μ is the chemical potential of the cosolvent, ϵ is the cosolvent selectivity, and c is the monomer concentration in the brush. An increase of the concentration increases the interaction strength which in turn can cause a jump-like transition at sufficiently high selectivity. The analytical solution was tested in molecular dynamics simulations. In Fig. 2 (lhs) we display the normalized brush height (upper plot), and the amount of adsorbed cosolvent on the polymer (lower plot) [3]. We observe a collapse-reentry behavior as a function of the cosolvent volume fraction (chemical potential) which is predicted by the theory. An excellent fit of the theoretical model including the prediction of the jump-like transition is obtained. This shows that the mean-field model of the brush is sufficient to capture the essential physics of the co-nonsolvency effect. The theoretically predicted concentration-dependent Flory parameter gives rise to a coexistence of two layers within the brush at the collapse point. This effect, which goes beyond the mean-field model, could also be confirmed in the simulations, see rhs of Fig. 2. While the simulation model explicitly implement the precondition of the theory, namely the preferential adsorption of cosolvent on the polymer, the microscopic origin of the co-nonsolvency effect is still debated for real systems. Therefore, we have performed a series of experiments using poly(N-isopropylacrylamide) brushes of different grafting densities in a series of alcohol-water binary mixtures with increasing hydrophobic parts ranging from methanol to 1-butanol. Ellipsometry has been applied to inspect the brush layer thickness [4]. Our model yields very good predictions for

PNiPAAm brushes for methanol, ethanol and 1-propanol, see lhs of Fig. 3 which fit parameters consistent with the molecular properties of the alcohols. Particularly, a parameter-free fit to various grafting densities has been obtained, see rhs of Fig. 3. Non-perfect miscibility of the solvents can be incorporated in an extended theory which is currently developed. ■

Sponsor
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) SO 277/17-1

Cooperation
Fabien Montel, Lyon, France

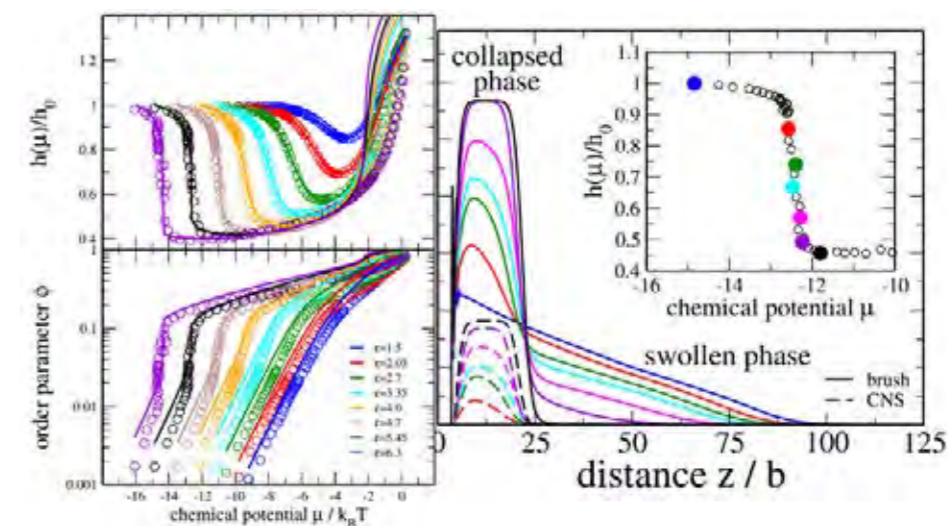


Fig. 2 Simulation results for a polymer at moderate grafting density (four times overlap threshold). Upper left plot: brush height normalized by the height in pure solvent. Symbols are the simulation data, solid lines are the numerical solution of the analytical model. Data are shown for various values of the cosolvent selectivity, ϵ . Lower left plot: results for the relative amount of the adsorbed cosolvent, ϕ . Right plot: polymer density profile for a specific value of the cosolvent selectivity at various stages of the collapse transition indicated in the inset. Two coexisting layers are found during the collapse transition as a consequence of the predicted concentration-dependent Flory parameter [3].

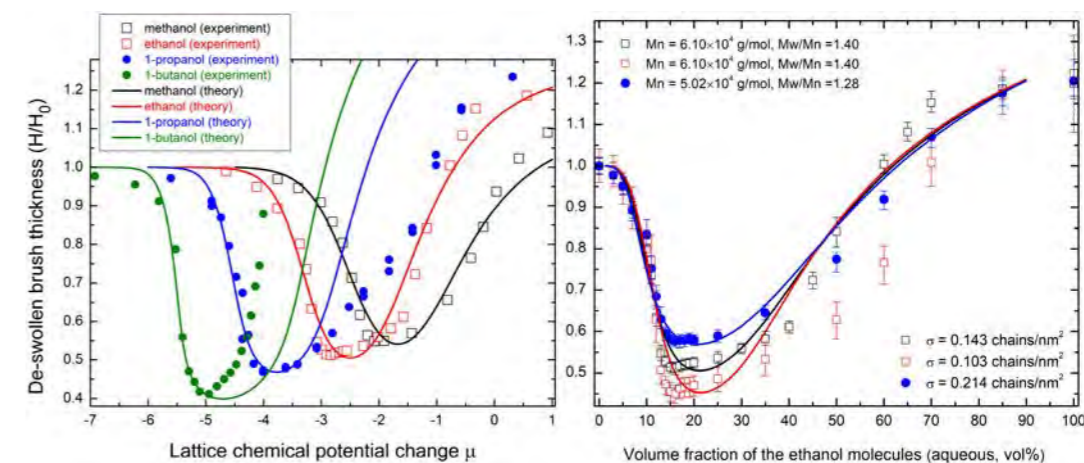


Fig. 3 *left*: Experimental results for the relative height of PNiPAAm brushes in various water-alcohol mixtures as a function of the chemical potential of the cosolvent. *right*: Results for water-ethanol mixtures at various grafting density of the brushes as a function of the volume fraction of ethanol. Symbols: ellipsometry measurements, lines: theory.

- [1] P.-G. de Gennes, C. R. Acad. Sci. II 313, 1117 (1991).
- [2] J.-U. Sommer: *Macromolecules* 50, 2219 (2017).
- [3] A. Galuschko and J.-U. Sommer: *Macromolecules* 52, 4120 (2019).
- [4] H. Yong, E. Bittrich, P. Uhlmann, A. Fery and J.-U. Sommer: *Macromolecules* 52, 6285 (2019).

Exploring the interplay between the field- and deformation-induced particle rearrangements in magnetic elastomers

Dirk Romeis, Vladimir Toshchevikov, Marina Saphiannikova

Magnetic elastomer, also denoted magneto-sensitive (MSE) or magneto-active elastomer, describes a composite material of a mechanically soft polymer matrix with immersed magnetizable particles. Upon applying an external magnetic field two major impacts are observed. Firstly, a magnetorheological effect appears, which is characterizing a substantial change in the viscoelastic properties of the sample due to the activated magnetic forces between the particles. In this context we studied the dynamic-mechanical properties of MSE and investigated the consequences for the dynamic shear modulus of an anisotropic micro-structure compared to an isotropic one [1]. Secondly, the mutual magnetic interactions cause the particles to shift their positions within the elastic network and as a consequence the sample as a whole can become macroscopically deformed. This is denoted as the magnetostrictive effect. The theoretical description, as well as the experimental characterization, of MSEs represents a very challenging task. The underlying reasons are versatile and trace back to the long-range nature of the magnetic interactions, a subsequent pronounced sensitivity to preparation conditions and the complex interplay of microscopic and macroscopic mechanisms, such as changes in the particle distribution (micro-structure effect) versus macroscopic deformations of the sample (shape effect).[2]

In the course of providing a better understanding and prediction of the behavior of MSEs, we could identify two principal mechanisms of particle restructuring, the so called deformation- and the field-induced particle rearrangements [3]. When a sample is macroscopically deformed, the particles must change their mutual positions also on local scale accordingly. Depending on the particle density and consequent clustering effects these deformation-induced rearrangements may be described in terms of partially hindered affine particle movements, see Figure 1.

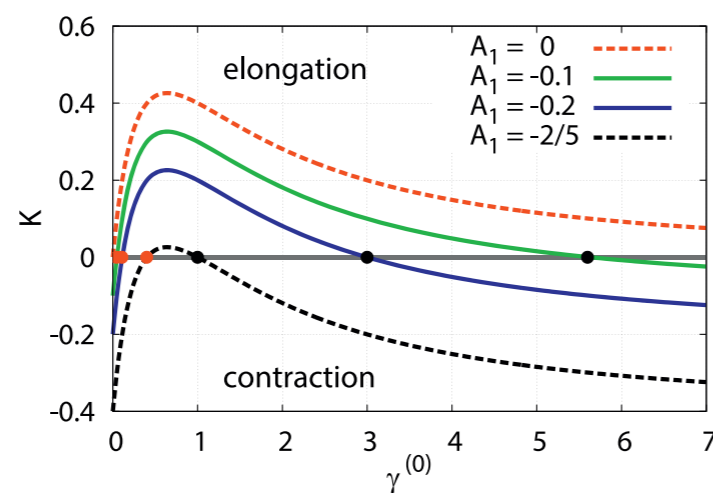


Fig. 1 Deformation behavior of an MSE sample with initial aspect ratio γ_0 , assuming (hindered) affine particle displacements. Increasing A_1 describe enhancement of local particle hindrance. Parameter K is proportional to the strength of the deformation.

In addition, to decrease the overall magnetic energy in the sample, the particles arrange into chain-like microstructures aligned along the externally applied magnetic field. Treating the two mechanisms of rearrangements as independent in first approximation, we set up a simplified theoretical approach allowing us to draw some main consequences for the deformation behavior of MSEs [3]. Especially, due to the structure formation via field-induced rearrangements the interactions in the sample are increased on the whole causing an enhancement of the macroscopic deformation process. Interestingly, the sign of the deformation behavior itself stays the same. This consequence may explain

the experimental findings [4], that for ultra-soft elastic matrices, where additional local and non-affine repositioning of particles becomes relevant, the magnetostriction effect is strongly enhanced. ■

Sponsor

Schwerpunktprogramm 1713
der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)

Cooperations

- Prof. M. Kästner, Technische Universität Dresden
- Prof. E. Y. Kramarenko, Lomonosov Moscow State University, Russia

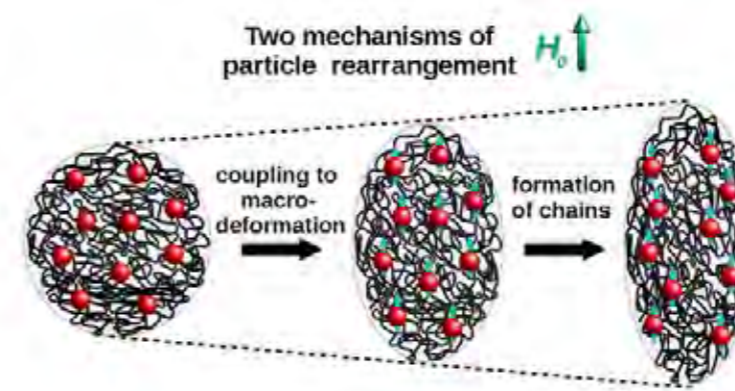
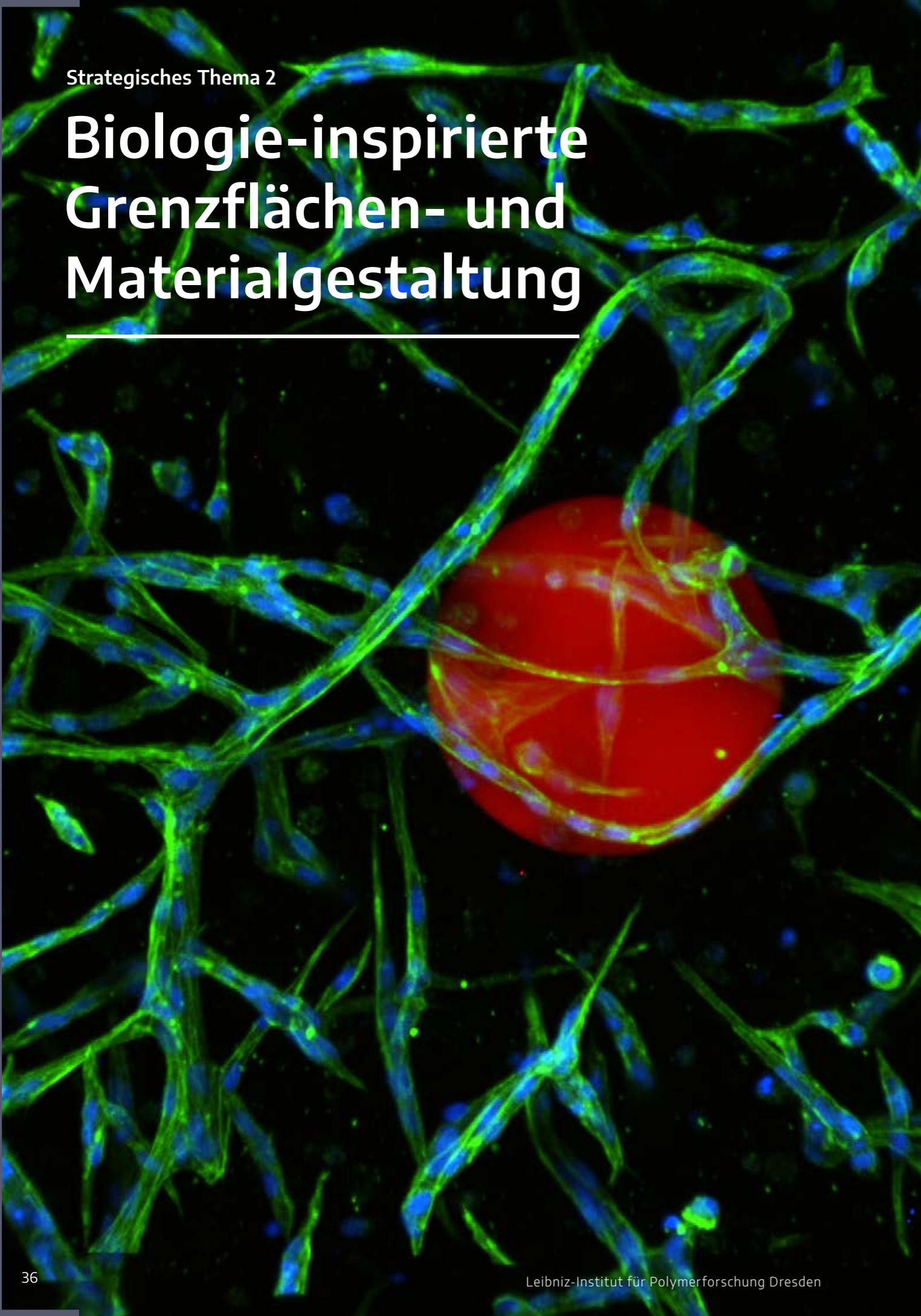


Fig. 2 Sketch of the two particle rearrangement processes when applying a magnetic field. The deformation-induced mechanism directly couples to changes of the sample shape. The field-induced restructuring effects increase the magnetic energy upon forming chain-like structures leading to an enhanced macroscopic deformation of the sample.

- [1] D. Ivaneyko, V. Toshchevikov, M. Saphiannikova: *Polymer* 2018, 147, 95–107.
- [2] D. Romeis, V. Toshchevikov, M. Saphiannikova: *Soft Matter* 2016, 12, 9364–9376.
- [3] D. Romeis, V. Toshchevikov, M. Saphiannikova: *Soft Matter* 2019, 15, 3552–3564.
- [4] P. A. Sánchez, E. S. Minina, S. S. Kantorovich, E. Y. Kramarenko: *Soft Matter* 2019, 15, 175–189.

Biologie-inspirierte Grenzflächen- und Materialgestaltung



Prof. Dr. Carsten Werner Prof. Dr. Brigitte Voit Prof. Dr. Andreas Fery

Biomaterialforschung wird immer mehr zu einem profilbestimmenden Arbeitsgebiet des IPF, das nahezu alle Forschungseinheiten des Instituts einbezieht. Ausgehend von der Erkundung lebender Materie aus materialwissenschaftlicher Perspektive werden dabei neue Konzepte für Biologie-inspirierte Polymermaterialien entwickelt, validiert und einer technologischen Translation zugeführt.

Besondere Fortschritte konnten 2019 bei der Gestaltung mehrphasiger Zell-instruktiver Hydrogelmateriale erreicht werden. Ein gemeinsam von PB4 und PB2 erkundetes Konzept zur Herstellung von *Mikro-gel-in-Gel-Materialien* ermöglichte es, die Bedingungen von gewebetypischen Ko-Kulturen lokal auf die Anforderungen der kombinierten Zellen abzustimmen. Das Potential der neuen Methodik wurde anhand eines *in vitro* Modells der Vaskularisierung von Tumorgewebe belegt (doi:10.1039/c9bm01009b). Für den komplementären Ansatz des *Bioprinting* konnten mit einer innovativen Technik zur Fusionierung von Nanotropfen neue Bio-Tinten erschlossen und für die Erzeugung von Konstrukten zur Knorpelregeneration genutzt werden (doi:10.1088/1758-5090/ab2aa1). Das Potential mehrphasiger, Zell-instruktiver Hydrogele für *in vitro* Modelle und Therapieansätze wurde auch in einer Übersichtsarbeit diskutiert (doi: 10.1002/adfm.201908857).

In Kooperation von PB4 und PB5 wurde ein interpenetrierendes Polymer-Netzwerk entwickelt, das Thermoschaltbarkeit und Protein-Bindungseigenschaften verbindet. Das Material weist nicht-lineare Änderungen der thermisch modulierbaren mechanischen Eigenschaften auf, was z. B. für die Stimulation der Stammzelldifferenzierung von Interesse ist (doi:10.1021/acsami.9b11719).

Als Beispiele der für ST2 charakteristisch vielfältigen Kooperationsprojekte mit externen Partnern sind die Entwicklung von *in vivo* Kraftsensoren auf Basis von Polymer-Hydrogelen (mit Jochen Guck und Daniel Balzani, doi:10.1038/s41598-019-53425-6),

die Herstellung von elektrisch leitfähigen, dehnbaren und Zell-adhäsiven Kompositmaterialien für bioelektronische Anwendungen (mit Ivan Minev, doi:10.1002/sml.201901406), Untersuchungen zur Wirkung von Nogo-A bei der Regeneration nach dem Schlaganfall (mit Martin Schwab, doi:10.1073/pnas.1905309116) sowie eine Studie zur mechanischen Regulation des Wachstums von Tumorsphäroiden (mit Anna Taubenberger, doi:10.1016/j.actbio.2019.06.041) zu nennen. In einer Serie von Übersichtsarbeiten zur Hämokompatibilität von Biomaterialien konnte gemeinsam mit Kollegen der University of Toronto und der Harvard University der aktuelle Wissensstand auf diesem Forschungsgebiet zusammengefasst werden (doi:10.1016/j.actbio.2019.06.041).

Ein im Rahmen des *European Society for Biomaterials* (9.–13.9.2019, Dresden) organisiertes Symposium *Adaptive Functional Biomaterials* diente der Diskussion biologisch regulierbarer Materialsysteme, einem Schwerpunkt der Biomaterialforschung des IPF, mit international führenden Experten.

Das Team der Ausgründungsinitiative *ResCure* wurde für Arbeiten zu Glykosaminoglykan-basierten Hydrogelen für die Heilung chronischer Wunden mit dem Innovationspreis des IPF-Fördervereins sowie mit dem *MaterialVital* Preis des BMBF ausgezeichnet.

Die vom IPF aktiv unterstützte Bewerbung der TU Dresden um ein *Else Kröner-Fresenius-Zentrum für Digitale Gesundheit* (Sprecher Jochen Hampe) war erfolgreich und wird dazu beitragen, die translationale biomedizinische Forschung des Institutes in Kooperation mit der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus weiter zu intensivieren. ■

Molecular switch of cell mimics by light-driven proton transfer

Silvia Moreno, Johanna Engelke, Susanne Boye, Petr Formanek, Alben Lederer, Brigitte Voit and Dietmar Appelhans

The temporal activation of a biological process by visible light and the return to an inactive state in absence of light is an essential characteristic of biological reactions in photoreceptor cells. The scientific community is currently intensively working on the design of smart light responsive materials. Previously, in our research group enzymatic nanoreactors were designed, whose enzyme activity is modulated by the membrane permeability using pH-sensitive polymersomes.^{1,2} Herein, enzymatic nanoreactors that carry out a catalytic reaction by a temporal control of the membrane permeability through a reversibly switchable light-driven proton transfer using free merocyanine (MEH) as a photo-active proton donor are reported. MEH produces an acidic environment during visible light irradiation (ON state = swollen, active) leading to protonation of the nanoreactor membrane and making it permeable for substrates of enzymatic reactions. Besides, the membranes almost instantaneously return to their impermeable state when the light stimulus is withdrawn (OFF state = collapsed, inactive) (Fig 1A).³

After the relaxation time, the diameter of the polymersomes is very similar to the initial size; however, the membrane thickness is increased (densification), showing that MEH might be incorporated into the membrane or on the outer membrane surface of the polymersome. The stability and the enzymatic activity of enzyme-containing polymersomes were studied when applying repeating irradiation/relaxation processes in short intervals using glucose oxidase (GOx) and myoglobin (Myo) as model enzymes.² The final experiment was carried out comparing five different samples:

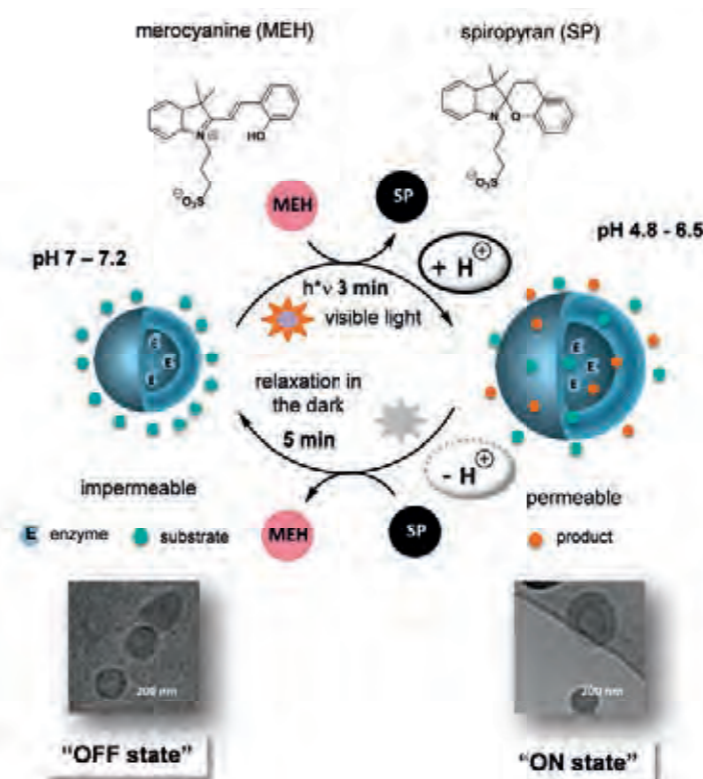
sample “non-irradiated” (reference); sample “pH manually changed”; and samples “1, 2 or 3 Cycle(s) of irradiation” (1 cycle = 3 min irradiation and 5 min relaxation in the darkness). Due to the cumulative effect the fluorescent intensity for enzyme-loaded polymersomes (Psome-GOx and Psome-Myo) was higher in case of the sample “3 Cycles” followed by “2 Cycles” and “1 Cycle” (Fig 1B).³ Thus, it was proved that the nanoreactor treated by light-driven proton transfer can produce a fast opening of the polymersome membrane feeding to the enzyme with the corresponding reagents. In addition, “non-irradiated” sample outlines the desired non-permeability of collapsed polymersomes’ membrane over time with low constant enzyme activity, it is attributable to small percentage of enzyme anchored in the polymersome membrane validated by asymmetrical flow-field flow fractionation (AF4) coupled to static light scattering.⁴ The change in structural parameters using GOx was more pronounced than with Myo, a greater deformation was observed in comparison to the empty polymer-some, these differences can be directly attributed to the size of the enzyme used.

The combination of MEH and pH-switchable nanoreactors results in the fabrication of a very versatile and fast supramolecular system to switch two enzymatic reactions on and off on demand. Importantly, the nanoreactor membranes can undergo several times light-driven proton transfers without losing their functional effectiveness. This strategy provides straightforward solutions for the development of catalytic nanocompartments with high potential in areas such as medicine, biology systems, analytical chemistry, and catalysis. ■

Cooperations

- Priyanka Sharan and Susanta Banerjee, Materials Science Centre, Indian Institute of Technology Kharagpur (India)
- Rafal Klajn, Department of Organic Chemistry, Weizmann Institute of Science (Israel)

A. Light-triggered cyclic switching on/off enzymatic nanoreactors



B. Fluorescence study on resorufin produced by sequentially repeated bienzymatic reaction

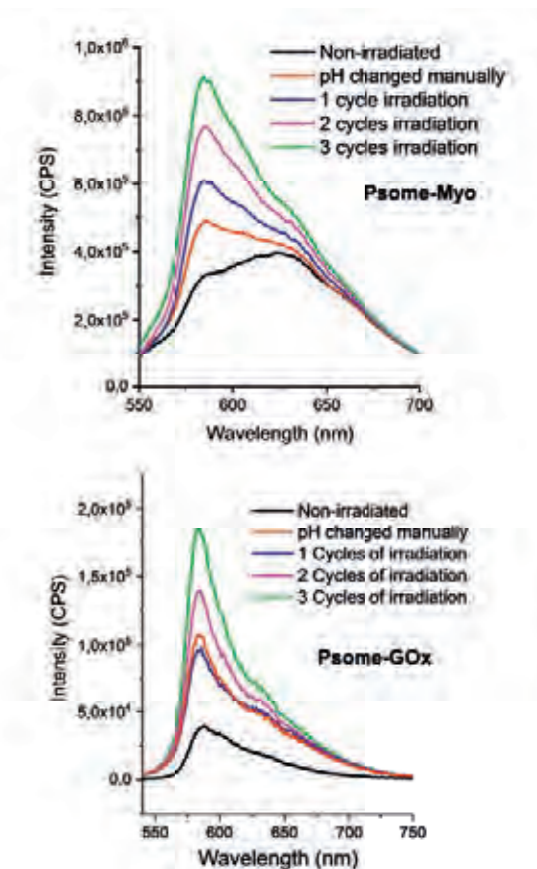


Fig. 1 (A) Protocol of final experiment sequences for light-triggered adaptive enzymatic nanoreactors. (B) Enzyme activity of enzyme-containing nanoreactors after 1–3 cycles of irradiation/relaxation of MEH compared to experiments with (i) non-irradiated and (ii) pH manually changed.³

[1] J. Gaitzsch, D. Appelhans, L. Wang, G. Battaglia, B. Voit: *Angewandte Chemie – International Edition* 51 (2012), 4448–4451.

[2] D. Gräfe, J. Gaitzsch, D. Appelhans, B. Voit: *Nanoscale* (2014), 6, 10752–10761.

[3] S. Moreno, P. Sharan, J. Engelke, H. Gumz, S. Boye, U. Oertel, P. Wang, S. Banerjee, R. Klajn, B. Voit, A. Lederer, D. Appelhans, *Manuscript submitted*.

[4] H. Gumz, S. Boye, B. Iysian, V. Krönert, P. Formanek, B. Voit, A. Lederer, and D. Appelhans: *Advanced Science* 6 (2019), 1801299.

Smart multifunctional coatings made by polymer brushes

Alexander S. Münch, Petra Uhlmann

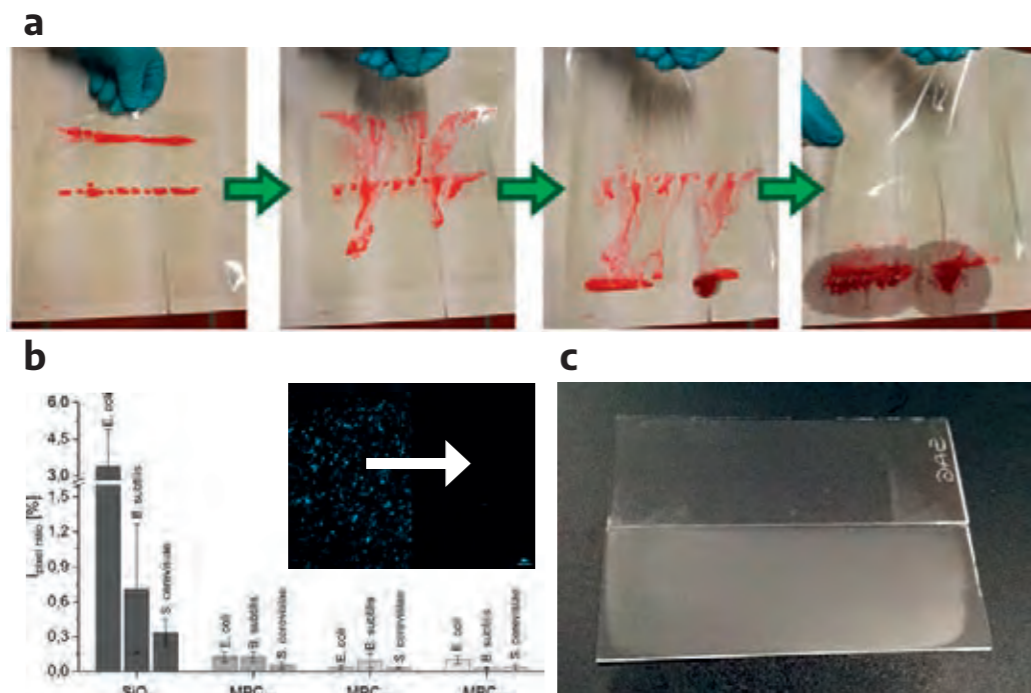


Fig. 1 Summary of different functionalities of MPC coated surfaces. a: Easy-to-clean; b: Anti-fouling; c: Anti-fog.

Products with a higher value and consumer acceptance can be created by implementation of multifunctional coatings. This type of surface modification combines different functionalities in the same layer. The surface modification by grafting and crosslinking of polymer chains is an effective methodology to tailor surface properties of the bulk substrate, such as wettability, adhesion and friction. However most of the presented smart polymer coatings exhibit only one of the abovementioned functionalities. Therefore, a further tailoring of the known functional polymers or the development of new materials or strategies, which are scalable, is required. In our last studies [1–3], we presented a new polymer coating combining the zwitterionic 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine unit (MPC) as functional group and the photoreactive 4-benzophenyl methacrylate (BPO)

used for an application relevant fast one-step deposition and crosslinking process by UV-irradiation. This coating combines easy-to-clean, anti-fouling as well as anti-fog properties (Figure 1) and can be applied at different substrates, like cellulose and pre-coated foils. For a better control of constitution, physical properties as well as for the understanding of the mentioned effects, a series of three new MPC-co-polymers with different contents of BPO (1%, 2%, 4%) were synthesized by atom transfer radical polymerization (ATRP). For our investigations, comprising studies of the influence of crosslinking, swelling behavior and wettability on the performance of the films, *in situ* spectroscopic ellipsometry, contact angle measurements and FTIR-spectroscopy were used. The results demonstrate the relevance of a balanced ratio between the functional and the anchor unit. With this

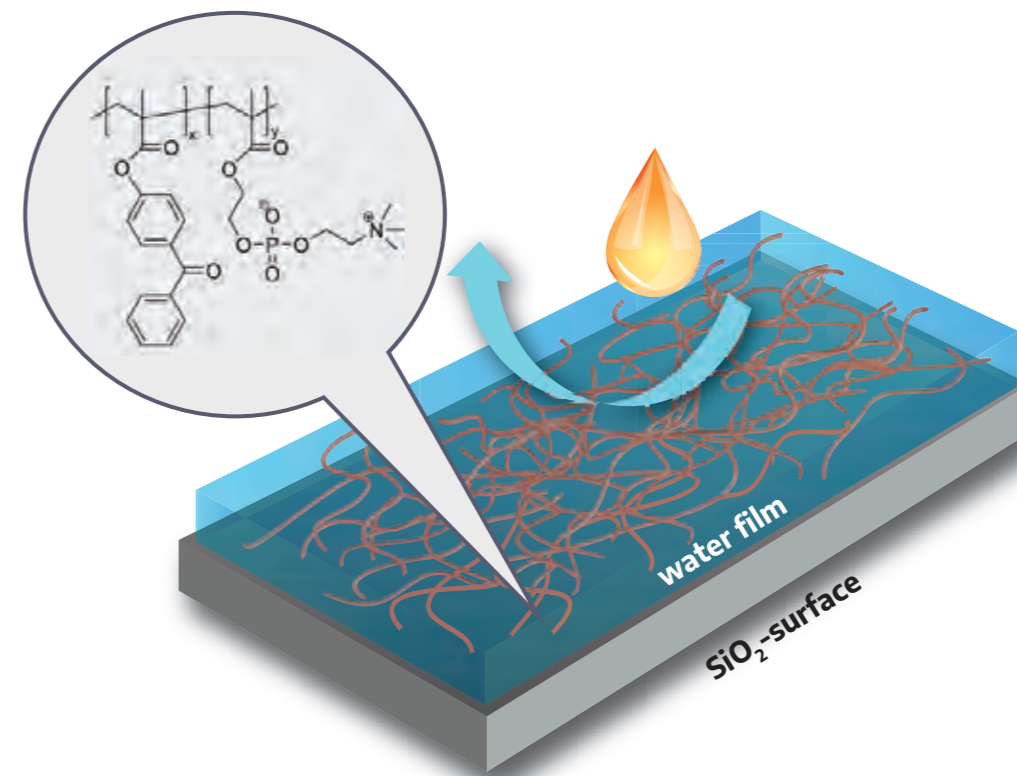


Fig. 1 Schematic illustration of the mechanism of the oil-removing properties of MPC-BPO layer.

systematic investigation a general statement regarding the tunability and the mechanism of anti-fouling, easy-to-clean and anti-fog properties was possible, at which the influence of BPO content and UV-irradiation time on the successful preparation of a multifunctional coating could be extracted for the first time.

The study has shown that an exactly balanced ratio between thickness of the dry films, degree of swelling and water contact angle is necessary to create such surface coatings. The investigations show that films of MPC with a content of 1% BPO delivered optimal oil repellency. Generally, a degree of swelling of ≈ 15 in combination with a water contact angle of less than 12° was necessary for a reliable easy-to-clean effect. Based on these results also a hypothesis about the mechanism of oil repellency was possible: In the dry state, the MPC-films are very oleophilic, independent of the amount of BPO and the associated crosslinking points, indicated by the very low contact angle (less than 10°) against hexadecane. When the surfaces are wetted with water, it penetrates the MPC-films and they swell depending on their degree of crosslinking. The dipole arrangement of water molecules

in the hydration shell formed via electrostatic interaction with the charged groups is closer to free water in comparison to the directional arrangement of water molecules in the hydration shell formed by hydrogen bonds, as in the case of the widely discussed polyethyleneglycol (PEG). Because of this phenomenon and the low concentration of MPC chains in the swollen layer, the water film which is formed between the substrate and the oil droplet is behaving similar to pure water and leading to a significant decrease of the interaction between the oil droplet and the surface. Because of its lower density, the oil swims away on top of the water film (Figure 2). ■

Sponsors

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) of Germany (AiF-IGF 18696 BR; AiF-IGF 18573 BG/1)

Cooperations

- Dr. Volkmar Stenzel and Andrej Stake, Fraunhofer IFAM, Bremen
- Dr. Helfried Haufe, GMBU, Dresden

[1] A.S. Münch, T. Fritzsche, H. Haufe, P. Uhlmann: J. Coat. Technol. Res. 2018, 15, 703–712.

[2] A.S. Münch, A. Stake, T. Lukaszczuk, A. Stalling, T. Fritzsche, V. Stenzel, P. Uhlmann: J. Coat. Technol. Res. 2019, 16, 1515–1525.

[3] A.S. Münch, S. Adam, T. Fritzsche, P. Uhlmann: Adv. Mater. Interfaces 2019, 10.1002/admi.201901422.

Janus particles: From concepts to sustainable applications

Claudia Marschelke, Madeleine Schwarzer, Alla Synytska

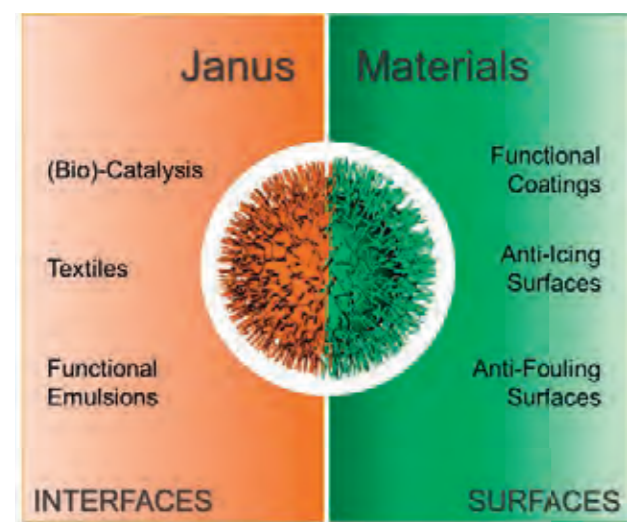


Fig. 1 Janus particles for applications at fluid/fluid and solid/air interfaces.

Janus particles (JPs) represent a unique group of patchy particles combining two different functionalities at their opposite sides. Especially, individual JPs with chemical and geometrical anisotropy provide advantages over monofunctional particles offering high interfacial activity, targeted controlling

of their interfacial activity by external signals, controlling the mass transport across the interface, and combination of combined functionalities allowing their use either as carrier materials for catalytically active substances or their site-selective attachment to substrates (Fig. 1).[1]

JPs can be utilized as building blocks for the design of multifunctional surfaces with controlled heterogeneity, adhesion and wettability for anti- and de-icing [2,3], as well as anti-fouling applications (Fig. 2).[4] Ice formation on wind turbines and airframes of helicopters or aircrafts is a severe problem, since it may lead to failures in energy supply or to dangerous accidents while transporting. Chemically heterogeneous JP-based surfaces provide synergistic effects and exhibit special surface edge morphologies, which led to an extremely low ice adhesion [2] and a significantly decreased ice nucleation rate.[3] The bifunctional JP-based coatings showed also reduced bacterial adhesion under both static and dynamic conditions due to the combined anti-fouling and fouling-release capability of the JPs.[4]

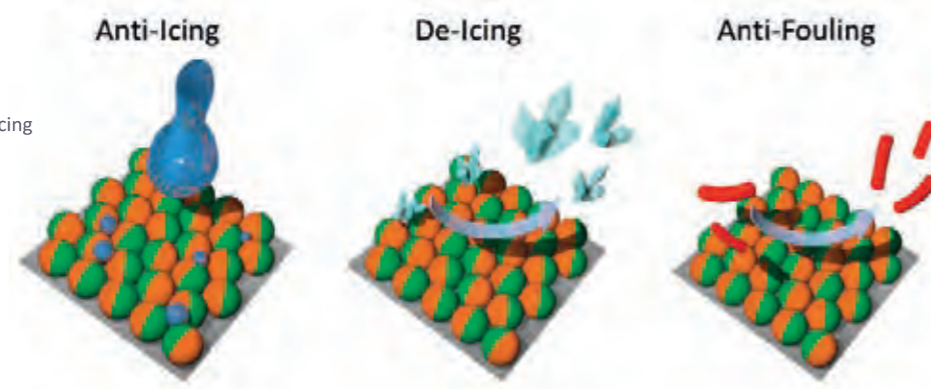


Fig. 2 Janus particles for anti-, de-icing and anti-fouling surfaces.

Due to their enhanced interfacial activity, JPs are capable to adsorb at interfaces and can be used for the stabilization of emulsions, blends or foams. One side of the JPs can be further modified with active compounds, such as noble metal nanoparticles [5] or enzymes [6,7], yielding active functional interfaces (Fig. 3). Thus, JPs simultaneously stabilize the interface and enable the catalytic reaction in multiphase media. By introducing stimuli-responsive polymers to the second hemisphere of the JPs, the emulsions can be destabilized on demand and the JPs can easily be recovered and

reused again multiple times.[5,7] The hemisphere without any catalytically active species can be further employed for the immobilization of the catalytically active JPs onto textile fibers (Fig. 2) to either allow the catalytic modification of the fiber or to create a catalytically active textile membrane that can be relieved from JPs and reloaded again.

In summary, the presented concept of JPs represents a promising pathway for the rational design of advanced multifunctional materials with great potential for sustainable, environmental and biotechnological applications. ■

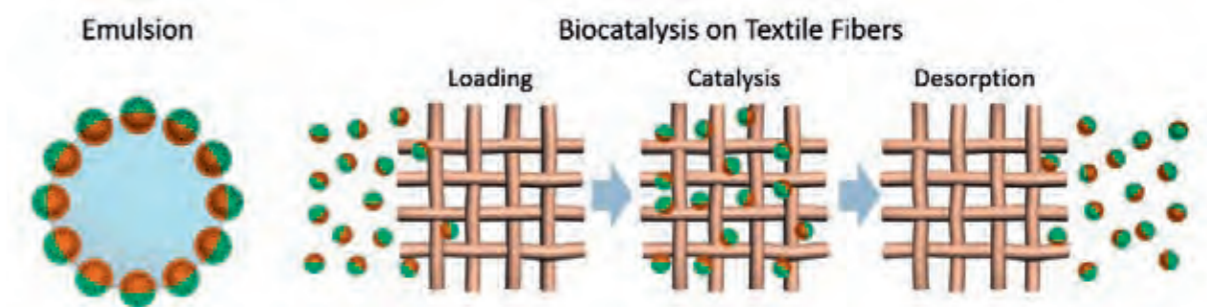


Fig. 3 Janus particles for (bio-)catalysis in emulsion and on textile fibers.

Sponsors

- German Research Foundation (DFG)
- German Federation of Industrial Research Associations (AiF)

Cooperations

- Dr.-Ing. Markus Schreimb, Apl. Prof. Dr. Ilia V. Roisman and Prof. Dr.-Ing. Cameron Tropea: Institute for Fluid Mechanics and Aerodynamics, Technische Universität Darmstadt

- Hisaschi T. Tee, Dr. Frederik R. Wurm: Department of Physical Chemistry of Polymers, Max-Planck-Institut für Polymerforschung Mainz
- Dr. Christian Schliebe, Dr. Alexander Jakob and Prof. Dr. Heinrich Lang, Institute of Chemistry, Inorganic Chemistry, Technische Universität Chemnitz
- Dorina Köpke and Dr. Anke Matura, Professur für Technische Biochemie, Technische Universität Dresden
- Marco Sallat, Sächsisches Textilforschungsinstitut e. V., Chemnitz

[1] A. Kirillova, C. Marschelke, A. Synytska: ACS Appl. Mater. Interfaces 11 (2019) 9643–9671.

[2] M. Schwarzer, T. Otto, M. Schreimb, C. Marschelke, H. T. Tee, F. R. Wurm, I. V. Roisman, C. Tropea, A. Synytska: Chem. Mater. 31, 1 (2019) 112123.

[3] A. Kirillova, L. Ionov, I. V. Roisman, A. Synytska: Chem. Mater. 28, 19 (2016) 6995–7005.

[4] A. Kirillova, C. Marschelke, J. Friedrichs, C. Werner, A. Synytska: ACS Appl. Mater. Interfaces 8 (2016) 32591–32603.

[5] A. Kirillova, C. Schliebe, G. Stoychev, A. Jakob, H. Lang, A. Synytska: ACS Appl. Mater. Interfaces 7 (2015) 21218–21225.

[6] C. Marschelke, I. Raguzin, A. Matura, A. Fery, A. Synytska: Soft Matter 13 (2017) 1074–1084.

Temperature-induced mechano- and growth factor release modulation of glycosaminoglycan based interpenetrating polymer networks

Jana Sievers, Stefan Zschoche, Ron Dockhorn, Jens Friedrichs, Carsten Werner, Uwe Freudenberg

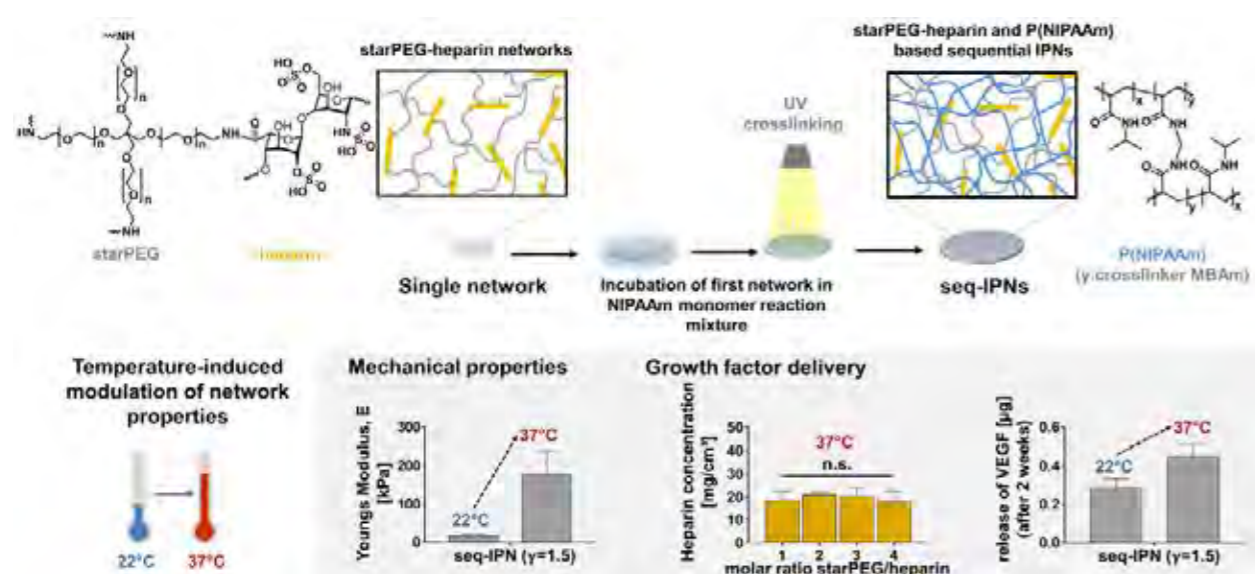


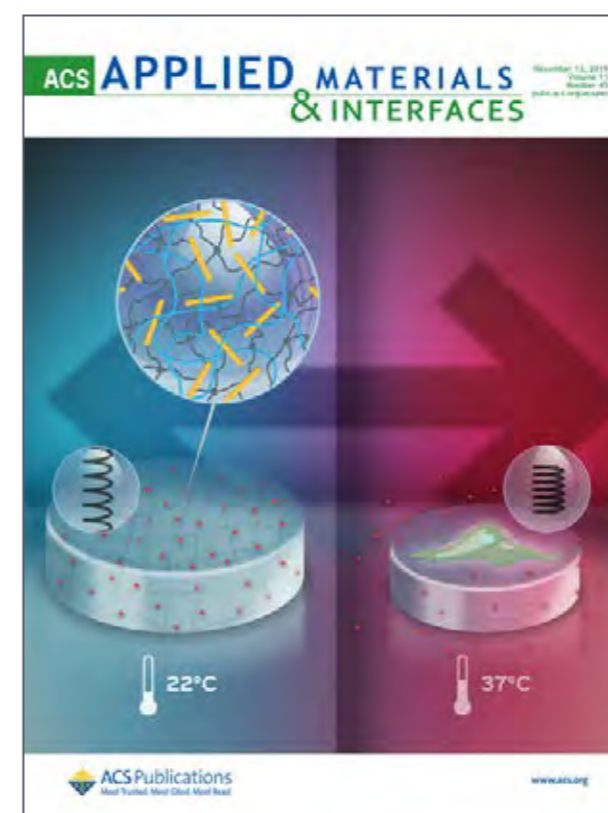
Fig. 1 Extension of biofunctional starPEG-heparin hydrogel with thermo-responsive P(NIPAAm) network using seq-IPN approach. The newly designed networks show temperature-induced modulation of their mechanical properties and growth factor release characteristics, with the crosslinking degree being decoupled from the biofunctionality (heparin concentration).

Various hydrogel systems have been developed that closely mimic key biophysical and biochemical aspects of the natural cellular environment. “Smart” hydrogel systems, which change their physicochemical and/or mechanical properties (e.g. swelling degree) in response to external or internal stimuli, have lately received increasing attention with thermo-responsive polymer poly(N-isopropylacrylamide) (P(NIPAAm)) being one of the most widely investigated stimuli-responsive systems. Upon increase of temperature above its lower critical solution temperature of 32 °C, P(NIPAAm) polymers undergo a sharp conformational coil-to-globuli transition leading to the dehydration and collapse

of P(NIPAAm) based polymer networks. However, currently available P(NIPAAm) hydrogel systems have two major deficiencies: poor mechanical properties of the hydrated network and insufficient sustained release properties, mainly due to low and undefined interactions of entrapped molecules with the gel matrix. Taking benefit from the unique capabilities of heparin to reversibly bind a plethora of growth factors, our group previously developed a hydrogel platform based on the glycosaminoglycan (GAG) heparin as a bioactive component together with the inert, synthetic polymer poly(ethylene glycol) (starPEG) [1]. A rational design concept was applied to extend the multifunctional

starPEG-heparin hydrogel platform by introducing a thermo-responsive P(NIPAAm) network. This was achieved via the formation of a sequential interpenetrating polymer network (seq-IPN) using a chemically orthogonal crosslinking principle. The resulting system combines the advantages of both materials to create a growth-factor-affine hydrogel network with a thermo-responsive trigger to modulate the mechanical properties and release characteristics. Seq-IPN based on starPEG-heparin networks with different crosslinking degrees were formed that all successfully reacted to temperature changes with changes in their swelling degree. Consistent with the original design approach of the starPEG-heparin single hydrogels, the seq-IPNs

were found to have the same heparin concentration independent of their intrinsic crosslinking degree at 37 °C. This provides the basis for facilitating a sustained release of growth factors. We show that the heparin inside the hydrogel systems enabled the binding and sustained release of growth factors including bone morphogenetic protein 2 (BMP-2) and that the incubation at 37 °C triggered a higher quantity of growth factors to be released from the seq-IPNs as compared to room temperature. Moreover, osteogenic differentiation experiments of human mesenchymal stem cells proved the bioactivity of the released BMP-2 and the biocompatibility of the newly designed seq-IPNs. A unique feature of the seq-IPNs is the – thermally induced – up to 50-fold amplification of their intrinsic mechanical network properties upon incubation at 37 °C. This unexpected observation provides valuable options for the design of new smart materials for applications in which strong mechanical forces need to be modulated while in parallel well-balanced cell-instructive characteristics have to be provided, e.g. in temperature-controlled valves with growth factor release or sequestration capabilities for microfluidic cell culture systems or for diagnostic devices [2]. ■



Sponsors

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation), CRC TR 67, FR 3367/2-1
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Federal Ministry of Education and Research), FV RESPONSE Zwanzig20

Fig. 2 Section Cover in ACS Applied Materials and Interfaces Vol. 11 (2019) illustrating the modulation of the mechanical properties and growth factor release upon temperature change from 22 °C to 37 °C.

- [1] U. Freudenberg, A. Hermann, P.B. Welzel, K. Stirl., S. C. Scharz, M. Grimmer, A. Zieris, W. Panyanuwat, S. Zschoche, D. Meinhold, A. Storch, C. Werner: *Biomaterials* 28 (2009) 5049–5060.
- [2] J. Sievers, S. Zschoche, R. Dockhorn, J. Friedrichs, C. Werner, U. Freudenberg: *ACS Applied Materials and Interfaces* 45 (2019) 41862–41874.

Hydrogels with programmable host reactions

Lucas Schirmer, Mikhail V. Tsurkan, Uwe Freudenberg, Carsten Werner

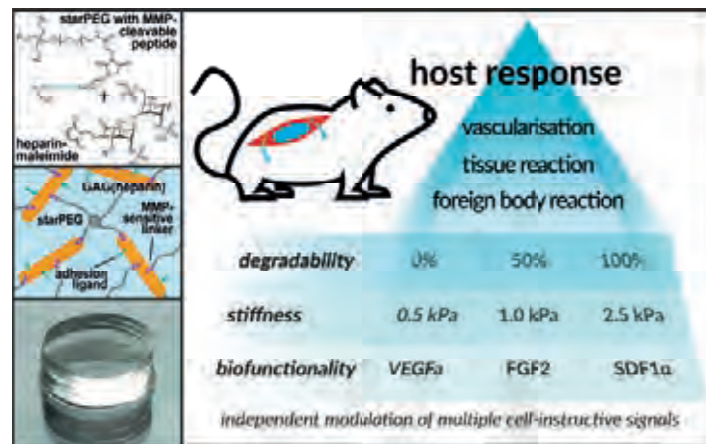


Fig. 1 Synthesis of selectively desulfated heparin derivatives functionalized with reactive maleimide groups to enable *in situ* crosslinkable hydrogels with thiolated starPEG. A) Selective removal of heparin's sulfate groups at one or more positions showing the subsequent degree of sulfation (DS) followed by maleimide functionalization. B) Injectable hydrogels are produced through a click reaction between heparin maleimide and thiolated starPEG with the simultaneous incorporation of cells, growth factors and bioactive peptide sequences (e.g. RGD, MMP-cleavable linkers) during the crosslinking process while selective desulfation allows for the modulation of growth factor affinity to heparin.

Biohybrid hydrogels based on glycosaminoglycan (GAG) offer far-reaching control over their physical and biomolecular signaling properties and have already been successfully used in cell and tissue culture. To explore the suitability of the materials for *in vivo* applications, we studied the host reaction to *in situ*-assembling star-shaped poly(ethylene glycol) (starPEG)-GAG hydrogel variants upon subcutaneous implantation in immunocompetent C57BL/6J mice for up to 28 days. We specifically investigated the immune reaction and the angiogenic response to hydrogels with systematically varied cytokine functionalization, physical network (and mechanical) properties, cell adhesiveness, and enzymatic degradability. Upon implantation of materials, a series of events results in a foreign body reaction (FBR) aimed at either degrading the implant or surrounding it with a fibrous capsule. Biomaterial-related factors affecting the

FBR include the composition and structure of the materials and their time-dependent changes. When subcutaneously implanted into the immunocompetent mouse, GAG-based hydrogel elicited only a minor FBR with low immune cell infiltration and collagen deposition compared to similarly implanted medical grade silicone. Adjusting the physical properties, biofunctionalization, and degradability allowed to program the host response from nearly no degradation and infiltration to fast integration of the hydrogel scaffolds into the tissue within days. The results point at the impact of hydrogel stiffness, degradability, and cytokine functionalization on the material host response in mice and are highly consistent with previous *in vitro* biofunctionality data of similar starPEG-GAG hydrogels. StarPEG-GAG hydrogels induced a generally low FBR in immunocompetent mice, indicating excellent

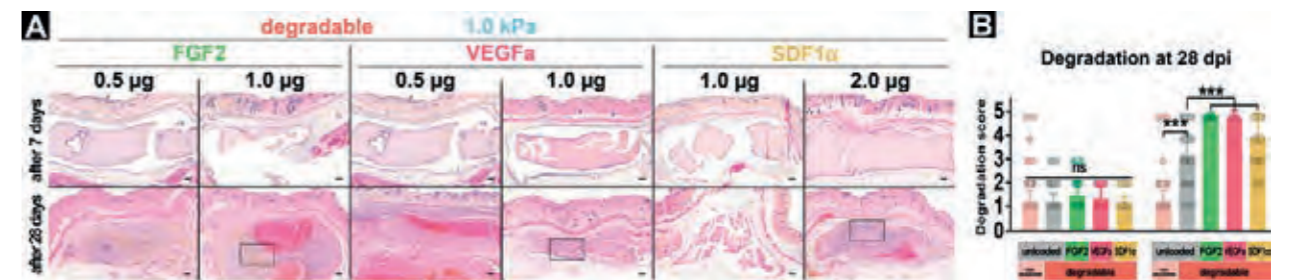


Fig. 2 Degradation of subcutaneously implanted, soft (1.0 kPa) starPEG-GAG hydrogels loaded with different cytokines (Fibroblast growth factor 2, Vascular endothelial growth factor α , Stromal cell-derived factor 1 α) in immunocompetent C57bl/6 mice over 7 and 28 days. A) H&E staining of degradable hydrogels after 7 and 28 days with varying biomolecular functionalization. Scale bar 200 μ m. B) Quantification of implant degradation. *** - $P \leq 0.001$. Bars represent individual implants with $n \geq 15$ per condition.

histocompatibility. Variation of the material's stiffness from 0.2 to 2.5 kPa storage modulus and of the cytokine pre-loading resulted in profound differences in degradation and remodeling patterns *in vivo*. While the non-degradable hydrogels remained stable for periods exceeding four weeks after subcutaneous implantation, the enzymatically degradable hydrogels were infiltrated by cells with the extent of remodeling dependent on the crosslinking degree of the hydrogel and cytokine pre-loading. The simultaneous and independent control of the physical and biomolecular properties of the investigated starPEG-GAG hydrogels allows for effectively programming the host response ranging from a rapid infiltration and remodeling of the degradable materials to a rather inert behavior found for highly crosslinked, non-degradable hydrogels. The results indicate the suitability of the modular starPEG-GAG hydrogels as highly versatile

cell- and tissue-instructive scaffolds for safe and effective *in vivo* applications. ■

Sponsors

- German Research Foundation (DFG)
 - 423 - project number 59307082-TRR67 A10 (CW and UF), - project number FR 3367/2-1 (UF), and
 - 424 - project number FOR/EXC999 (CW)
- Leibniz-Gesellschaft (Leibniz Association), SAW-2011-IPF-2 68 (CW)

Cooperation

- Dr. Karolina Chwalek, Harvard Medical School, Boston, United States of America

[1] L. Schirmer, K. Chwalek, M. V. Tsurkan, U. Freudenberg, C. Werner: Biomaterials 228 (2020) 119557.

Multiphasic microgel-in-gel materials to recapitulate cellular mesoenvironments *in vitro*

Petra B. Welzel, Dejan Husman, Nicole Träber, Jens Friedrichs, Vincent Körber, Mikhail V. Tsurkan, Uwe Freudenberg, Julian Thiele, Carsten Werner

Hydrogels have been shown to be instrumental for the *in vitro* mimicry of living tissues. However, multiphasic hydrogel systems are needed for better recapitulating key structural and functional features of heterogeneous tissues. Towards this aim, we developed a new biomaterial design approach that relies on integrating cell-laden spherical hydrogel microparticles (microgels) within cell-laden bulk hydrogel matrices to provide thoroughly tunable microgel-in-gel-systems [1]. Various important cell-instructive properties (stiffness, degradability, biofunctionalization) as well as the localization of specific cell types were individually varied in the microgel and the surrounding bulk gel compartment across a wide range using the options of a very versatile platform of multifunctional poly(ethylene glycol) (PEG)-heparin hydrogel types [2]. Besides its flexibility, the system allowed to mimic the dynamics of natural tissues by incorporating matrix metalloproteinase (MMP)-sensitive peptide sequences [3]. Graduation of the interaction between the two engineered compartments is easily possible by the choice of the microgel size. To enable the high-throughput fabrication of microgels of *in situ* tunable diameter a novel variant of microfluidics was developed [1].

As a proof of concept we exemplarily created a reductionistic *in vitro* model of vascularized prostate cancer tissue. Therefore, prostate cancer cells were grown in microgels providing a stiffer spheroid-supportive matrix. These were surrounded by a soft hydrogel matrix that additionally contained growth factors and adhesion ligands suitable to support a co-culture of embedded human umbilical cord endothelial cells (HUVECs) and mesenchymal stromal cells (MSCs) in the formation of a capillary endothelial cell network. The new culture format allowed the formation of spatially resolved microtissue structures (Fig. 1) and was shown to overcome limitations of *in vitro* tissue models based on monophasic hydrogel materials [4]. As another key advantage the approach enabled the combination of both cell assemblies (cancer spheroids and endothelial networks) to microgel-in-gel co-cultures at different time points, i.e. at different levels of maturation while keeping their microenvironment.

In sum, microgel-in-gel materials were shown to be useful for exploring the mesoenvironmental interplay of co-cultured cells in their customized microenvironments and are expected to expand the relevance of 3D *in vitro* tissue and disease models. ■

Sponsors

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation), Research Training Groups “Nano- and Biotechniques for Electronic Device Packaging” and “Hydrogel-based Microsystems”, TH 2037/1
- Australia Awards, 3473_2013
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Federal Ministry of Education and Research), Biotechnologie2020+ Strukturvorhaben: Leibniz Research Cluster, 031A360C

Cooperations

- Dr. Laura J. Bray, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
- Dr. Steffen Vogler, Deutsches Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen, Dresden

- [1] D. Husman, P. B. Welzel, S. Vogler, L. J. Bray, N. Träber, J. Friedrichs, V. Körber, M. V. Tsurkan, U. Freudenberg, J. Thiele, C. Werner: *Biomaterials Science* 8 (2020) 101–108.
- [2] U. Freudenberg, Y. K. Liang, K. L. Kiick, C. Werner: *Advanced Materials* 28 (2016) 8861–8891.
- [3] M. V. Tsurkan, K. Chwalek, S. Prokoph, A. Zieris, K. R. Levental, U. Freudenberg, C. Werner: *Advanced Materials* 25 (2013) 2606–2610.
- [4] L. J. Bray, M. Binner, A. Holzheu, J. Friedrichs, U. Freudenberg, D. W. Hutmacher, C. Werner: *Biomaterials* 53 (2015) 609–620.

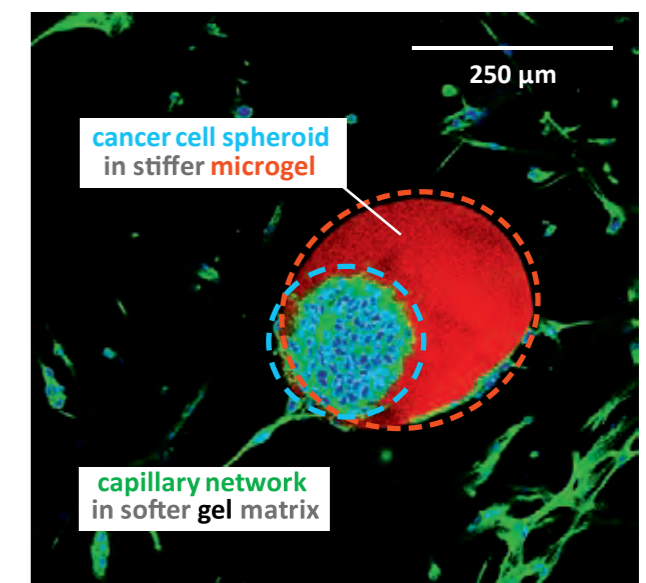


Fig. 1 Visualization of the 3D *in vitro* microgel-in-gel prostate cancer model by immunostaining/confocal microscopy 5 days after preparation. Phalloidin staining of actin filaments (green) and Hoechst staining of nuclei (blue) highlights the prostate cancer spheroid (within the blue dotted line) embedded in the stiffer microgel (within the red dotted line, fluorescently labeled with Atto 610, red) as well as the capillary network (HUVECs/MSCs) in the surrounding softer hydrogel matrix [1] – Reproduced by permission of The Royal Society of Chemistry.

High resolution bioprinting of multi-component hydrogels

Ralf Zimmermann, Felix Schrön, Passant Atallah, Uwe Freudenberg, Carsten Werner

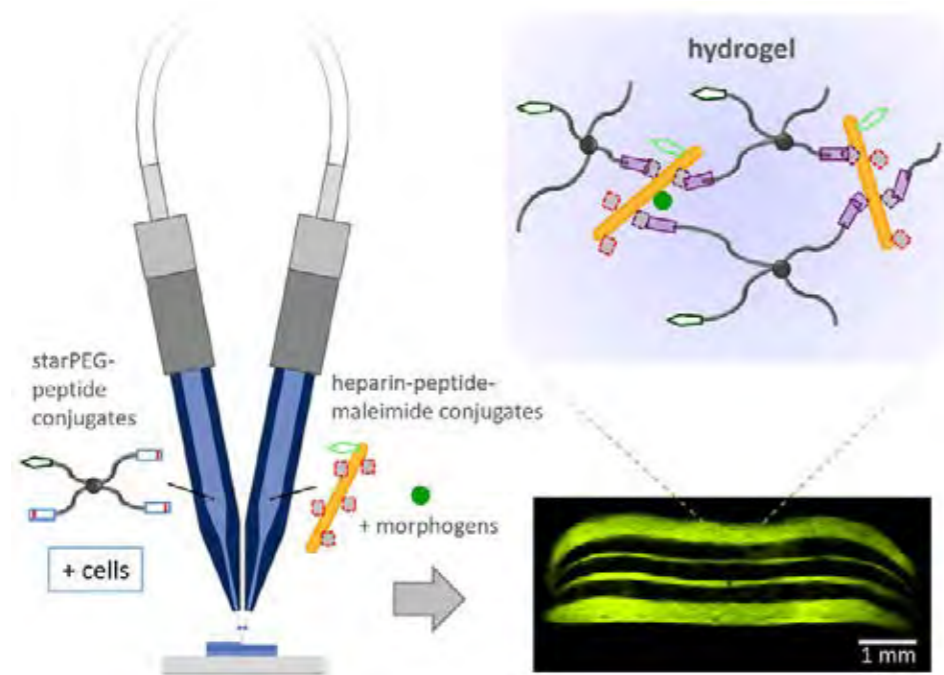


Fig. 1 Schematic representation of the multi-component inkjet printing of reactive precursor solutions (using two sub-nanoliter piezoelectric pipettes) for the fabrication of hydrogel scaffolds with spatially graded material properties.

Materials capable of directing cell fate by providing spatially-graded biophysical and biomolecular cues are critically important in the reconstitution of living matter. Towards this aim, we developed a multi-component printing method for the fabrication of spatially-graded hydrogel scaffolds which relies on the Michael addition of reactive precursors, e.g. thiol-functionalized 4-arm poly(ethylene) glycol (starPEG) and maleimide-functionalized heparin [1,2]. As the fast crosslinking reaction does not allow premixing of the precursors (gelation occurs within ~ 1 s), we developed a printing head that uses two piezoelectric sub-nanoliter pipettes for simultaneously dispensing two reactive polymer solutions (droplet

volume ~ 500 pl) onto the same spot (Fig. 1) [1]. The printing head was mounted on a customized Nanoplotter™ 2.0 (GeSiM, Radeberg, Germany).

To explore the potential and limitations of our approach for the fabrication of hydrogel scaffolds that are spatially tailored in composition, mechanical properties, and cell density, we first printed hydrogel scaffolds with vertical and lateral variation of the material composition. After optimization of the printing parameters, we were able to produce glycosaminoglycan (GAG)-based hydrogel scaffolds with unprecedented spatial resolution of ~ 50 μm in vertical direction and ~ 200 μm lateral structure size [1]. To visualize the obtained structures,

different types of fluorophores were pre-conjugated to the hydrogel building blocks (Fig. 1) [1].

Cell fate decisions may be triggered by the local (zonal) variation of the visco-elastic properties of printed hydrogel structures [3]. Building on the rational design concept for tuning the mechanical properties of starPEG-heparin hydrogels through the molar ratio of starPEG to heparin [2], we further printed hydrogel scaffolds with spatial variation of the stiffness [1].

To demonstrate the suitability of the method for producing cell-laden constructs, we printed human bone-marrow derived mesenchymal stem cells (hMSCs), a cell type that is widely used to engineer bone, adipogenic, myogenic and chondrogenic tissue, into starPEG-heparin hydrogel layers with a thickness of ~ 250 μm [1]. Applying live-dead staining proved a high viability and confirmed the gentle printing procedure as well as the cell-supportive characteristics of the hydrogel material [1]. Similarly, high viabilities were obtained for printed porcine chondrocytes and induced pluripotent stem cells [1].

To finally demonstrate the specific stimulation of cellular processes in 3D structured GAG-based materials, we produced chemotactic gradients of the platelet-derived growth factor in starPEG-heparin hydrogels with zonal architecture and studied migratory and morphogenetic responses of embedded hMSCs [1]. The obtained results underlined the key role of the factor in the regulation of the hMSC migration and morphogenesis

and demonstrated the potential of GAG-based hydrogels to program the spatiotemporal distribution of soluble morphogens in graded hydrogel systems [1].

Capitalizing on the reversible conjugation of morphogens to the GAG hydrogel component [2], materials fabricated from the novel bioink platform allow for effective control of cell fate decisions by programming biophysical and biomolecular matrix cues in space and time [1]. We expect that the introduced methodology enables a new, holistic level of control over reductionistic tissue and organoid *in vitro* models [1]. ■

Sponsors

- European Union Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013), project HydroZones, grant agreement n°309962
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation), project “Cell-instructive hydrogel gradient arrays”, ZI 1238/4-1 and FR 3367/2-1
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Federal Ministry of Education and Research), project EXASENS, FKZ 13N13859

Cooperation

- Thomas Wegener, Thomas Gering, Steffen Howitz
GeSiM – Gesellschaft für Silizium-Mikrosysteme mbH, Radeberg

[1] R. Zimmermann, C. Hentschel, F. Schrön, D. Moedder, T. Büttner, P. Atallah, T. Wegener, T. Gehring, S. Howitz, U. Freudenberg, C. Werner: *Biofabrication* 11 (2019) 045008.

[2] U. Freudenberg, Y. Liang, K. L. Kiick, C. Werner: *Advanced Materials* 28 (2016) 8861–8891.

[3] D. E. Discher, P. Janmey, Y. L. Wang: *Science* 310 (2005) 1139–1143.

A smart polymer for sequence-selective binding, pulldown and release of DNA targets

Krishna Gupta, Susanne Boye, Alben Lederer, Elisha Krieg

DNA isolation and purification methods are crucial for research in biology, bionanotechnology, clinical diagnostics and forensics. Despite the diverse variety of available techniques, all existing approaches have critical shortcomings that require trade-offs between material cost, ease of use, versatility, and performance. To address this challenge, we have developed a smart methanol-responsive polymer (MeRPy) (Fig. 1) [1]. MeRPy's development was inspired by SNAPCAR, a previously reported method that enables the scalable production of long single-stranded DNA (ssDNA) [2]. By combining a stimuli-responsive polymer backbone with the selective binding recognition of DNA base pairs, MeRPy can be programmed to capture, encapsulate, and release single- or double-stranded DNA targets. Once targets are captured by the polymer, they can quickly be isolated and subsequently released back into solution (Fig. 2). The release can be triggered either by heating the solution or via a non-covalent exchange reaction that is known as toehold-mediated strand displacement. The latter method allows 99.8 % efficient removal of impurities (i.e., unwanted DNA sequences) and 79 % recovery of highly pure target sequences.

To demonstrate its utility, we applied MeRPy for the depletion of three genes – *insulin (INS)*, *glucagon (GCG)*, and *transferrin (TTR)* – from clinical next-generation sequencing (NGS) libraries, which had been obtained from patient-derived pancreatic tissue samples (Fig. 3). The high expression levels of those three genes tend to decrease the sensitivity and thus lower the quality of potentially valuable diagnostic data. Applying the MeRPy-based purification method to the libraries improved the data quality for low-abundance transcripts. Furthermore, it helped detect more than 1000 genes that had been below the detection threshold in untreated samples (Fig. 3C). MeRPy's high binding capacity, its rapid DNA capture and release performance, thermal and chemical stability, and low cost represent significant advantages over currently used enzymatic and microbead-based DNA purification methods. It is thus suitable for diverse applications in research and clinical laboratories, including enhancement of NGS libraries, extraction of DNA from biological samples, sorting of DNA-labeled non-nucleic acid targets, and preparative-scale DNA isolations [3]. ■

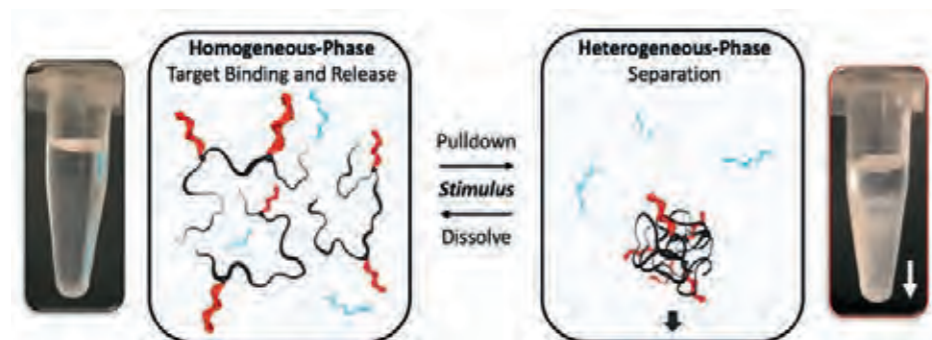


Fig. 1 Methanol-responsive polymer (MeRPy). MeRPy combines fast binding and release of target DNA in homogeneous phase with facile pulldown and separation in heterogeneous phase.

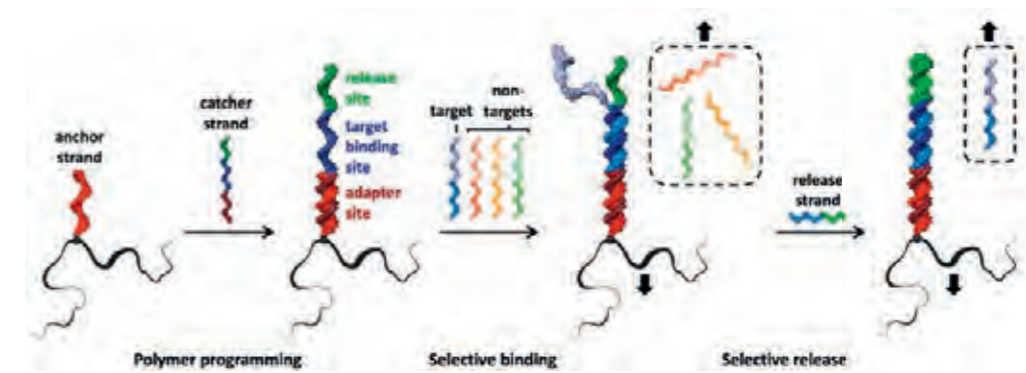


Fig. 2 Working principle of MeRPy. MeRPy is first programmed by addition of one or more catcher strands. Catcher strands define the binding and release properties of the polymer. After capturing target strands, non-targets are removed via methanol-induced pulldown. The captured targets are then released from the polymer on demand. The release is triggered by specific release strands.

Cooperations

- Dr. Andreas Dahl, Dr. Mathias Lesche, DRESDEN-concept Genome Center, Center for Molecular and Cellular Bioengineering, Technische Universität Dresden, Dresden
- Prof. William M. Shih, Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering at Harvard University, Boston, United States of America

Sponsors

- Human Frontier Science Program (LT001077/2015-C)
- TU Dresden Open Topic Postdoc Programme
- DFG NGSCC program
- Wyss Institute at Harvard Core Faculty Award

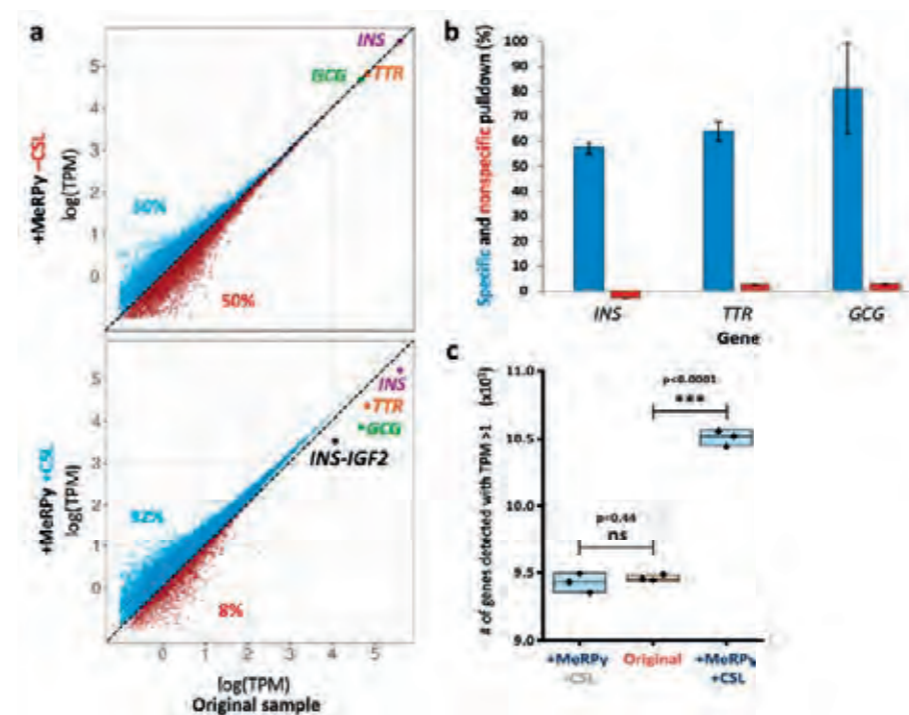


Fig. 3 A) Depletion of transcripts from a clinical NGS library by MeRPy in presence and absence of an *INS*-, *GCG*-, and *TTR*-targeting catcher strand library (CSL) increases the transcript-per-million (TPM) detection signal for 92 % of genes. B) High pulldown efficiency and specificity. C) ~1000 additional genes were detected in MeRPy-treated samples.

[1] E. Krieg, K. Gupta, A. Dahl, M. Lesche, S. Boye, A. Lederer, W. M. Shih: bioRxiv (2019) 573030.
 [2] E. Krieg, W. M. Shih: Angewandte Chemie International Edition 57 (2018) 714–718.
 [3] D. Minev, R. Guerra, J. Kishi, C. Smith, E. Krieg, K. Said, A. Hornick, H. Sasaki, G. Filsinger, B. Beliveau, P. Yin, G. M. Church, W. M. Shih: Nucleic Acids Res. 47 (2019) 11956–11962.

Polyacrylamide (PAAm) bead sensors for *in vivo* quantification of cell-scale stress in zebrafish development

Nicole Träber, Jens Friedrichs, Carsten Werner

Mechanical stresses exerted and experienced by cells during tissue morphogenesis and organ formation play an important role in embryonic development. While techniques to quantify mechanical stresses *in vitro* are available, there are few methods to study stresses in living organisms. Therefore, we have developed and applied a novel assay that allows the *in vivo* study of cell-scale stresses using deformable hydrogel microbeads. Cell-sized polyacrylamide (PAAm) beads were prepared using a flow-focusing microfluidic device (Fig. 1A) [1]. The elastic modulus of the beads was adjusted to mimic the typical stiffness range of eukaryotic cells [2]. To render the PAAm beads bioadhesive and to visualize deformations in real time, they were conjugated with fluorescent peptides after production. Then, the compliant beads were micro-injected into the developing brain of zebrafish embryos, and confocal time-lapse microscopy was used to visualize three-dimensional shape changes of the beads resulting from morphogenetic processes exerted by the surrounding cells (Fig. 1B). Three-dimensional changes in the bead shape were finally analyzed to determine spatial and temporal stresses using a newly developed method called *computational analysis-based cell-scale stress sensing* (COMPAX) (Fig. 1C) [3]. With this procedure, we are able to detect pulsatile pressure propagation in the developing brain of zebrafish embryos potentially originating from polarized cell

divisions and continuous tissue flow. In summary, hydrogel microbead-based *in vivo* cell force sensors and the developed routines for bead injection, confocal time-lapse microscopy-based acquisition of cell-induced bead deformations, and spatiotemporal quantification of stresses using COMPAX are expected to provide novel insight into developmental processes at the local tissue level and to facilitate quantitative investigation and a better understanding of morphogenetic processes. ■

Sponsors

- Alexander von Humboldt Foundation
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) BR 1746/6-1 and BR 1746/3

Cooperations

- Prof. Dr. Daniel Balzani, Dipl.-Ing. Klemens Uhlmann, Chair of Continuum Mechanics, Ruhr-Universität Bochum, Bochum
- Dr. Salvatore Girardo, Ruchi Goswami and Prof. Dr. Jochen Guck, Max Planck Institute for the Science of Light, Erlangen
- Dr. Gokul Kesavan, Keliya Bai and Prof. Dr. Michael Brand, Center for Regenerative Therapies Dresden
- Dr. Katrin Wagner, Biotechnology Center, Technische Universität Dresden, Dresden

- [1] S. Girardo, N. Träber, K. Wagner, G. Cojoc, C. Herold, R. Goswami, R. Schlüßler, S. Abuhattum, A. Taubenberger, F. Reichel, D. Mokbel, M. Herbig, M. Schürmann, P. Müller, T. Heida, A. Jacobi, E. Ulbricht, J. Thiele, C. Werner, J. Guck: *Journal of Materials Chemistry* (2018) 179–185.
- [2] P. H. Wu, D. R. Aroush, A. Asnacios, W. C. Chen, M. E. Dokukin, B. L. Doss, P. Durand-Smet, A. Ekpenyong, J. Guck, N. V. Guz, P. A. Janmey, J. S. H. Lee, N. M. Moore, A. Ott, Y. C. Poh, R. Ros, M. Sander, I. Sokolov, J. R. Staunton, N. Wang, G. Whyte, D. Wirtz: *Nature Methods* 15 (2018) 491–498.
- [3] N. Träber, K. Uhlmann, S. Girardo, G. Kesavan, K. Wagner, J. Friedrichs, R. Goswami, K. Bai, M. Brand, C. Werner, D. Balzani, J. Guck: *Scientific Reports* 9 (2019) 1–14.

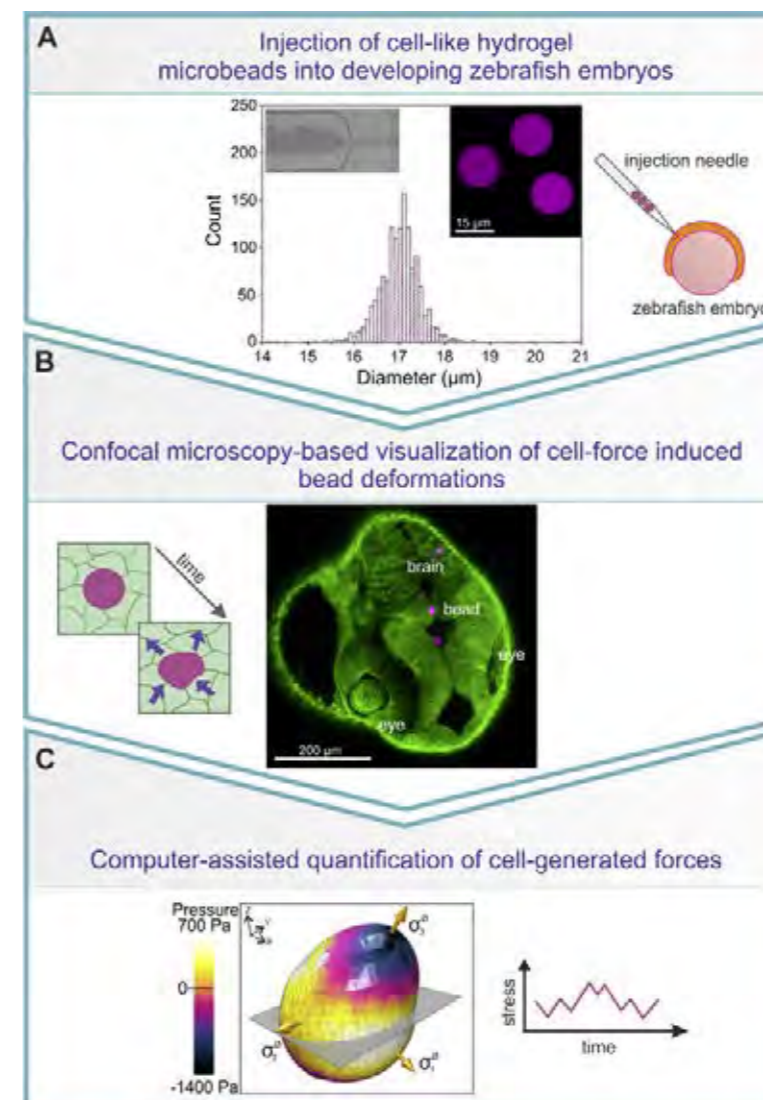


Fig. 1 An assay to quantify *in vivo* cell forces using hydrogel microbeads.

- A) Size distribution of fluorescently labeled microbeads. Inset left: The beads were produced using a microfluidic flow-focusing device. Inset right: Confocal microscopy image of fluorescently labeled microbeads. The injection of microbeads into zebrafish embryos is schematically illustrated.
- B) Confocal microscopy image of microbeads (magenta) trapped in the developing brain of a zebrafish embryo (cell membranes - green). Developing eyes and structures of the central nervous system are marked. Cell-induced deformations of an injected bead over time are schematically illustrated.
- C) Representative contour plot of pressure distributed on the surface of a microbead after injection in developing embryonic tissue. The force detection is possible over longer periods, as shown in the adjacent diagram.

Polymere Netzwerke und übermolekulare Strukturen



Durch die Vernetzung von Polymeren werden Flüssigkeitseigenschaften (Viskosität) mit Festkörpereigenschaften (Formbeständigkeit, Lösungsmittelbeständigkeit) kombiniert. Eine zentrale Rolle in der übergreifenden experimentell-theoretischen Forschung auf diesem Gebiet spielt die Aufklärung der Zusammenhänge zwischen Netzwerkstruktur, ihrer Topologie und den resultierenden Materialeigenschaften. Darüber hinaus werden physikalische Vernetzungskonzepte, Selbstheilungs- und Kristallisationsprozesse untersucht.

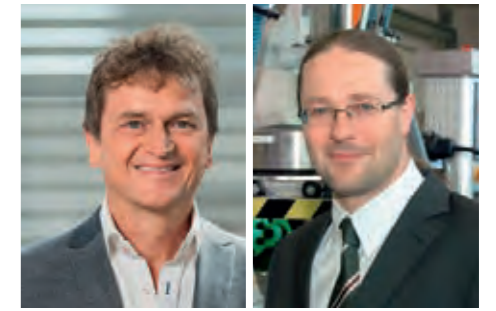
Neuartige elastische Eigenschaften können in Netzwerken mit gleitenden Netzknoten erreicht werden, bei denen die lokale Spannung durch Verschieben der Netzknoten auf den Polymerketten dynamisch verändert werden kann. Als ein besonders interessantes elastisches Element erweist sich hierbei das „Tendomer“, ein Dimer, das aus zwei verknüpften Rotaxanen besteht. Die theoretische Analyse der Deformationseigenschaften eines Tendomers zeigt eine sprunghafte Nachgiebigkeit beim Erreichen einer charakteristischen Deformation (*Physical Review E* 98 (2018) 052501).

Durch Einsatz spezifischer Markierungstechniken (Nitroxidlabeling) konnte die lokale Kettendynamik in gequollenen Polyelektrolyt-Multischichten mittels Elektronenspinresonanzspektroskopie (ESR) experimentell quantifiziert werden (*Macromolecules* 52 (2019) 2384).

Netzwerke spielen auch in lebenden Systemen eine wichtige Rolle. Hierbei sind es semi-flexible Proteinfilamente die durch Verknüpfung passive oder aktive Netzwerkstrukturen ausbilden. Es konnte gezeigt werden, dass diese Netzwerkstrukturen einen elastischen Phasenübergang bei einer kritischen Deformation zeigen können. Diese Eigenschaft konnte in Kollagen-Netzwerken experimentell nachgewiesen werden (*Physical Review Letters* 122 (2019) 188003).

Neue Anwendungsmöglichkeiten von Elastomeren und Gelen aufzuzeigen ist der Gegenstand mehrerer angewandter Forschungsprojekte am IPF.

Durch Kombination magneto-sensitiver Elastomere mit funktionstragenden Textilstrukturen wurden Möglichkeiten für die Erzeugung adaptiv hochverformbarer



Prof. Dr. Jens-Uwe Sommer Prof. Dr. Sven Wießner

Elastomerverbunde mit variabler Steifigkeit ausgelotet, die perspektivisch in Form adaptiver Greifersysteme oder als textilverstärkte Schwingungsdämpfer Einsatz finden können. Diese im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung durchgeführten Arbeiten finden ihre Fortführung im DFG-GRK 2430 „Interaktive Faser-Elastomer-Verbunde“.

Spritzgegossene elastische Zwischenschichten aus Thermoplastischen Elastomeren ermöglichen die prozessintegrierte Herstellung belastungsfähiger Metall-Kunststoff-Verbunde, deren Haftfestigkeit mittels adaptierter Prüfmethode quantifiziert werden kann (*KGK* 73 (2020) 1/2).

Mittels einer verbesserten Photostrukturierung konnten diverse Hydrogel/Enzym-Dot-Arrays auf Glas-substratoberflächen gleichzeitig aufgetragen und in unterschiedlichen mikrofluidischen Reaktionskammersystemen für multienzymatische Reaktionen unter einem kontinuierlichen Fluss etabliert werden (*Reaction Chemistry & Engineering* 2019, 4, 2141).

Aber auch Nachhaltigkeitsfragen technischer Polymer-netzwerke sind im Forschungsfokus, z. B. Recycling-aspekte für die werkstoffliche Wiederverwendung von Elastomeren in neuen Produkten. Einen Ansatz dafür bietet die kontrollierte Spaltung von Schwefelbrücken durch Sulfidmetathese, die erfolgreich in SBR-Modell-Vulkanisaten umgesetzt werden konnte (*Resources, Conservation and Recycling* 154 (2020) 104629).

Eine weitere Stärkung des strategischen Themas konnte durch Bewilligung einer DFG-Forschergruppe FOR 2811: „Adaptive Polymergele mit kontrollierter Netzwerkstruktur“ erreicht werden. ■

Methode zur Photostrukturierung von Hydrogelarrays zur Durchführung mehrstufiger Enzymreaktionen in der Mikrofluidik

Franziska Obst, Brigitte Voit, Dietmar Appelhans

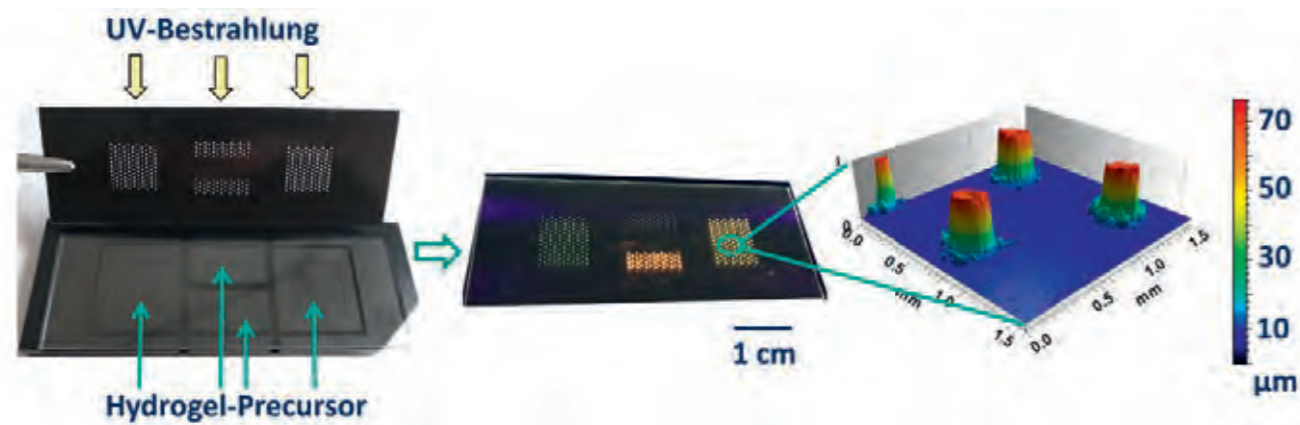


Abb. 1

Enzyme stellen für die chemische Synthese wertvolle und vielseitige Biokatalysatoren dar. Häufig werden aufgrund des im Vergleich zur chemischen Synthese mitunter geringeren Ressourcenaufwands bei der Verwendung von Biokatalysatoren die Prinzipien der „Grünen Chemie“ erfüllt. Allerdings kann die katalytische Aktivität der Enzyme durch äußere Einflüsse wie z. B. hohe Temperatur sowie Anwesenheit von Inhibitoren beeinträchtigt werden. Darüber hinaus können Enzyme je nach Art und Herstellungsmethode in einer chemischen Synthese einen deutlichen Kostenfaktor darstellen. Durch die Immobilisierung von Enzymen in oder an einer Matrix ist es möglich, sowohl die Langzeitaktivität zu steigern als auch die Enzyme nach einer Synthese vom Syntheseprodukt zu trennen und wieder zu verwenden. Im Rahmen des Projektes wurden mikrofluidische Reaktoren mit immobilisierten Enzymen entwickelt. Wird ein Substrat der Enzyme kontinuierlich durch den Reaktor gepumpt, kann dieses katalytisch zu einem Produkt umgesetzt werden. Darüber hinaus wurde eine Methode erarbeitet, um mehrstufige Reaktionen mit mehreren

räumlich getrennten Enzymen durchzuführen. Dies wurde dadurch motiviert, dass in multienzymatischen Reaktionen häufig Inkompatibilitäten zwischen den einzelnen Enzymen hinsichtlich der erforderlichen Reaktionsbedingungen bestehen oder Kreuzhemmungen durch Substrate oder Produkte der anderen Enzyme auftreten. Als Matrix für die Enzymimmobilisierung wurden vernetzte, in Wasser quellbare Polymere (Hydrogele) gewählt. Diese können durch eine UV-Strahlung initiierte Polymerisation einer Precursor-Lösung hergestellt werden. Zur Photostrukturierung der Hydrogele wurden Formen aus Kunststoff mit mehreren Kavitäten entwickelt, welche mit verschiedenen Hydrogel-Precursor-Lösungen befüllt wurden. Durch Auflegen eines Glas-Objektträgers auf die Form wurde ein dünner Hydrogelfilm (18–160 µm, je nach Form) erzeugt, der anschließend mittels Photomaske polymerisiert wurde. Im Rahmen der Arbeit wurden verschiedene Formen angefertigt, die die simultane Photopolymerisation von bis zu vier separaten Hydrogel-Arrays erlauben. Zum Nachweis der Genauigkeit wurden die verschiedenen

Hydrogele mit Fluoreszenzfarbstoffen angefärbt und die Auflösung und Größe wurde umfangreich mittels konfokaler Mikroskopie charakterisiert (Abbildung 1). Die Strukturierungsmethode ist sehr schnell und akkurat und erfordert im Gegensatz zu beispielsweise Druckverfahren keine spezielle Ausrüstung. Anschließend wurden mikrofluidische Reaktoren mit zwei Kompartimenten und drei verschiedenen im Hydrogel immobilisierten Enzymen hergestellt, welche schrittweise den Zucker Laktose und einen schwach grünen Farbstoff umsetzen und im letzten Schritt einen tiefgrünen Farbstoff erzeugen (Abbildung 2). Über die spektroskopische Messung des Farbstoffes kann der Umsatz der Reaktion charakterisiert werden. Es wurde gezeigt, dass sich die räumliche Trennung der Enzyme auf den Reaktionsumsatz auswirkt. Diese Beobachtungen wurden mittels der unterschiedlichen Konzentrationen der Zwischenprodukte der Reaktion begründet. Auf Basis dieser Entwicklungen wird gegenwärtig eine weitere dreistufige, enzymkatalysierte Reaktion in einen

mikrofluidischen Reaktor integriert. In dieser Reaktion wird ein komplexes Zuckermolekül hergestellt, welches in der Kommunikation von Zellen lebender Organismen eine tragende Rolle spielt und dementsprechend für die biologische und medizinische Forschung hochinteressant ist. Die Synthese dieses Moleküls in der Mikrofluidik mit immobilisierten Enzymen stellt eine wichtige Ergänzung zur bisherigen Forschung dar, da durch die Kompartimentalisierung Inkompatibilitäten zwischen den Enzymen umgangen werden können. ■

Projektmittelgeber

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (GRK 1865)

Kooperationspartner

- Prof. Andreas Richter, Anthony Beck, Philipp J. Mehner, TU Dresden
- Prof. Kathrin Castiglione, Michael Mertz, FAU Erlangen-Nürnberg



Abb. 2

- [1] D. Simon, F. Obst, S. Häfner, T. Heroldt, M. Peiter, F. Simon, A. Richter, B. Voit, D. Appelhans: *React. Chem. Eng.* 4, 1 (2019) 67–77.
 [2] F. Obst, D. Simon, P. J. Mehner, J. W. Neubauer, A. Beck, O. Stroyuk, A. Richter, B. Voit, D. Appelhans: *React. Chem. Eng.* 4 (2019), 2141–2155.
 [3] F. Obst, A. Beck, C. Bishayee, P. J. Mehner, A. Richter, B. Voit, D. Appelhans: *Micromachines* 11, 2 (2020), 167–183.

Konzepte für mechanosensitive Partikel und deren Integration in 4D-Strukturen

Julian Thiele, Andreas Fery, Jens W. Neubauer, Nicolas Hauck, Max J. Männel, Max Seuss

Die Analyse der Mechanik und Interaktion von Zellen untereinander sowie mit ihrer extrazellulären Matrix sind essentielle Bestandteile der Quantifizierung ihrer pathologischen oder physiologischen Veränderungen. Eine besondere Herausforderung besteht in der Detektion dieser Eigenschaften bei Zellstrukturen, die sich schnell entwickeln und verändern, wie etwa embryonales Gewebe. Physikochemisch und mechanisch definierte mikroskopische Hydrogelpartikel (Mikrogele) können hier einen bedeutsamen Beitrag leisten. Im Bereich der Mechanobiologie ermöglichen maßgeschneiderte Sensorpartikel – eingebracht in Zellgewebe – die kontinuierliche

Überwachung und sogar Quantifizierung sowie Verteilungsanalyse von Kräften und Spannungen basierend auf der Verformung der Hydrogelpartikel (J. Mater. Chem. B 2018, 6, 6245). Eine wesentliche Fortentwicklung der Verwendung von Hydrogelen als mechanosensitive Sensorpartikel stellt die Etablierung eines Konzeptes dar, welches Veränderungen der Mikrogeleform aufgrund von mechanischer Beanspruchung bzw. Deformation mittels eines einfach auslesbaren optischen Signals sichtbar macht (Abbildung 1; ACS Appl. Mater. Interfaces 2019, 11, 26307). Hierzu wurden Mikrogele aus biokompatiblen Polyethylenglykol (PEG) mittels Tropfenmikrofluidik entwickelt.

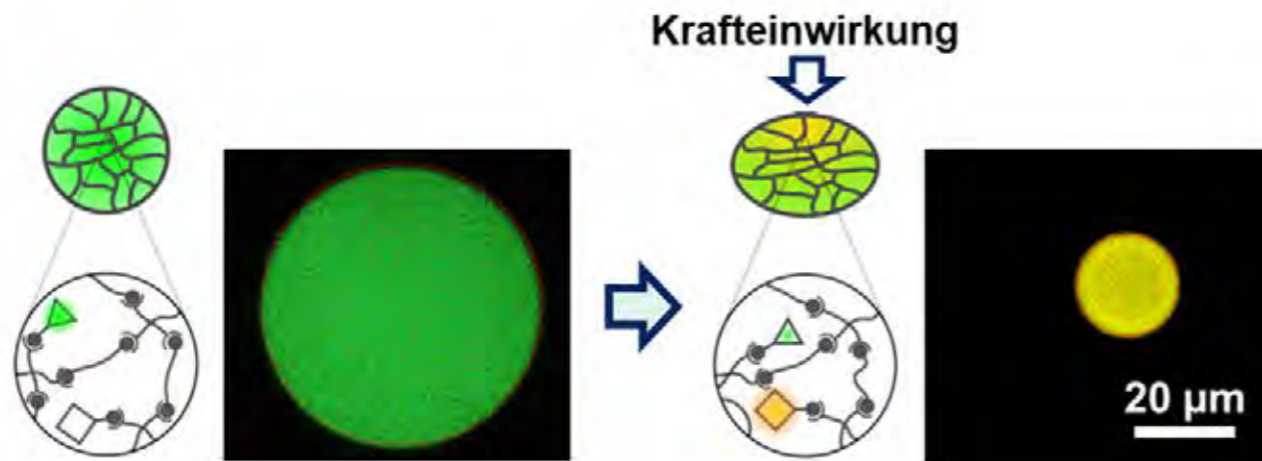


Abb. 1 Konzept zu mechanosensitiven Hydrogelpartikeln. Fluorophore (Donorfarbstoff Alexa Fluor 488 und Akzeptorfarbstoff Alexa Fluor 555) sind an vier-armige PEG-basierte Hydrogelvorstufen gekoppelt, welche durch einen weiteren PEG-Präkursor mittels Michael-Additionsreaktion zwischen Thiol- (SH) und Maleimid-Gruppen (Mal) vernetzt werden. Diese Reaktion findet in Mikrotröpfchen statt, welche durch Vernetzung ihres reaktiven Inhalts in ein Hydrogelpartikel ähnlicher Größe übergehen. Mittels lokaler Krafteinwirkung oder globale Deformation (Fluoreszenzmikroskopie-Aufnahme, rechts), beispielsweise durch Herabsetzen der Umgebungsluftfeuchtigkeit, kann eine FRET-basierte Fluoreszenzverschiebung der Hydrogelpartikel provoziert werden.

Durch Anbindung von Donor- und Akzeptor-Farbstoffen für Förster-Resonanzenergietransfer (FRET) an die definierte Polymernetzwerk-Architektur konnten Hydrogel-Deformationen als Verschiebung des emittierten Fluoreszenzsignals detektiert werden. Trocknungs-/Quellungs-Experimente der FRET-Mikrogele zeigten, dass *globale* Polymernetzwerk-Deformationen eine reversible Fluoreszenzverschiebung im gesamten Mikrogelevolumen von grün (gequollen) nach gelb (getrocknet) induzierten. Eine Charakterisierung aus kombinierter Konfokal- und Rasterkraftmikroskopie zeigte darüber hinaus, dass auch lokale Deformationen detektierbar sind (Abbildung 2). Langfristig wird dieses auf einzelnen Mikrogele basierende Konzept auf hierarchisch komplexe Hydrogelstrukturen mittels additiver Fertigung ausgedehnt werden (vgl. Leibniz-Applikationslabor und ERC StG „3DPartForm“). ■

Projektmitelgeber

- Elitenetzwerk Bayern
- Volkswagen-Stiftung „Experiment!“
- BMBF: Biotechnologie 2020+ Strukturvorhaben „Leibniz Research Cluster“
- SFB / TRR 225 “From the fundamentals of biofabrication to functional tissue models”
- DFG: GRK 1865 „Hydrogel-basierte Mikrosysteme“
- DFG: Sachbeihilfe „Genexpression in Mikrogele“
- Ab 2020: ERC Starting Grant-Projekt „3DPartForm“

Kooperationspartner

- Dr. Salvatore Girardo, CRTD, Zentrum für Regenerative Therapien TU Dresden
- Dr. Gheorghe Cojoc, BIOTEC, Biotechnologisches Zentrum der TU Dresden

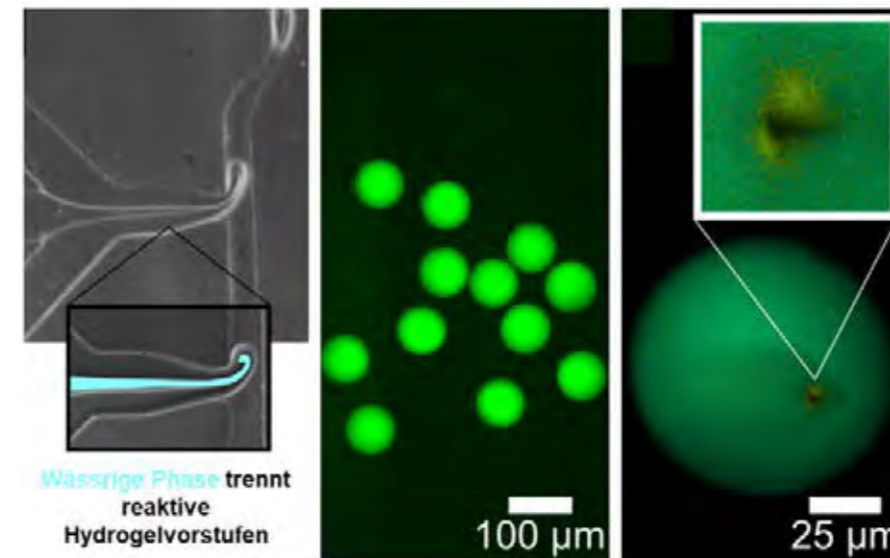


Abb. 2 Links Aufnahme einer T-förmigen Mikrokanalkreuzung zur Emulsionsbildung. Eine zusätzliche wässrige Phase (blau) trennt die reaktiven Hydrogelvorstufen, um eine vorzeitige, unkontrollierte Gelierung zu verhindern. Mitte Aufnahme von mechanosensitiven Hydrogelpartikeln, wobei nur der Donor-Farbstoff Alexa Fluor 488 angeregt wurde. Rechts Konfokalmikroskopie-Aufnahme eines mechanosensitiven Hydrogelpartikels. Eine AFM-Spitze drückt in die Hydrogelmatrix, wobei diese mechanische Kompression eine Fluoreszenzverschiebung von grün nach gelb durch FRET verursacht.

- [1] J. W. Neubauer, N. Hauck, M. J. Männel, A. Fery, J. Thiele: ACS Appl. Mater. Interfaces 11 (2019) 26307–26313.
 [2] S. Girardo, N. Traeber, K. Wagner, G. Cojoc, C. Herold, R. Goswami, R. Schluessler, S. Abuhattum, A. Taubenberger, F. Reichel, D. Mokbel, M. Herbig, M. Schuermann, P. Mueller, T. Heida, A. Jacobi, J. Thiele, C. Werner, J. Guck: J. Mater. Chem. B 6 (2018) 6245–6261.

Dynamics of spin-labeled polyacid chain segments in polyelectrolyte multilayers

Uwe Lappan, Cindy Rau, Carolin Naas, Ulrich Scheler

Polyelectrolyte multilayers (PEMs) are interesting objects of fundamental research but also of high practical relevance. The internal structure of PEMs has been widely examined, but little work has been done so far to correlate the properties of the PEMs with the chain dynamics. We have shown that dynamics in PEMs and polyelectrolyte complexes (PECs) can be studied using spin-label electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy [1-4]. The polyelectrolytes used are diamagnetic and thus do not give EPR signals. The absence of background signals provides the opportunity to apply EPR as a selective probe technique, whereby stable nitroxides are covalently linked to macromolecules. Rotational dynamics of such spin labels on time scales between 10 ps and 1 μ s can be characterized by CW EPR spectroscopy, simulating the line shape. The dynamics of the spin labels is influenced by the restricted motion of the side group bearing the label and local polymer backbone motions at the point of the covalent attachment of the label. In the recent study, a nitroxide spin label has been covalently attached to the weak polyelectrolyte poly(ethylene-*alt*-maleic acid) (P(E-*alt*-MA)) to study the rotational dynamics of the polyacid backbone in swollen PEMs formed from P(E-*alt*-MA) and the oppositely charged

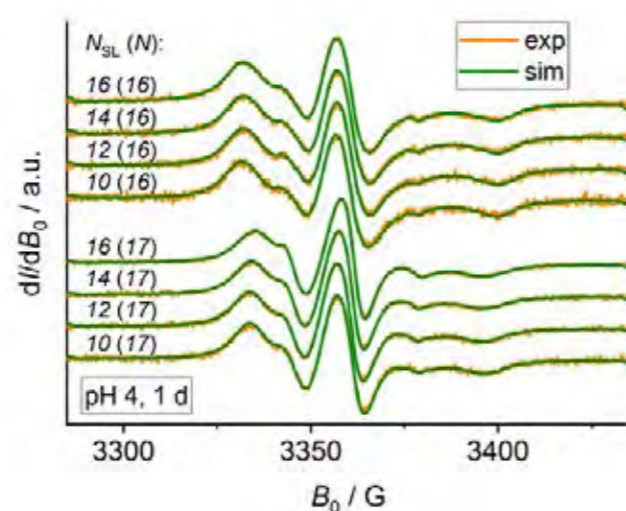


Fig. 1 Experimental and simulated EPR spectra of PAH/P(E-*alt*-MA) multilayers with SL-P(E-*alt*-MA) placed in a selected layer (N_{SL}). The PEMs were prepared and swollen in buffer solution of pH 4, and measured 1 day after preparation. The number of layers N in the PEMs is indicated in brackets.

weak polycation poly(allylamine hydrochloride) (PAH) by EPR [4]. In a first series of experiments, the growth of PEM films on the inner surface of glass capillaries has been monitored by quantitative EPR using the SL-P(E-*alt*-MA) for the preparation of every polyanion layer. A parabolic growth of the multilayer films with up to 16 layers was found. In a second series of experiments, the

strength of the spin-label technique was exploited, i.e., the spin-labeled polyacid has been used as a reporter molecule for the selective study of the dynamics in the PEMs. Multilayers of PAH/P(E-*alt*-MA) with 16 and 17 layers, respectively, were prepared where the SL-P(E-*alt*-MA) has been selectively placed in a single layer. The segmental rotational mobility of the spin-labeled

polyacid and the internal rotation of the spin label have been determined by simulation of the line shape of experimental CW EPR spectra (Fig. 1). The rotational diffusion coefficient R_S characterizing the rotational mobility of the polyacid backbone is higher for PEMs terminated with PAH compared to PEMs with P(E-*alt*-MA) in the terminating layer (Fig. 2). A pronounced odd-even effect has been observed, i.e., the rotational dynamics of the P(E-*alt*-MA) backbone in the PEMs is influenced by the chemical nature of the polyelectrolyte in the terminating layer. It is largest for the layer at or close to the surface and reduced for layers in the bulk of the PEMs. As our results demonstrate, spin-label EPR is a powerful tool for the investigation of the polymer chain dynamics in PEMs. ■

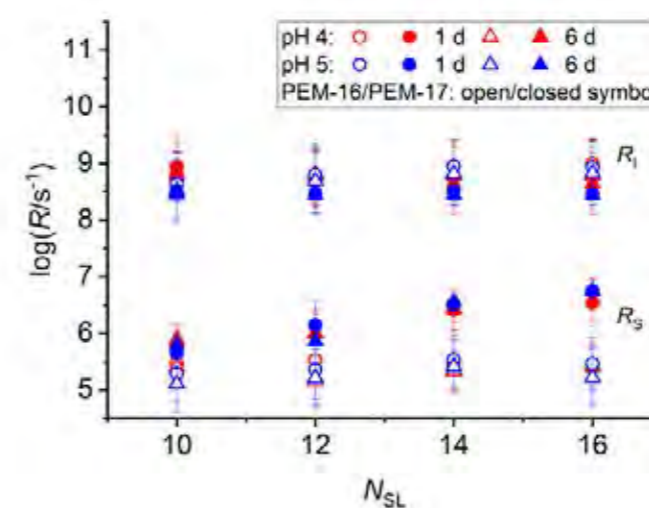


Fig. 2 Rotational diffusion coefficients R_1 and R_5 for PAH/P(E-*alt*-MA) multilayers with SL-P(E-*alt*-MA) placed in a selected layer (N_{SL}), prepared and swollen in buffer solution of pH 4 and pH 5, respectively, and measured 1 day and 6 days after preparation as a function of N_{SL} .

Sponsor

Deutsche Forschungsgemeinschaft (LA 1987/5-1)

- [1] U. Lappan, B. Wiesner, U. Scheler: *Macromolecules* 48 (2015) 3577–3581.
- [2] U. Lappan, B. Wiesner, U. Scheler: *Macromolecules* 49 (2016) 8616–8621.
- [3] U. Lappan, U. Scheler: *Macromolecules* 50 (2017) 8631–8636.
- [4] U. Lappan, C. Rau, C. Naas, U. Scheler: *Macromolecules* 52 (2019) 2384–2392.

Magneto-adaptive Faser-Elastomer-Komposite

Muhammad Tahir, Sven Wießner

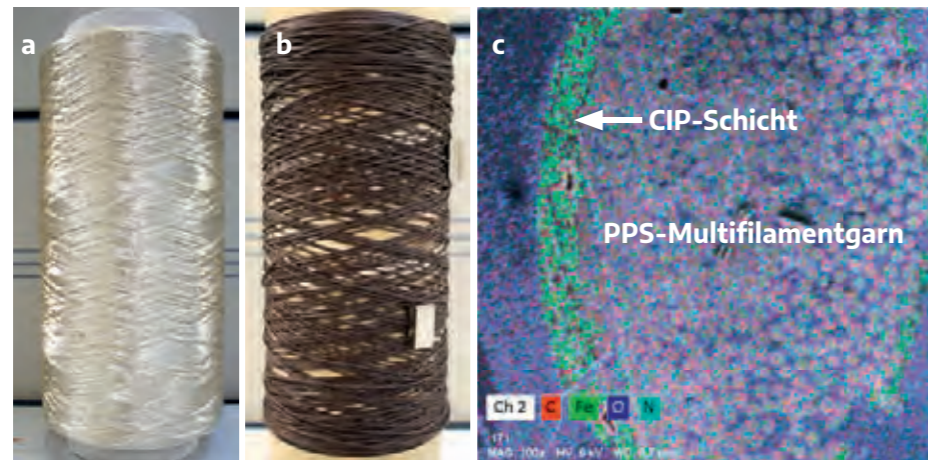


Abb. 1 (a) PPS-Garn unbeschichtet, (b) PPS-Garn beschichtet mit RFL-CIP-Dipp (c) SEM-EDX-Aufnahme des RFL-CIP beschichteten PPS-Garns zeigt die CIP-Verteilung.

Elastomere werden in hochbeanspruchten technischen Produkten, z. B. Reifen, Antriebsriemen, Schwingungsdämpfern oder Luftfedern eingesetzt. Neben diesen konventionellen Anwendungen ist die Verwendung sog. Smarter Elastomere in intelligenten Strukturen seit einigen Jahren Gegenstand intensiver Grundlagenforschung und erster Anwendungsstudien. Ein Beispiel sind sog. magnetorheologische Elastomere (MRE), mit denen sich z. B. adaptive Dämpfer mit magnetisch schaltbarer Steifigkeit realisieren lassen. Ein zweiter Ansatz besteht in der Erzeugung formvariabler Strukturen durch Integration thermisch aktivierbarer Komponenten, z. B. Formgedächtnislegierungsdrähten (FGL), in Elastomer-Textil-Verbunde. Im AiF-IGF-Vorhaben 19486 BG „Magneto-adaptive Elastomerkomposite“ wurden werkstoffliche sowie kautschuk- und textiltechnologische Ansätze erforscht, um eine Kombination beider Smart Material-Prinzipien auf Bauteilebene zu ermöglichen, diese in Form von Kompositstrukturen mit adaptiver Steifigkeit und kontrollierbarer Verformbarkeit umzusetzen und deren adaptive Eigenschaften zu charakterisieren und simulativ abzubilden.

Als aktive Komponenten wurden Carbonyleisenpartikel (CIP) und FGL-Drähte auf NiTi-Basis verwendet. Als Elastomermatrix diente Akrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) und für die Verstärkung kamen Hochleistungsfasern aus Polyphenylsulfid (PPS) und daraus hergestellte Flachgestricke zum Einsatz. Um eine anforderungsgerechte Anbindung der textilen Verstärkungsstruktur an das Elastomer zu gewährleisten, wurde die Garnoberfläche mittels Resorcinol-Formaldehyd-Latex Technologie (RFL) modifiziert, und die Verbundhaftung durch Garnauszugsversuche verifiziert. Die Beschichtungstechnologie wurde angepasst, um die magnetisch aktiven CIP-Partikel direkt in die Beschichtung des Garns zu integrieren. Der dafür entwickelte kontinuierliche Verfahrensaufbau gewährleistet eine gleichmäßige Verteilung der CIP-Partikel in der Beschichtung (Abb. 1). Derart RFL-CIP-beschichtete PPS-Garne gewährleisten die notwendige hohe magnetische Flussdichte durch die textilverstärkte adaptive Kompositstruktur bei hoher Grenzflächenhaftung.

Aus der mit CIP additvierten NBR-Kautschukmatrix und der beschichteten Textilstruktur wurden Verbunde im Pressvulkanisationsverfahren (mit und ohne Zuschaltung eines externen Magnetfeldes während der Vulkanisation) hergestellt und anschließend hinsichtlich der magnetfeldinduzierten reversiblen Steifigkeitsänderung (Rheometer mit Magnetmesszelle) charakterisiert. Der sich bei schrittweiser Erhöhung der Magnetfeldstärke ändernde Speichermodul (Schalteffekt) ist in Abbildung 2 dargestellt, wobei die durch dissipative Effekte auftretende Temperaturerhöhung bei der Quantifizierung des Schalteffektes berücksichtigt werden muss.

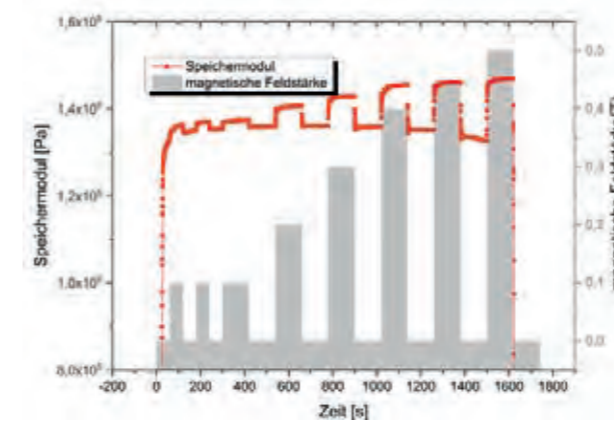


Abb. 2 Schaltbarkeit des Speichermoduls eines magnetorheologischen NBR-Komposits (15 Vol% CIP) bei steigender magnetischer Feldstärke (Messung am DIK Hannover)

Um die CIP-haltigen und textilverstärkten Elastomer-Komposite mit aktivierbarer Verformbarkeit auszurüsten, wurden die NiTi-basierten FGL-Drähte textiltechnologisch in PPS-Flachgestricke integriert. Da die Schalttemperatur (Umwandlungstemperatur Martensit-Austenit) des FGL-Materials mit 95 °C weitaus geringer als die üblichen Vulkanisationstemperaturen ist, wurde ein bei 75 °C vernetzendes NBR-Compound entwickelt, das eine Sandwich-Verbundherstellung ohne

ungewünschte Aktivierung des FGL-Schalteffektes während der Pressvulkanisation ermöglicht. Die mittels Stromfluss initiierte Verformung der Sandwich-Verbunde wurde erfolgreich getestet (Abb. 3).

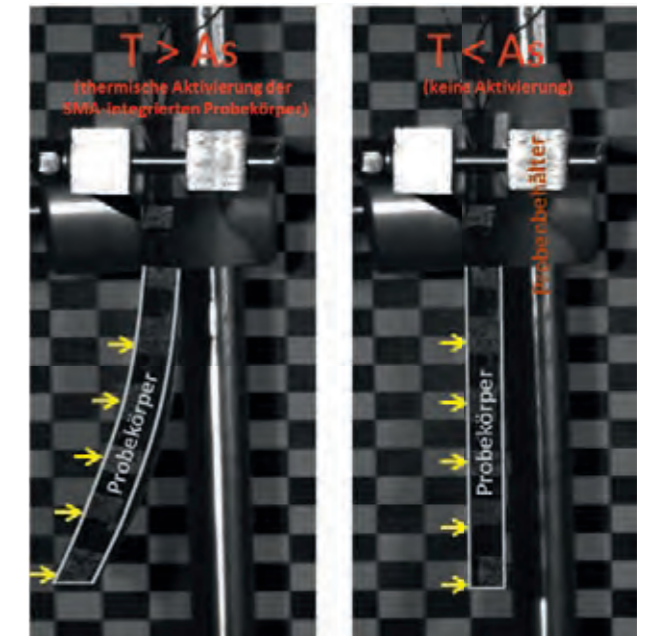


Abb. 3 FGL-integrierter textilverstärkter Sandwich-Verbund im Aktuierungsversuch. Oberhalb der Schalttemperatur (links) biegt sich die Struktur und kehrt bei Abkühlung in ihre Ausgangslage zurück (rechts).

Projektmittelgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, AiF-IGF-Vorhaben 19486 BG „Entwicklung magneto-sensitiver, adaptiver Funktionsbauteile auf der Basis elastomerer Faserverbundwerkstoffe“

Kooperationspartner

- Prof. C. Cherif, Dr. R. Hickmann, Q. Bollengier, F. Lohse, Institut für Textilmaschinen und textile Hochleistungswerkstofftechnik, TU Dresden
- Prof. M. Klüppel, D. Simic, Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e.V. (DIK), Hannover

[1] Abschlussbericht IGF-Vorhaben 19486 BG „Magneto-adaptive Elastomerkomposite“.

[2] T. Götze, R. Hickmann, J. Storm, S. Wießner, C. Cherif, M. Kaliske: KGK (2019), 35–43.

[3] T. Götze, R. Hickmann, A. Hürkamp, S. Wießner, G. Heinrich, O. Diestel, C. Cherif, M. Kaliske: KGK (2015) 41–45.

Recycling of waste tire rubber by mechano-chemical devulcanization

Amit Das, Sakrit Hait, Anik Kumar Ghosh, Sven Wießner

Decreasing resources and rising price of crude oil have become a serious concern for the availability of feed-stock for production of synthetic rubber. Among different other synthetic rubbers a large amount (~ 74 %) of styrene butadiene rubber (SBR) is used in the tire industry due to its low rolling resistance for reduced fuel consumption and as a result less CO₂ emissions. As a fallout each year approximately 800 million (~ 10 million tons) of scrap tires are produced across the globe. Developed as well as developing countries are paying great attention to the disposal of these huge amounts of discarded tires. Because of existing legislations the landfill and use for energy recovery is largely impossible. Due to the crosslinked structure of vulcanized tire rubbers and the presence of stabilizers, reinforcing fillers, and other additives these materials are also not recyclable through natural biological degradation, hydrolyzation or decomposition, and also re-melting (as it is a potential way of materials recycling for thermoplastics) is hindered due to the chemical cross-links present in the rubber. Furthermore, since millions of scraped tires are discarded annually, neither pyrolyzation nor

incineration techniques are advisable because both are harming the environment. Fig. 1 indicates the most efficient waste management hierarchy under environmental and economical aspects. It is obvious, that the most efficient rubber waste management route or the highest level of the hierarchical ladder is transforming used rubber goods into products having comparable properties with that of the virgin rubber products. This can be achieved by a tailored mechano-chemical devulcanization process with the target to induce selective scission of cross-links while not severely affecting the rubber molecular structure otherwise. In our previous research we have focused on the simultaneous devulcanization and chemical functionalization processes of waste styrene butadiene rubber vulcanizates (SBR) using a reactive mechanical mixer and a sulphide based multifunctional devulcanizing agent. The compounds prepared with the developed method were further reinforced with nano-silica and finally molded and re-vulcanized to prepare cross-linked rubber composites. The curing and processing characteristics and mechanical performance measures

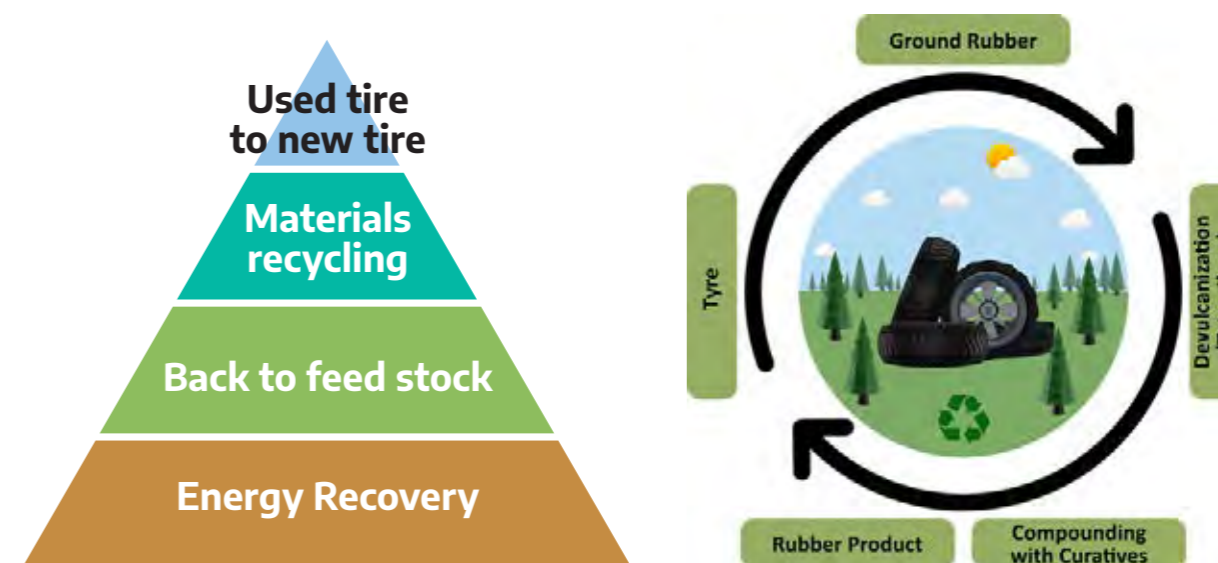


Fig. 1 Waste management hierarchy and schematic presentation of cradle-to-cradle approach to waste tires and development of silica based green tire composites

were compared with conventional silica based green tire rubber formulations. The extent and quality of the devulcanized rubber were monitored through the measurement of sol content, inherent viscosity of sol rubber, and the degree of devulcanization as a function of initial crosslink density. By our developed method it was possible to provide devulcanized rubber while restoring the curing behavior and other essential processability measures. The devulcanized rubber composites exhibit very reasonable mechanical properties, such as ~ 11 MPa tensile strength, ~ 26 MPa tear strength combined with elongation at break values as much as 450 %. These properties are comparable with those of virgin

rubber composites of identical formulation. Surprisingly, the higher storage modulus and lower $\tan \delta$ of the devulcanized SBR-silica-composite as compared to the virgin sample confirms a magnificent dynamic mechanical performance of the recycled material, i.e. less dissipation losses during dynamic deformation. This work may pave a new route for the reuse of waste tire rubber in new tire production. ■

Cooperation

Professor D. De, Chemistry Department, MCKV Institute of Engineering, Liluah, Howrah 711204, India

- [1] J. Ghosh, S. Hait, S. Ghorai, D. Mondal, S. Wießner, A. Das: Resources, Conservation and Recycling 154 (2020) 104629.
 [2] S. Ghorai, D. Mondal, S. Hait, A. K. Ghosh, S. Wiessner, A. Das, D. De: ACS Omega, 4 (2019) 17623–17633.
 [3] S. Ghorai, A. K. Jalan, M. Roy, A. Das, D. De: Polymer Testing 69 (2018) 133–145.

Metall-Kunststoff-Verbunde mit einer elastischen Zwischenschicht und die Prüfung der Verbunde im Blockscherversuch

Matthias Bräuer, Dieter Lehmann[†], Katharina Lönnecke, Konrad Schneider, Marcel Tuschla, Carola Kutschera, Frieder Pursche, Holger Scheibner, Andreas Scholze

[†] im Dezember 2018 verstorben

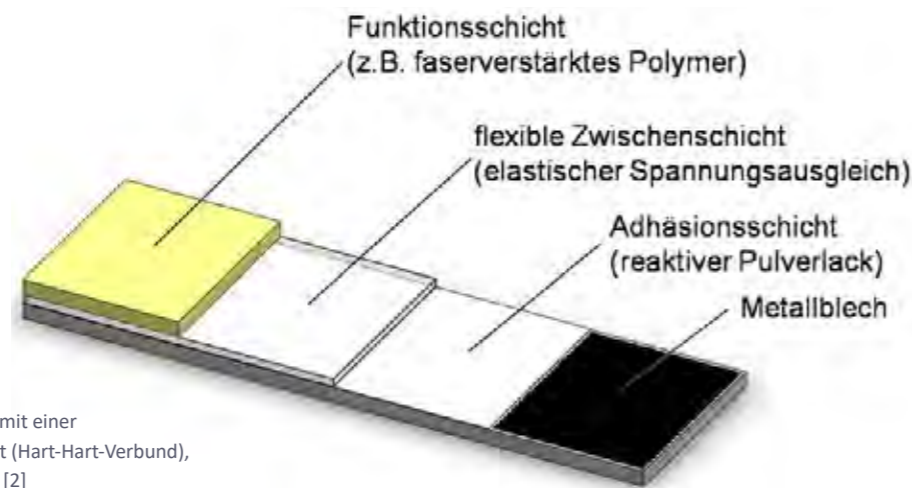


Abb. 1 Metall-Kunststoff-Verbund mit einer elastischen Zwischenschicht (Hart-Hart-Verbund), Abbildung aus Bräuer et al. [2]

Metall-Kunststoff-Verbunde (MKV) mit Thermoplasten (zum Beispiel, PA, PC, PET, PBT, PSU, PPS) weisen sehr oft eine ungenügende Verbundhaftung auf. Dies liegt zum einen an der Unverträglichkeit der Komponenten, andererseits können beim Abkühlprozess Schwindungsspannungen eingefroren werden. Gerndorf und Steiner schlagen deshalb den zusätzlichen Einbau einer spannungsabbauenden dämpfenden Zwischenschicht aus einer elastischen niedermoduligen Weichkomponente vor [1]. Es werden MKV aus einem Stahlblech, einer Adhäsionsschicht aus einem Uretdionpulverlack, einer elastischen Zwischenschicht aus einem thermoplastischen Polyurethan (TPU ELASTOLLAN) und einer Funktionsschicht aus Polyamid6/Glasfaser entsprechend der Abbildung 1 [2] hergestellt [3, 4]. Die beschichteten Bleche werden in einem Pressprozess mit der TPU-Zwischenschicht versehen. Die TPU-Streifen werden vorher durch Folienextrusion oder Spritzgießen hergestellt. Anschließend wird im Einlegeverfahren die Funktionsschicht aus

PA6/GF aufgespritzt. Es werden erstmalig Verbunde mit unterschiedlichen Zwischenschichtdicken zwischen 0,08 und 1,82 mm hergestellt [5].

Zur quantitativen Charakterisierung der Verbundfestigkeit der MKV unter Scherbelastung wird in einem Blockscherversuch die Schubspannung τ beim Versagen des Verbundes (Scherfestigkeit) ermittelt [6]. Zur Durchführung des Scherversuchs wird der Verbund in einer Vorrichtung geführt. Die bisherige Vorrichtung hatte den Nachteil, dass sich, insbesondere bei den relativ großen Schichtdicken der weichen Zwischenschicht und der damit verbundenen großen Scherwege im Laufe des Schervorganges, die Kraftangriffsrichtung ändert, wodurch keine reine Scherbelastung der Probe gewährleistet ist, welche eine Voraussetzung für eine reproduzierbare Bestimmung der Scherfestigkeit ist. Außerdem wurde eine Abhängigkeit der Ergebnisse von der Prüfkörperhöhe festgestellt. Eine weiterentwickelte Vorrichtung, siehe Abbildung 2, wurde konzipiert, aufgebaut und

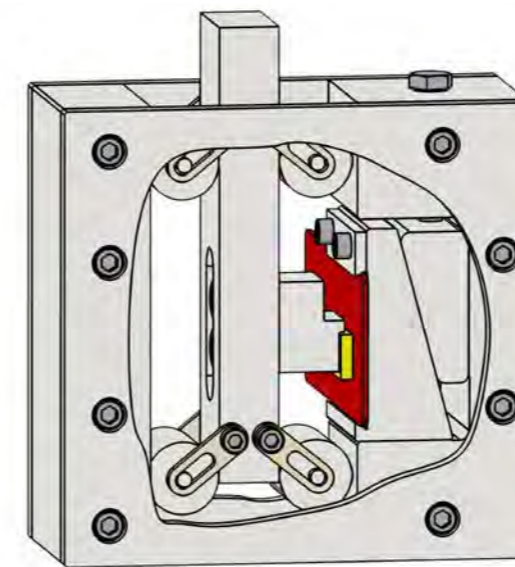


Abb. 2 Skizze der Eigenbauvorrichtung für den Scherversuch nach Schneider, elastische Zwischenschicht zwischen der roten Grundplatte (Metallblech) und der gelben Funktionsschicht, Abbildung aus Bräuer et al. [5]

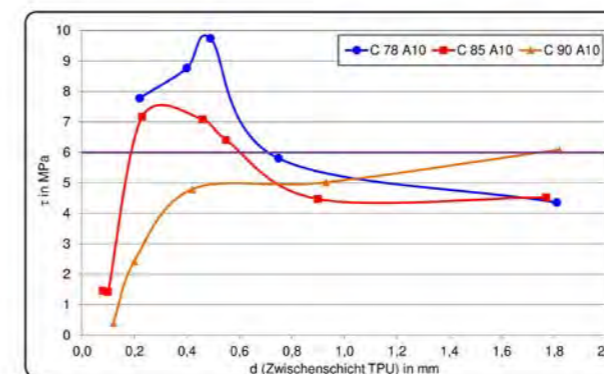


Abb. 3 Scherfestigkeit τ für Hart-Hart-Verbunde mit einer elastischen Zwischenschicht aus TPU unterschiedlicher Dicke, Abbildung aus Bräuer et al. [5]

erprobt, die diese Einflussgrößen weitgehend eliminiert. Ein Abkippen der Probe während des Schervorganges soll konstruktiv ausgeschlossen werden. Realisiert wird dies dadurch, dass die gescherte Komponente durch eine Rollenführung in einem sehr steifen Rahmen gehalten wird. Die Abhängigkeit der Scherfestigkeit von der jeweiligen TPU-Zwischenschichtdicke wird für drei TPU-Typen unterschiedlicher Härte im Diagramm in Abbildung 3 [5] gezeigt. Die Scherfestigkeit weist in Abhängigkeit von der Zwischenschichtdicke eine Abhängigkeit mit einem Maximum zwischen 0,3 und 0,5 mm auf; Ausnahme sind die Verbunde mit dem harten TPU C90A. Dünnere Zwischenschichten können die Funktion des Spannungsabbaus nicht erfüllen. Deshalb fallen die Scherfestigkeiten vom Maximum hin zu kleineren Zwischenschichtdicken ab. Bei ansteigender Dicke der elastischen Zwischenschicht nach dem Maximum der Scherfestigkeit kommt es infolge einer zunehmenden Deformation der Zwischenschicht zu einer Mixed-Mode-Belastung, was ebenfalls zu abnehmenden Scherfestigkeiten führt. ■

- [1] G. Steiner und R. Gerndorf: Kunststoffe 94 (2004) 7, 83.
- [2] M. Bräuer, M. Edelmann, L. Häußler und I. Kühnert: Mat.-wiss. u. Werkstofftechn. 43 (2012) 6, 534.
- [3] M. Bräuer, M. Edelmann, I. Kühnert und K. Schneider: Polymerwerkstoffe 2010, Halle/Saale, 15–17. September 2010, 213.
- [4] D. Lehmann, M. Bräuer, M. Gedan-Smolka, I. Kühnert und K. Schneider: Konstruktion 66 (2014) 5, 5.
- [5] M. Bräuer, D. Lehmann, K. Lönnecke, V. Reichert und K. Schneider: KGK 73 (2020), 1–2, 24–30.
- [6] ISO 13445:2003 bzw. EN ISO 13445:2006, DIN EN ISO 13445:2006-09.

Tendomers – force sensitive bis-rotaxanes with jump-like deformation behavior

Toni Müller, Jens-Uwe Sommer, Michael Lang

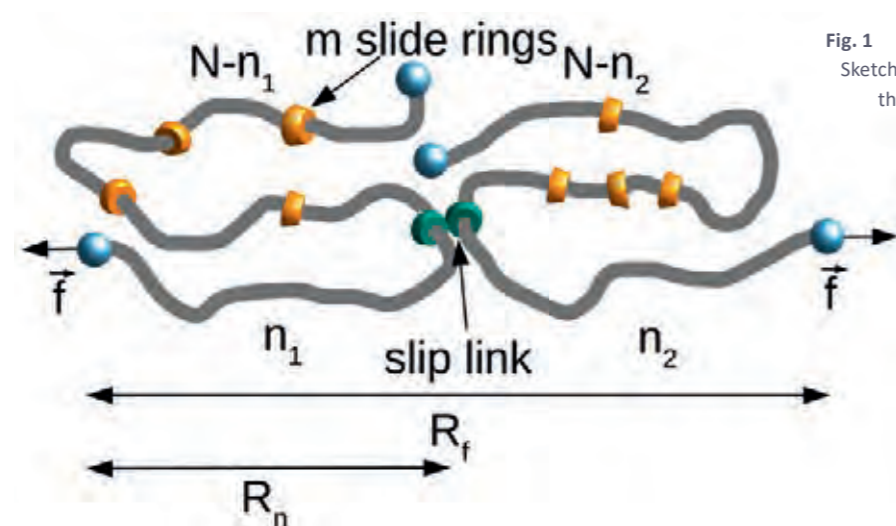


Fig. 1 Sketch of a tendomer. The blue beads indicate the stopper molecules at the ends of linear chains with N segments. The first slide ring of the two rotaxanes are linked together and form a slip-link. A pull on the adjacent stopper molecules compresses the available space to $N-n$ segments for the m slide rings on each rotaxane.

Rotaxanes are dumbbell shaped molecules where small cyclic molecules (“slide rings”) are permanently threaded onto a comparatively thin molecular chain between both bulky ends of the molecule. When cross-linking the slide rings of a solution of rotaxanes, so called “slide ring” gels are formed [1], which show unique physical properties: Swelling degrees of up to 24000 times the volume of the gel have been reached and uniaxial deformations of more than 20 times the original length of the material were achieved [2]. But in contrast to other super-soft gels, these materials are rather robust with a high fracture stress, since the polymer backbone

can slide through the slide-rings and redistribute stress along the network structure. In a recent work [3], we have studied “tendomers”, which are a pair of rotaxane molecules that are linked by a covalent bond connecting only the very first slide rings of two rotaxanes, see Figure 1, which form a slip-link. Upon deformation, chain segments of the pending chain ends are pulled through the slip link, which confines the slide rings to smaller sections of the rotaxane, see Figure 2 for illustration. Gels can be constructed with properties that might be even superior to slide ring gels by linking the pulled chain ends to multi-valent junctions [3].

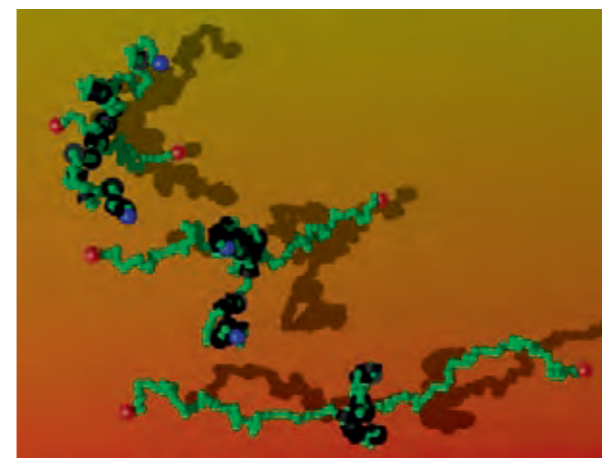


Fig. 2 Simulation snapshots of tendomer deformation. The black cylinders are the slide rings, the PEG chains are shown in green, and the red and blue spheres are the stopper molecules at the chain ends where the force (red) or no force (blue) is applied.

We have simulated the deformation of single tendomers to compare with the exact analytical solution of this system. The latter can predict the tensile properties of tendomers in the case of ideal chain statistics, see Figure 3: For low applied force f , there is a linear force extension relation corresponding to the behavior of ideal chains. In this case the available chain section for deformation is small, if a large number of slide rings, m , reside on the rotaxanes. When reaching a stall force, a quick increase in the chain extension, R_f , is observed within a narrow range of applied forces. This increase sharpens for larger values of m , and shifts to larger forces. For forces clearly larger than the stall force, the force extension curves corresponds again to the finite extensibility regime of the corresponding linear chains.

With tendomers, it may be possible to construct polymer gels that reversibly switch between high and low modulus regimes within the diffusion time of the slide rings along the polymer backbone (typically below one second). Other elastomers that show a significant strain softening behavior make use of reversible bonds, but

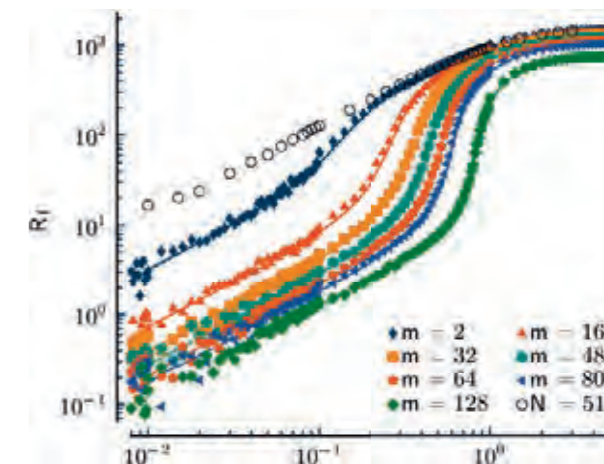


Fig. 3 Deformation behavior of tendomers as a function of the number m of slide rings. The symbols display the simulation results and the solid lines belong to the exact analytical solution. The open symbols display the reference case of a corresponding linear chain. The average end-to-end distance between the red beads of Figure 2, R_f , is shown as a function of the applied force (in units of kT per unit length, where k is the Boltzmann constant and T the absolute temperature).

there, the recovery time is of order minutes to days [4]. Another prospect for the tendomer architecture is that rotaxanes with a different density of slide rings along the polymer backbone could be combined to yield multi-step deformation curves [3]. First analytical calculations show also that it should be possible to construct gels with even a better ultimate performance than conventional slide ring gels regarding the maximum extension and the maximum swelling capacity. These points are addressed in our current research. ■

Sponsor

DFG Project LA2735/5-1

- [1] Y. Okumura, K. Ito: *Advanced Materials* 2001, 13, 485–487.
- [2] K. Ito: *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 2017, 65, 326–329.
- [3] T. Müller, J.-U. Sommer, M. Lang: *Soft Matter* 15 (2019) 3671–3679.
- [4] J.-Y. Sun et al.: *Nature* 2012, 489, 133–136.

Scaling theory for critical behavior in fiber networks

Abhinav Sharma

Disordered filamentous networks are ubiquitous in biology. One of the most important characteristics of such networks is the coordination number or average connectivity (z). Networks with only central force interactions are unstable towards small deformation if the average connectivity is below the threshold value of (z) = $2d$, where d is the dimensionality. This threshold is referred to as the isostatic point at which the number of degrees of freedom are just balanced by the number of constraints. As the average connectivity increases beyond $2d$, the network undergoes a phase transition marked by a continuous increase in the elasticity [1].

In a biological context, the average connectivity is almost always below the isostatic threshold. Filamentous networks typically fall in two categories, those in which network formation occurs via branching and those where crosslinking proteins connect two distinct filaments. We recently showed that sub-isostatic networks undergo a transition from floppy to rigid as a function of shear strain γ [2]. This nonlinear transition was

identified as a line of critical points characterized by a z -dependent threshold $\gamma_c(z)$, as sketched in Fig. 1. Above this strain threshold, the differential or tangent shear modulus $K = d\sigma/d\gamma$ scales as a power law in strain, with $K \sim |\gamma - \gamma_c|^f$. Introducing bending interactions with rigidity κ between nearest neighbor bonds stabilizes sub-isostatic networks below the critical strain, leading to $K \sim \kappa$ for $\gamma < \gamma_c$. Both of these regimes are captured by the scaling form $K \approx |\gamma - \gamma_c|^f G \pm (\kappa/|\gamma - \gamma_c|^\phi)$ in which the branches of the scaling function $G \pm$ account for the strain regimes above and below γ_c . This scaling form was also shown to capture the nonlinear strain stiffening behavior observed in experiments on reconstituted networks of collagen, a filamentous protein that provides mechanical rigidity to tissues.

In order to gain a deeper theoretical understanding of the mechanical critical behavior in such generic networks, we developed a scaling theory. Using a real-space renormalization approach, we determined relations between the critical exponents governing the transition, which we verified using numerical simulations of

lattice-based and packing-derived fiber networks [3]. We derived a hyperscaling relation that relates the exponent f with the spatial dimensionality as $f = d\nu - 2$, where ν is the exponent of the correlation length. Moreover, the theory predicts the exponent for the divergence of strain fluctuations as $f - \phi$ which shows excellent agreement with the numerical simulations (see Fig. 2).

Interestingly, for the subisostatic, strain-controlled transition, we observe that simulations of both triangular networks and packing-derived networks exhibit consistent non-mean-field exponents. Our study

suggests that the upper critical dimension for fiber networks is $d_u > 2$, in contrast with jammed networks at the isostatic point. Our observations suggest that non-mean-field behavior might be ubiquitous in subisostatic networks, irrespective of the local network structure.

Our future efforts will be directed to develop theory for the dynamical behavior and design experiments for the same. ■

Cooperation

Prof. Fred MacKintosh, Rice University, Texas, USA

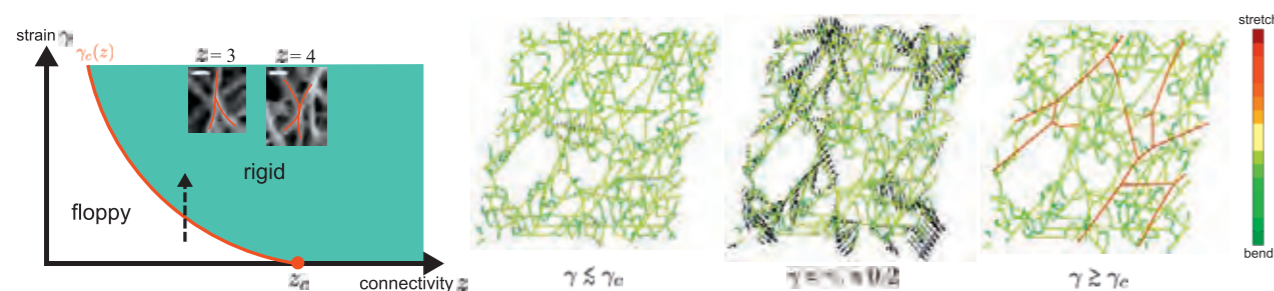


Fig. 1 At zero strain athermal fibrous networks undergo a continuous transition from floppy to rigid at the isostatic threshold $z = z_c$. This connectivity threshold shifts to lower values for networks under shear strain γ . This threshold γ_c defines a line of continuous transitions. Inset shows SEM images of reconstituted collagen networks with 3-fold and 4-fold connectivities. During the transition, there are divergent non-affine strain fluctuations at the critical strain (right panel).

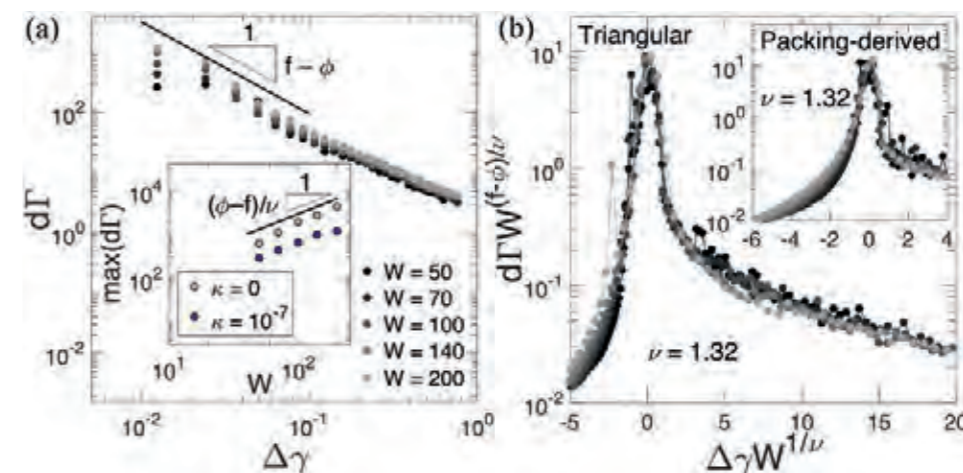


Fig. 2 Nonaffinity, $\delta\Gamma$, scales as $|\Delta\gamma|^{(f-\phi)}$. Inset: Non-affine fluctuations are limited by the system size. For small or zero κ , the maximum of $\delta\Gamma$ scales as $W^{(\phi-1)/\nu}$, with $\nu = 1.3 \pm 0.2$. (b) Collapse of non-affinity onto a master curve for triangular and packing-derived networks.

[1] C. P. Broedersz, X. Mao, T. C. Lubensky, and F. C. MacKintosh: Nature Physics 2011, 7, 983.
 [2] A. Sharma, A. Licup, K. Jansen, R. Rens, M. Sheinman, G. Koenderink, and F. MacKintosh: Nature Physics 2016, 12, 584.
 [3] J. L. Shivers, S. Arzash, A. Sharma, and F. C. MacKintosh: Physical review letters 2019, 122, 188003.

Prozessgeführte Strukturbildung polymerer Materialien



Das Strategische Thema *Prozessgeführte Strukturbildung polymerer Materialien* ist im Bereich der Umsetzung innovativer werkstofflicher Ideen in up-scale-fähige Technologien angesiedelt. Dazu sind in der ganzen Prozesskette die Mechanismen der Strukturbildung und die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen zu analysieren. Darauf basierend werden technische Prozesse der Werkstoffherzeugung und der Formgebung entwickelt in denen sich solche Strukturen bilden, die es ermöglichen, das Anwendungspotential der Werkstoffe im Bauteil bestmöglich auszuschöpfen. Beispielhaft sei hier das ERC-Projekt *3DPartForm* erwähnt, welches die Neuentwicklung additiver Fertigungsverfahren für responsiv-adaptive Multimaterialien zum Ziel hat. Die Weiterentwicklung technischer Prozesse wie die Mikrostereolithographie soll das fächerübergreifende Anwendungspotential mikrostrukturierter Polymermaterialien in Bereichen wie Biotechnologie und Zellbiologie erschließen.

Die Arbeiten fanden auch dieses Jahr entsprechende Anerkennung in der Fachwelt. So hat z. B. Dr. Beatriz Bastera Beroiz den Promotionspreis der Deutschen Kautschuk-Gesellschaft für ihre Dissertation zum Thema *„Correlation of Elastomer Structures and Stress-Strain Amplification Mechanisms in Reinforced Rubber Nanocomposites“* erhalten (Betreuung Prof. Heinrich).

Im Jahre 2019 feierte die TECHNOMER, die größte offene Fachtagung der Kunststofftechnik in Deutschland, ihr 50-jähriges Jubiläum. Seit fast zwanzig Jahren ist das IPF sehr aktiver Mitveranstalter (zusammen mit der TU Chemnitz und dem KuZ Leipzig) dieser Tagung und hat wesentlichen Anteil daran, dass diese zu einem bedeutenden Forum für den Technologietransfer in die Industrie entwickelt wurde. Die besonderen Anstrengungen im IPF für den Technologietransfer wurden ebenfalls durch die Finalnominierung der Anti-Moskito-Textilien für die Malariabekämpfung, einer Entwicklung des IPF gemeinsam mit der Universität Pretoria, im Erfindertwettbewerb *Genial sächsisch* gewürdigt.



Prof. Dr. Udo Wagenknecht Prof. Dr. Jens-Uwe Sommer

Bei den Aufgabenstellungen im Bereich dieses strategischen Themas spielen Fragen der Nachhaltigkeit des Einsatzes von Polymerwerkstoffen sowohl in Bezug auf deren umweltverträgliche Herstellung als auch deren Einsatz eine zunehmende Rolle. Beispiele dafür sind die Arbeiten *„Nachhaltiges reaktives Blenden von Biopolymeren“*, *„New phosphonate compounds as effective flame retardant additives for polyisocyanurate foams“* sowie *„Green routes for preparation of supercapacitors based on PANI and Graphite Derivatives“*.

Der Trend in vielen Industriebranchen geht weiter in Richtung hochkomplexer Bauteile bei denen stoffschlüssige Verbunde aus verschiedenen Werkstoffen eine strategische Bedeutung haben. Die seit mehreren Jahren erfolgreichen Arbeiten auf diesem Gebiet sind durch den Beitrag *„Stoffschlüssige Kunststoff-Kunststoff-Verbunde mit faserverstärkten UP-Thermosets und TPU“* vertreten.

Moderne Produktionsmethoden erfordern immer schnellere Umstellung der Maschinen und Anlagen auf geänderte Eigenschaften der Ausgangsstoffe als auch auf Produktanforderungen. Das ist nur durch gezielten Einsatz von Simulationstechniken leistbar. Seit einiger Zeit werden Arbeiten dazu innerhalb des strategischen Themas forciert und erste Ergebnisse im Beitrag *„A step closer to integrative simulation of polymer processes“* dargestellt. Durch Entwicklung von theoretischen Modellen für das molekulare Antwortverhalten optisch-stimulierbarer Polymere gestatten Simulationsmethoden auch die Vorhersage von deren Materialeigenschaften, wie im Beitrag *„Predicting mechanical stress in field-responsive polymers with an evolving microscopic order“* gezeigt wird. ■

Entwicklung von Flammenschutzmitteln für PUR/PIR-Schäume

Johannes Lenz, Doris Pospiech, Brigitte Voit

In diesem Industrie-Kooperationsprojekt zwischen dem IPF und der Covestro Deutschland AG wurde die Entwicklung von neuartigen phosphorhaltigen Additiven auf Basis von Phosphonaten für den Einsatz als Flammenschutzmittel in Polyisocyanurat-Dämmstoffen (PUR/PIR) untersucht. In der Technik werden bislang als Standard-Flammenschutzmittel halogenhaltige Verbindungen wie Tris(2-chlorisopropyl)phosphat (TCPP) verwendet [1,2]. Aufgrund der Toxizität beim Verbrennen, möglicher staatlicher Regulierungen sowie zur

Erreichung von Ökozertifizierungen [3] geht der Trend zu halogenfreien Flammenschutzmitteln [2]. Aus diesem Grund beschäftigte sich dieses Projekt mit der Synthese von phosphorhaltigen Additiven auf Basis des Phosphonats Dibenzo[d,f][1,3,2]dioxaphosphepin-6-oxid (BPPO). Durch eine Phospha-Michael-Addition konnte eine Vielzahl von BPPO-Verbindungen mit einer systematisch variierten chemischen Umgebung des Phosphoratoms synthetisiert werden (Abb. 1).

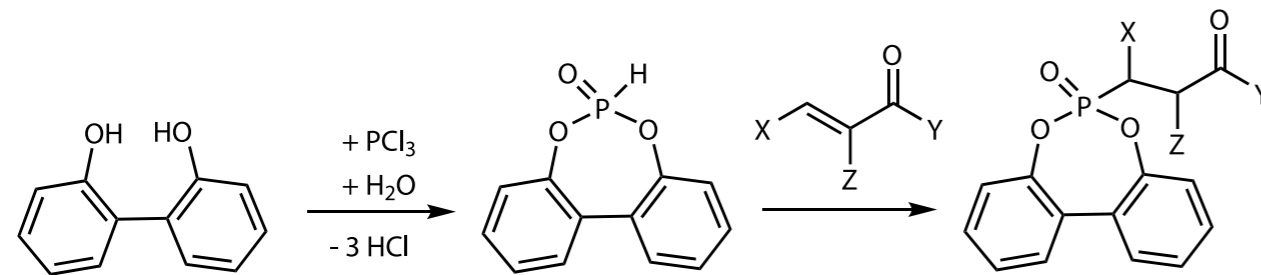
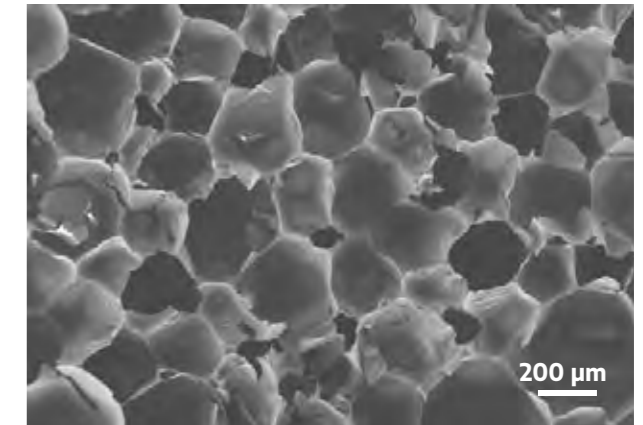


Abb. 1 Synthese von BPPO und seine Michael-Addition an Doppelbindungen.

Die so erhaltenen Verbindungen wurden als Additive in PIR-Schäumen angewendet und die Auswirkungen auf die Eigenschaften der Schäume (Dichte, Porengröße, Offenporigkeit) untersucht. Im Anschluss erfolgte der Vergleich der Ergebnisse mit Schäumen, die Benchmark-Flammschutzmittel enthielten wie Triphenylphosphat TPP

(als halogenfreie Alternative zu TCPP) und Flammschutzadditiven aus der Literatur (basierend auf 9,10-dihydro-9-oxy-10-phosphaphenanthren-10-oxid, DOPO) [3,4]. Die Synthese sowie die Ergebnisse zu den Branduntersuchungen konnten erfolgreich veröffentlicht werden [5,6].

Abb. 2 Beispielbild eines Schaumes (links), REM-Aufnahme der Schaum-Poren (rechts).



Durch die Variation einzelner Formulierungsparameter (NCO-Index, Treibmittel-, Phosphor- und Katalysatorgehalt) konnte der Einfluss dieser Parameter auf die Eigenschaften der Schäume untersucht werden. Dies erlaubte, Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zu evaluieren [7,8]. Es konnte gezeigt werden, dass die synthetisierten BPPO-Derivate als wirksame Flammenschutzmittel in PIR-Schäumen eingesetzt werden können.

Fast alle hergestellten Additive konnten die Werte des halogenfreien Benchmark-Schaumes erreichen oder sogar unterbieten. Phosphonat-basierte Flammschutzadditive sind folglich interessante halogenfreie Verbindungen, um die Brandeigenschaften von PUR/PIR-Schäumen zu verbessern und zeigen eine bessere Performance als das phosphatbasierte TPP. ■

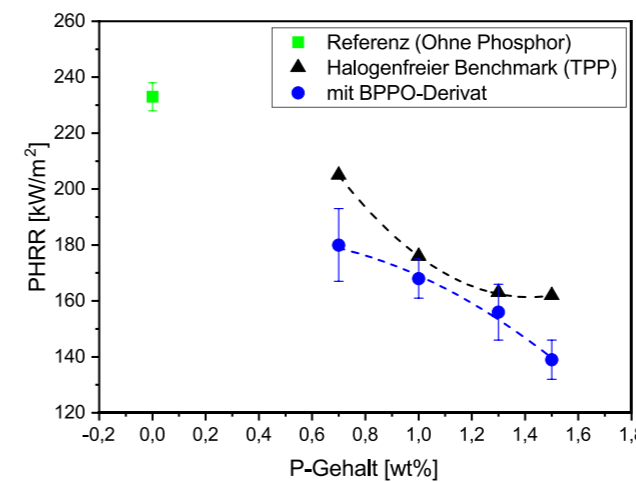


Abb. 3 Einfluss des Phosphor-Gehalts von PIR-Schäumen mit BPPO-basierten Additiven auf die im Cone-Kalorimeter bestimmte maximale Wärmefreisetzungsrate (PHRR).

Projektmittelgeber

Covestro Deutschland AG, Leverkusen, Deutschland

Kooperationspartner

- Dr. R.W. Albach, Dr. M. Paven, Dr. G. Langstein, Covestro Deutschland AG
- PD Dr. B. Scharrel, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

- S. Kemmlin, D. Herzke, R.J. Law: Brominated flame retardants in the European chemicals policy of REACH-Regulation and determination in materials, *J. Chromatogr. A* 2009, 1216(3), 320–33, DOI. 10.1016/j.chroma.2008.05.085.
- ED. Weil, S.V. Levchik: Commercial flame retardancy of polyurethanes, *J. Fire Sci.* 2004, 22(3), 183–210, DOI. 10.1177/0734904104040259.
- ÜGPU-Qualitätsgemeinschaft Polyurethan-Hartschaum. Zertifizierung pure life, ÜGPU-Qualitätsgemeinschaft 2015.
- K.A. Salmeia, S. Gaan: An overview of some recent advances in DOPO-derivatives: Chemistry and flame retardant applications, *Polym. Degrad. Stab.* 2015, 113, 119–34, DOI. 10.1016/j.polydegradstab.2014.12.014.
- J. Lenz, D. Pospiech, H. Komber, M. Paven, R. Albach, S. Mentizi, G. Langstein, B. Voit: Synthesis of the H-phosphonate dibenzo[d,f][1,3,2]dioxaphosphepine 6-oxide and the phospho-Michael addition to unsaturated compounds, *Tetrahedron* 2019, 75(9), 1306–10, DOI. 10.1016/j.tet.2019.01.045.
- J. Lenz, D. Pospiech, M. Paven, R.W. Albach, M. Günther, B. Scharrel, B. Voit: Improving the Flame Retardance of Polyisocyanurate Foams by Dibenzo[d,f][1,3,2]dioxaphosphepine 6-Oxide-Containing Additives, *Polymers (Basel)*, 2019, 11(8), 1242, DOI. 10.3390/polym11081242.
- J. Lenz, D. Pospiech, M. Paven, R.W. Albach, B. Voit: Influence of the catalyst on the physical properties and the fire behavior of rigid polyisocyanurate foams, *Polym. Degrad. Stab.*, eingereicht, 12/2019.
- J. Lenz. Doktorarbeit, eingereicht an der TU Dresden, 2020.

Green routes for preparation of supercapacitors based on PANI and graphite derivatives

Xueyan Zhao, Olga Grätz, Jürgen Pionteck

Supercapacitors (SCs) are promising environment-friendly energy storage and supplier, which meet the demand of modern portable devices and electric vehicles. The most crucial part of a SC is the electrode. Based on the electrode material and the corresponding energy storage mechanism, SCs can be divided into electrical double-layer capacitors (EDLCs) and pseudocapacitors [1,2]. EDLCs usually use carbon materials with high specific surface area (e.g. reduced graphite oxide, rGO, or graphite nanoplates, GNP) as electrode. Polyaniline (PANI) is a promising intrinsic conducting polymer to be used as pseudocapacitor electrode material because of its facile synthesis, low cost, unique multiple redox states, and high specific capacitance [3]. However, pure PANI SC electrodes are not stable under high scan rates or after long-term cycling. Compounding of PANI with GNP is an effective way to solve this problem [4]. rGO is another

suitable EDLC material for PANI composites because of its high surface area, stabilizing effect on PANI, and sufficient conductivity for supporting the electron transport. Chemical reduction of graphite oxide (GO) is one of the facile and cost-effective methods for the production of rGO. However, most of the reducers, such as hydrazine hydrate (HH) and sodium borohydride, are toxic and hazardous. Here, we used the “green” reductants dopamine and tannic acid (TA) for the preparation of rGO. During the self-polymerization of dopamine in weak alkali solution present GO becomes reduced and the formed polydopamine (PDA) acts as stabilizer for the rGO and hampers its agglomeration (Fig. 1). This material can then be coated with PANI by *in situ* polymerization of aniline, producing a stable electrode material with a specific capacitance of up to 230 F g⁻¹ (scan rate 20 mV s⁻¹) [5] which is acceptable for practical applications.

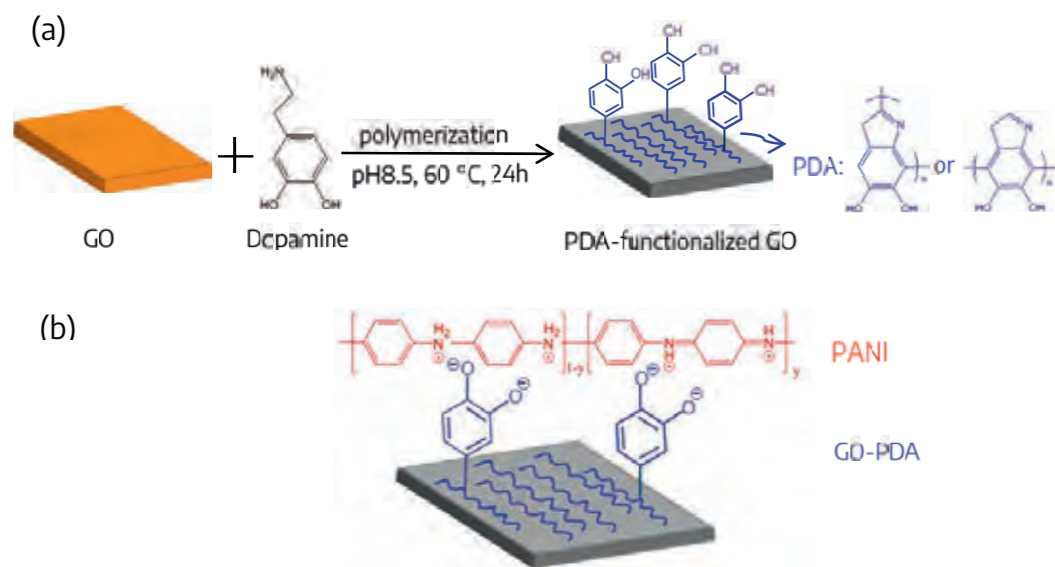


Fig. 1 Scheme of (a) the synthesis of PDA-functionalized GO (GO-PDA); (b) stabilizing interaction between GO-PDA and PANI [5].

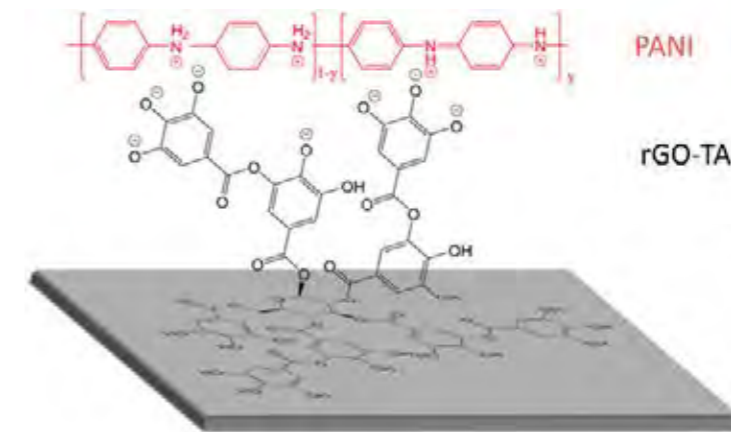


Fig. 2 Scheme of interactions between PANI and rGO-TA [5].

Tannic acid, a hydrolysable natural polyphenol with soft acidity, is another environmental friendly reducing agent for GO [6]. Like PDA, TA stabilizes dispersions of rGO. In PANI/(rGO-TA) composites electrostatic interactions between the abundant phenolic hydroxyl groups present in TA with the amine groups of PANI enhance the interaction between rGO and PANI, thus stabilizing the electrode material (Fig. 2). The specific capacitance of PANI/(rGO-TA) increases with increasing reduction time from 2 h (PANI/(rGO-TA-2h)) to 24 h (PANI/(rGO-TA-24h)) and is higher than that of PANI/rGO composites reduced with HH (PANI/(rGO-HH), Fig. 3a) [7]. When excess TA is extracted with ethanol (PANI/(rGO-TA-24h-EOH)), some loss in the specific capacitance is observed.

The stabilizing effect of TA is also observed when GNP is used as support for PANI. The treatment of GNP with TA increases the conductivity and specific surface area of PANI/ GNP and thus the specific capacitance, which is even higher than that of PANI/(rGO-TA-24h) (Fig. 3b) [5]. PANI/(GNP-TA) has a high specific capacitance of 351.2 F g⁻¹ (at 10 mV s⁻¹), and a two-electrode solid-state SC device made of this material exhibits a promising energy density of 2.3 Wh kg⁻¹ at 0.5 A g⁻¹, which is comparable to commercially available SCs. ■

Sponsor

China Scholarship Council (grant 201506240099)

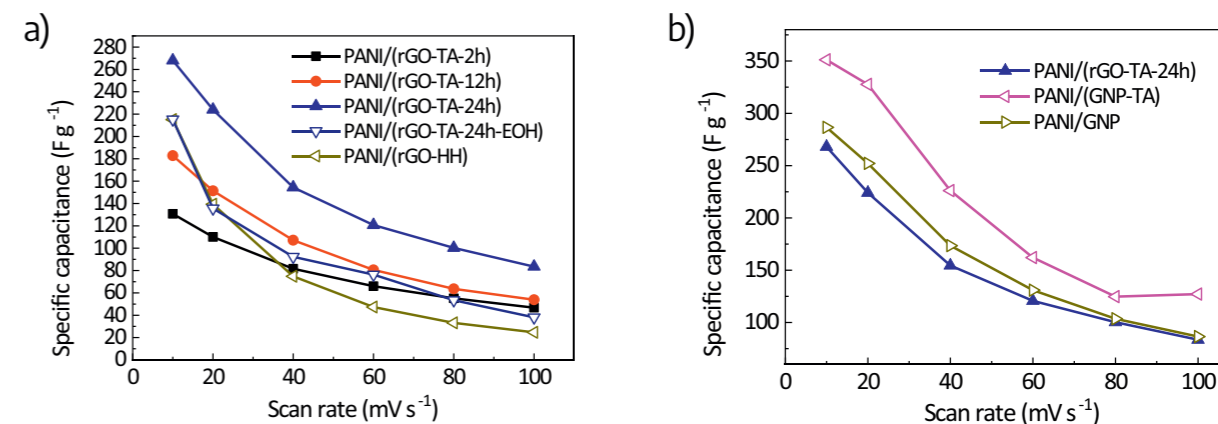


Fig. 3 Specific capacitance of differently prepared PANI/rGO [7] and PANI/ GNP composites in dependence on scan rate [5].

[1] A. González, E. Goikolea, J.A. Barrena, R. Mysyk: *Renew Sustain Energy Rev* 58 (2016) 1189–1206.
 [2] P.K. Adusei, Y.-Y. Hsieh, S. Kanakaraj, Y. Fang, K. Johnson, N.T. Alvarez, V. Shanov: In: T. Sato (ed) *Science, technology and advanced application of supercapacitors*. IntechOpen, London (2018) 1–16.
 [3] Q. Meng, K. Cai, Y. Chen, L. Chen: *Nano Energy* 36 (2017) 268–285.
 [4] X. Zhao, O. Grätz, J. Pionteck: *Polym. Int.* 67 (2018) 1429–1437.
 [5] X. Zhao: *Modification of the electrochemical properties of graphite-based polyaniline composite for supercapacitor application*, Dissertation, Technische Universität Dresden, 2019.
 [6] K. Liu, H. Li, Y. Wang, X. Gou, Y. Duan: *Colloid Surface A* 477 (2015) 35–41.
 [7] X. Zhao, M. Gnanaseelan, D. Jehnichen, F. Simon, J. Pionteck: *Journal of Materials Science* 54 (2019) 10809–10824.

A step closer to integrative simulation of polymer processes

Reinhard Fechter, Leijie Liang, Matthieu Fischer, Ines Kühnert

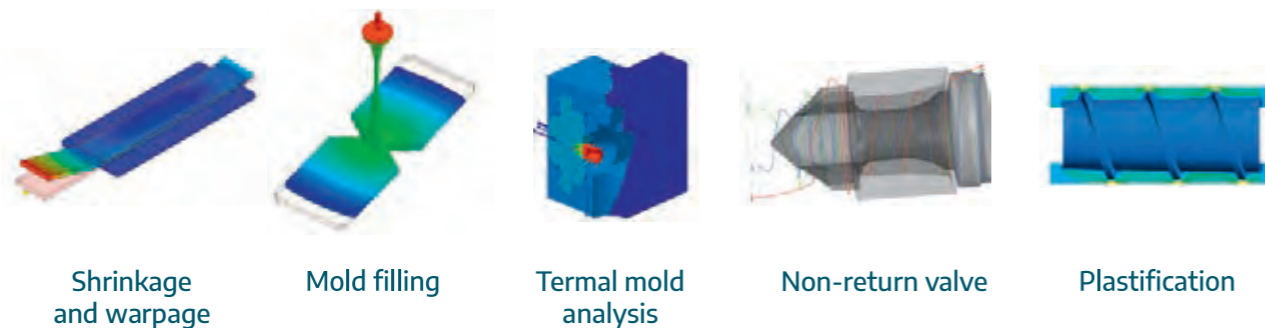


Fig. 1 Injection molding equipment and related simulation tasks.

Simulation is a very useful tool in the understanding, development and optimization of polymer processes. Due to the complexity of the systems and materials involved, individual process steps are typically simulated in isolation. However, to achieve an increase in the accuracy and usefulness of the simulation, integrative simulation of the systems as a whole is required. The first steps towards achieving this objective are to understand the assumptions, limits and remaining challenges of the simulation of individual process steps and then to link them to each other. In this article some examples of the work

done in the shaping processes and simulation group towards integrative simulation of a selected process, namely injection molding, is described. The article will primarily focus on work done on the simulation of flow through an injection molding machine non-return valve. Other aspects of the work done in the group towards integrative simulation are also touched on, including research on the simulation of mixing in polymer processes. Mixing is an essential sub-process that is prevalent to many polymer processes and should therefore be taken into account as is done here for the non-return valve.

Injection molding is an important industrial process for the mass production of plastic parts, particularly those made using thermoplastics. It is well known that in injection molding the material properties and the process parameters have a significant, complex and inextricably linked effect on the properties of the final part. Due to this, and the machine and mold costs involved, simulation has been and still is crucial for the successful design and optimization of the injection molding machines and molds.

One of the main applications of simulation in injection molding is for mold filling. A large amount of research has been done on the simulation of this particular process step and a number of software packages dedicated to this are available commercially. The shaping processes and simulation group is also very active in this field, doing research on, for example, linking the morphology development in injection molded parts to process settings and analyzing micro injection molding (see article on page 78). Current investigations are for instance dealing with the improvement of the prediction of fiber

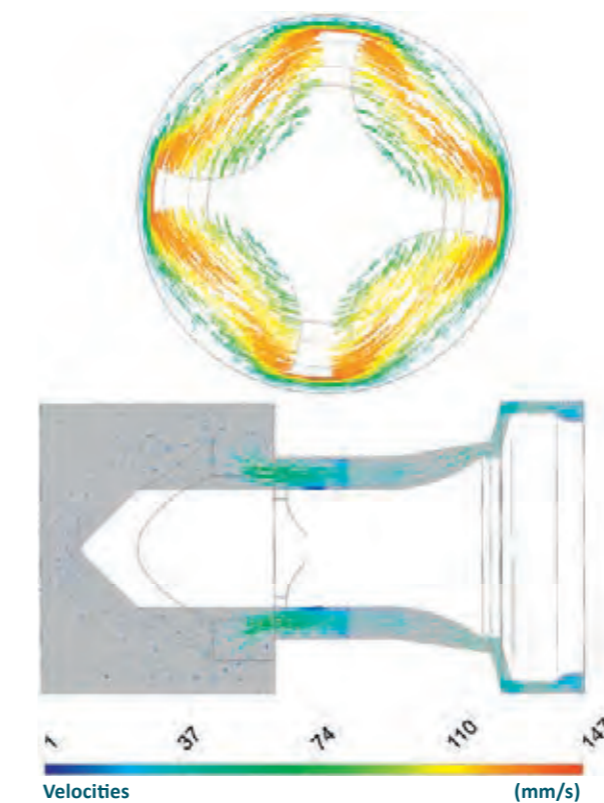


Fig. 2 Velocity field in an injection molding machine non-return valve.

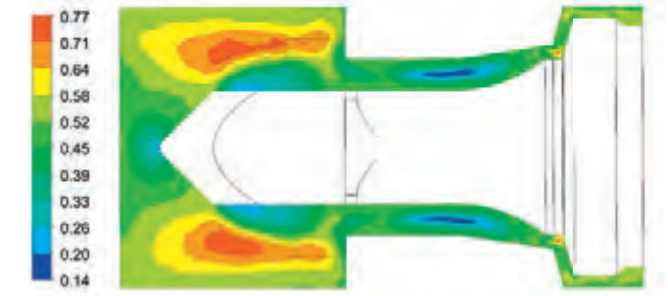


Fig. 3 Mixing index in an injection molding machine non-return valve.

orientation and the implementation of crystallization kinetics. Another example of a part of the process which has been analyzed using simulation is the plasticization of the polymer in the screw. A part of the injection molding machine which has not been simulated in literature is the non-return valve. (Fig. 1)

Most injection molding screws include some type of non-return valve. The first function of the non-return valve is to ensure that during the injection phase a back-flow of polymer melt is prevented. The second function is to allow the flow of polymer to pass the rotating valve to the front of the screw when it retracts to prepare the next shot for injection. To bridge this gap in the process history of the polymer before it becomes the part, the non-isothermal flow of a thermoplastic polymer melt through the non-return valve of an injection molding machine was simulated using the Finite Element Method. Using the simulation the pressure at the entrance to the non-return valve, which corresponds to the maximum pressure in the screw, can be calculated. In addition to this the velocity field (Fig. 2), shear rates, dissipative heating and other results such as the mixing index can be generated. The mixing index in particular shows that different zones of good and bad mixing are present in the non-return valve (Fig. 3) which could have an influence on the homogeneity of the shot and the part. This has to be investigated further; however another important step towards an integrative simulation of the injection molding process has been achieved. ■

- [1] R. Fechter, L. Liang, M. Fischer, I. Kühnert: SPE ANTEC Conference Proceedings, Detroit, Michigan, USA (2019).
- [2] M. Fischer, P. Pöhlmann, I. Kühnert: Polymer Testing 80 (2019), 106078.

Melt-spun polypropylene filaments containing paraffin microcapsules for thermoregulating thermoplastic composites

Giulia Fredi, Harald Brünig, Roland Vogel, Christina Scheffler

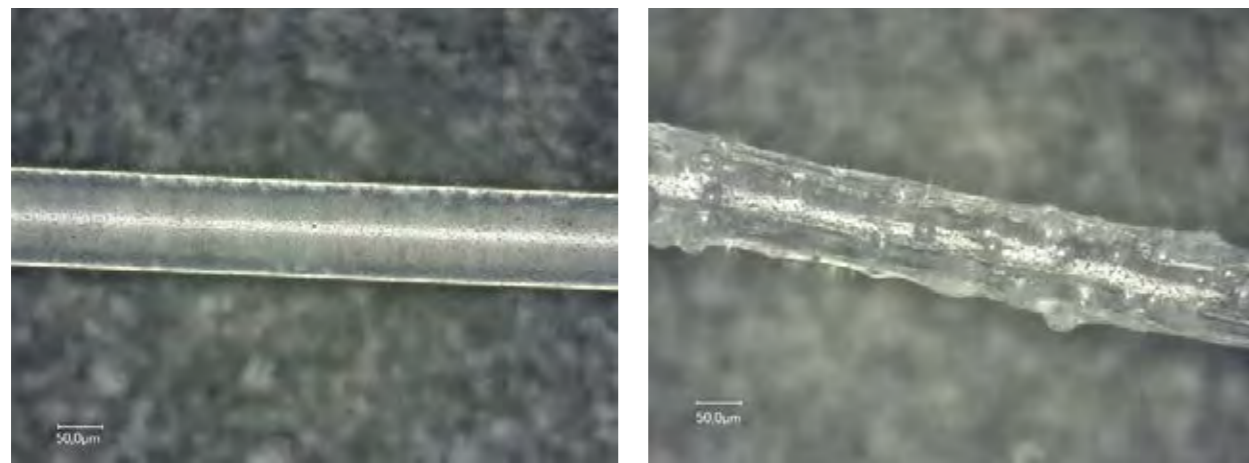


Fig. 1 Optical microscope images of the lateral surfaces of a) as-spun PP-filaments b) PP-filament containing 10 wt% paraffin microcapsules.

The increasing demand for materials with high specific stiffness and strength and for structures with lightweight complex geometries has considerably expanded the use of thermoplastic polymer-matrix fiber-reinforced composites as structural materials. They are processed in the molten state, therefore the high viscosity of the polymer melt may cause a de-alignment of reinforcing fibers and an inadequate penetration in the fiber tow, which could in turn lead to the production of laminates showing unacceptably low consolidation quality. The production of commingled hybrid yarns enables the combination of reinforcement and matrix filaments and helps to overcome those difficulties. The use of hybrid yarns also allows the homogeneous dispersion of functional fillers such as

organic phase change materials (PCMs) in the matrix filaments, which gives the interesting feature of thermal energy storage (TES) ability to the composite. TES is defined as the capacity of temporarily storing heat that can be released where and when needed, thereby filling the thermal energy demand-supply gap. TES technologies are nowadays applied to accumulate excess heat in the solar-thermal power plants, to help regulating the indoor temperature in buildings, or as a temperature management tool for electronic components. The most widely used TES technique in the temperature range 0–100 °C is to exploit the latent thermal energy stored and released by PCMs such as paraffin waxes, which undergo a solid-liquid phase transition in a narrow temperature range.

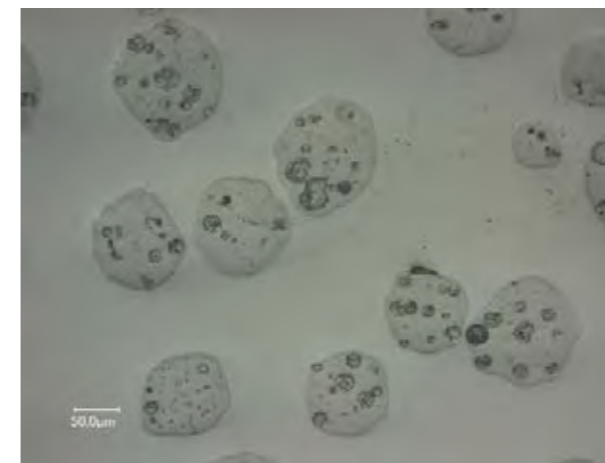


Fig. 2 Optical microscope images of the polished cross section of PP-filaments containing 20 wt% paraffin microcapsules.

Paraffins exhibit a high energy density and their phase change temperature can be easily tuned by choosing the appropriate molecular weight; they are inexpensive, largely available, not toxic and easy to handle. On the other hand, they need to be confined to avoid leakage above the melting temperature, which is commonly achieved via encapsulation in micro/nano-shells, as this is not only a reliable method for confinement, but it is also one of the most convenient PCM forms to handle and disperse in polymers, concrete, and other matrices. This work was focused on the development of polypropylene (PP) filaments containing paraffin microcapsules (MC), aimed at being incorporated in hybrid yarns to produce multi-functional thermoplastic laminates for thermal energy

storage (TES). Benchmark experiments were carried out on a small-scale melt compounder and piston-type melt spinning device and resulted in the successful production of single filaments containing up to 30 wt% of MC, with diameters of 70–140 µm depending on the collection speed and a surface roughness that increases with the MC content (Fig. 1+2). An increase in the MC fraction also determines a rise in the complex viscosity, but this effect is less evident at higher shear rates and likely almost negligible at the deformation rates typical of the spinning process. Although the MC have a considerable thermal stability, the compounded mixtures reported a sensible mass loss in isothermal thermogravimetric analysis (TGA) tests, which is linked to a not negligible MC damage during the compounding. Nevertheless, differential scanning calorimetry (DSC) on the spun filaments evidenced an increase in the phase change enthalpy with the MC content. The elastic modulus and the properties at break decrease with an increase in the MC content, but the fiber strength is acceptable to produce a hybrid yarn and a thermoplastic laminate up to a MC fraction of 20 wt%. ■

Sponsor

Giulia Fredi (University of Trento, Italy) was awarded by a DAAD Research Grant – Short-Term Grant, 2018 (57381332) to spend a research period of 6 months (09/2018–03/2019) at IPF

[1] G. Fredi, H. Brünig, R. Vogel, C. Scheffler: EXPRESS Polymer Letters 13 (2019) 1071–1087.

Mikrospritzgießen – Einblicke in die Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehungen

Matthieu Fischer, Ines Kühnert

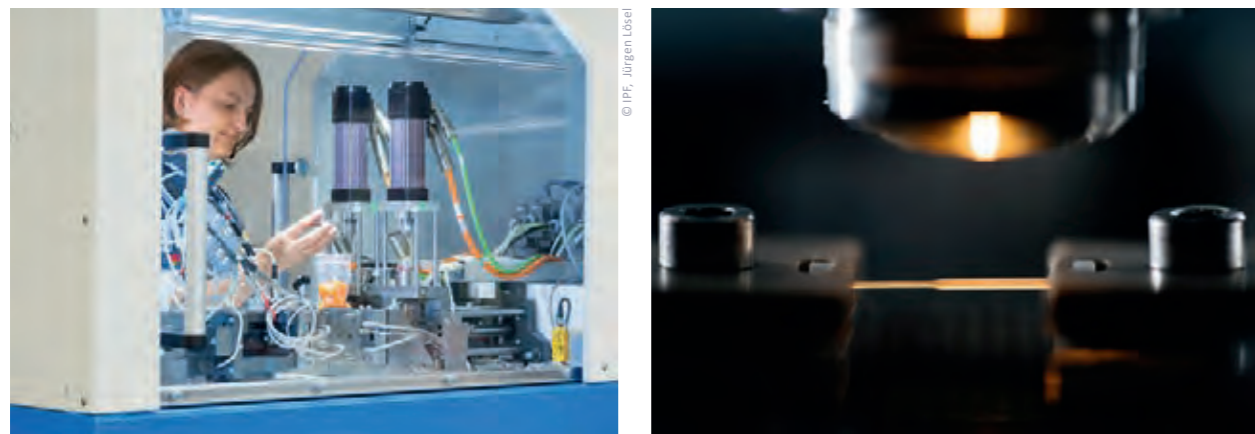


Abb. 1 Desma 2K-Mikrospritzgießmaschine (links) und Zugversuch im Lichtmikroskop (rechts)

Mikrospritzgießen bietet sehr viel Potential mit geringem Materialaufwand, technisch anspruchsvolle Bauteile für z. B. elektronische oder medizinische Anwendungen zu fertigen. Die Herausforderungen liegen nach wie vor in der Bewertung des Werkstoffverhaltens während der Formgebung und den Wechselwirkungen zwischen Prozessführung, innerer Struktur und den daraus resultierenden Eigenschaften. Hinzu kommt, dass eine direkte skalenübergreifende Übertragung der Kennwerte von Standardprobekörpern noch nicht gegeben und keine adäquate Normung für Kleinstprobekörper vorhanden ist. Dennoch ist das Einsatzpotential für die Werkstoffentwicklung von großer Bedeutung. Speziell am IPF sind oft nur kleinste Mengen Material

aus der Polymer-Synthese vorhanden, neuartige Füllstoffe können nur im Labormaßstab hergestellt werden oder sind schlicht sehr teuer. In Arbeiten der Gruppe Formgebungsprozesse und Simulation konnten erstmals Compounds in verschiedenen Rezepturen mit Batch-Mengen von unter 30 g verarbeitet und auf ihre mechanischen Eigenschaften und die Alterungsbeständigkeit untersucht werden [1]. Zusätzlich können Bindenähte und Zwei-Komponenten-Probekörper in mikrospritzgegossenen Proben mit entsprechender Prüfmethodik betrachtet werden. Das Plastifiziersystem der am IPF vorhandenen Mikrospritzgießanlage (Abb. 1, links) beruht auf einer Kolbenvorplastifizierung und einer Kolbeneinspritzung. Die sehr geringen Volumina

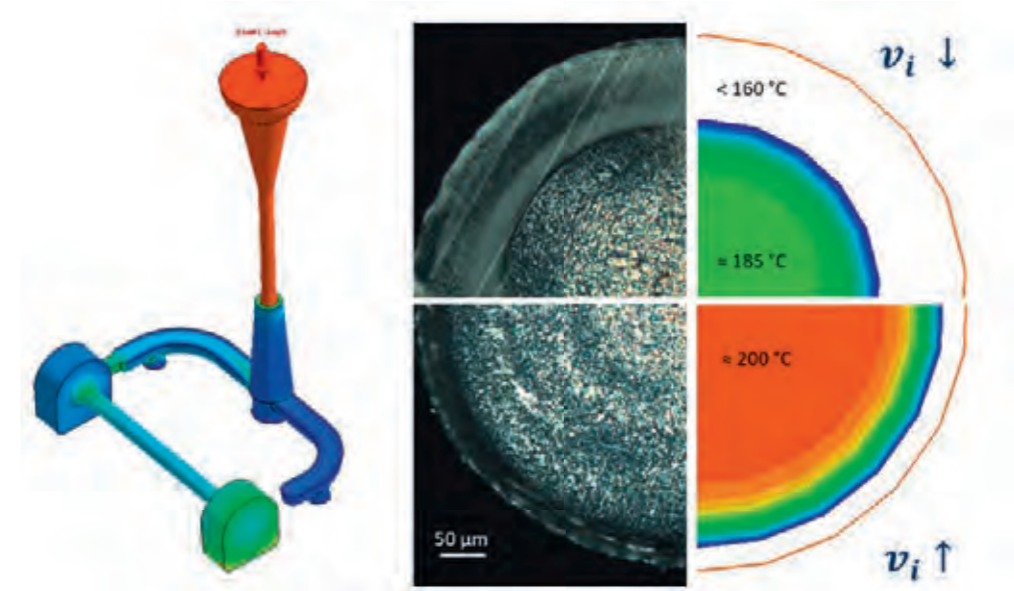


Abb. 2 Simulationsgestützte Vorhersage der Randschicht-Kern-Morphologie von Polyoxymethylen bei verschiedenen Prozessbedingungen [3]

ermöglichen das Plastifizieren ohne Friktionswärme. So kann der Kunststoff rein konduktiv aufgeschmolzen werden. Das ermöglicht auch die Verarbeitung scherempfindlicher Materialien im Mikrospritzgießen. Zur Aufklärung von Fragen hinsichtlich der Skalierbarkeit während der Werkstoffentwicklung werden am IPF neu entwickelte Prüfkörper, mechanische Prüfvorrichtungen und mit einem Mikroskop gekoppelte Untersuchungen genutzt. Hier ist besonders die IPF Forschungstechnik gefragt, die einen Zugschisch für Untersuchungen im Lichtmikroskop beisteuert (Abb. 1, rechts). Speziell für die Skalierung von Werkstoffsystemen zeigen die unterschiedlichen Dimensionen

von Probekörpern große Unterschiede in den Prozessbedingungen, den lokalen Belastungen auf die Schmelze und zum Beispiel den auftretenden Kühlraten. Daraus ergeben sich Gradienten in den entstehenden Strukturen, welche sich auch auf die Eigenschaften der Probekörper und Bauteile auswirken. An Polyoxymethylen konnten exemplarisch die Auswirkungen der Prozessbedingungen auf die Orientierung und Kristallisation an Zugproben und Bindenähten gezeigt werden [2]. Aktuelle Untersuchungen nutzen statistische Versuchspläne und Prozesssimulationen, um die Prozesse besser zu verstehen und die Werkstoffentwicklung weiter zu optimieren (Abb. 2). ■

- [1] Y. Chen, M. Fischer, C. Chen, I. Kühnert: Study on thermal characteristics and mechanical properties of poly(lactic acid)/paraffin wax blends. ANTEC Conference Proceedings, Detroit, Michigan, USA (2019).
- [2] M. Fischer, P. Pöhlmann, I. Kühnert: Morphology and mechanical properties of micro injection molded polyoxymethylene tensile rods. Polymer Testing 80 (2019), 106078.
- [3] G. Jüttner, T. Nguyen, I. Kühnert: Simulation en miniature: Mikrospritzgieß-Füllsimulation mit angepassten Materialdaten in die Praxis umgesetzt. Kunststoffe 11/2019, S.42–43, Carl-Hanser-Verlag, München.

Einfluss einer thermischen Nachbehandlung auf die Permeationseigenschaften von Polyurethan

Alejandro Puentes-Parodi, Leandro A. Santoro, Ignatius Ferreira, Andreas Leuteritz, Ines Kühnert

Die Bedeutung der Diffusions- oder Permeationseigenschaften von Thermoplasten hat erheblich zugenommen, da sie zu den wichtigsten bestimmenden Eigenschaften für die Anwendung von kommerziellen Membranen geworden sind [1]. Zu den Thermoplasten, die typischerweise als kommerzielle Membranen verwendet werden, gehören Polyamide, Polysiloxane, Polypropylen und Polyethylen [2]. Dennoch sind thermoplastische Elastomere wie thermoplastisches Polyurethan (TPU) in einigen Membrananwendungen eine gute Alternative, da sie mechanische Eigenschaften und Verarbeitungsbedingungen aufweisen, die für die gewünschte Anwendung besser geeignet sind [3]. Jedoch gibt es wenig Literatur über den Einfluss der Nachbehandlung (d. h. des Tempens) auf die Diffusions- und

Permeationseigenschaften von TPU und wie sie durch die Mikroviskosität des TPU erklärt werden kann, die durch die Theorie des freien Volumens [4] beschrieben wird. Um einen Einblick in die Wechselwirkungen zwischen den TPU-Permeationseigenschaften und einer Temperbehandlung zu erhalten, wurden spritzgegossene TPU-Streifen und extrudierte TPU-Folien hergestellt und bei 100 °C für 20 Stunden getempert. Anschließend wurden die spritzgegossenen TPU-Streifen verwendet, um den Einfluss des Tempens auf die Wasserabsorptionseigenschaften des TPU zu bewerten. Hierzu wurden die TPU-Streifen einer Reihe von hydrothermischen Alterungsbedingungen ausgesetzt. Die extrudierten TPU-Folien wurden verwendet, um die Permeabilität von O₂, N₂ und CO₂ durch TPU zu bestimmen.

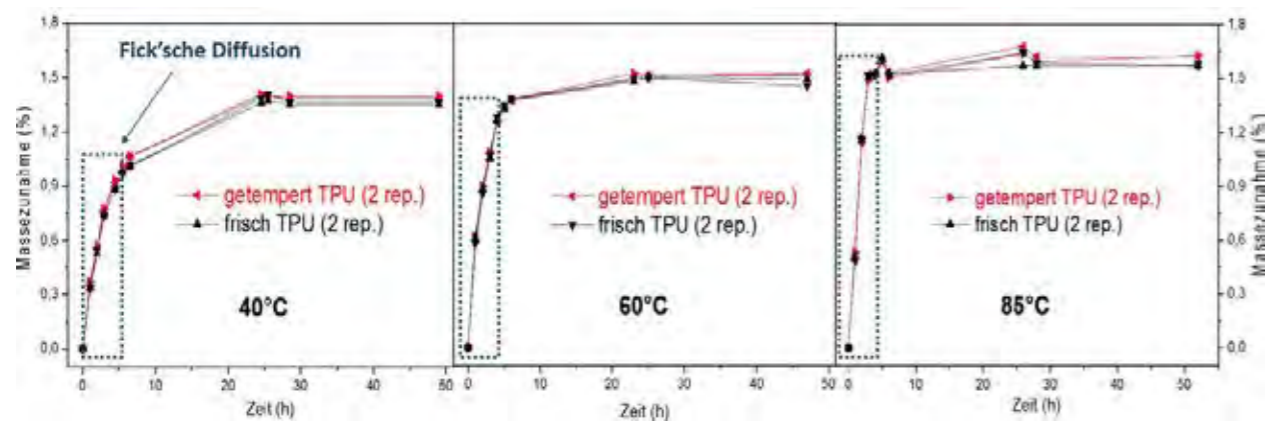


Abb. 1 Zeitabhängigkeit der Wasseraufnahme bei 40 °C, 60 °C und 85 °C in frischen und getemperten spritzgegossenen TPU-Streifen.

Getemperte, spritzgegossene Streifen zeigten in allen Fällen eine erhöhte Gleichgewichtslage der Wasseraufnahme sowie eine leicht schnellere Wasseraufnahme im Vergleich zu frischen Proben (Abbildung 1). Ebenso zeigten die getemperten extrudierten Folien auch deutlich höhere Permeationsraten und entsprechende Diffusionskoeffizienten (Abbildung 2). Weitere indirekte Charakterisierungsmethoden wie die Dynamische Differenz-

kalorimetrie, Zugversuche sowie Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie deuteten darauf hin, dass die erhöhte Permeabilität des getemperten TPU auf einen Relaxationsprozess zurückzuführen ist. Während dieses Prozesses ordnen sich die harten und die weichen Segmente des TPU neu, was zu einer Erhöhung des freien Volumens innerhalb der makromolekularen Architektur des TPU führt. ■

- [1] S.C. George, S. Thomas: Transport phenomena through polymeric systems. Progress in Polymer Science, 2001. 26(6): p. 985–1017.
- [2] M. Ulbricht: Advanced functional polymer membranes. Polymer, 2006. 47(7): p. 2217–2262.
- [3] S. Ray and S.K. Ray, Separation of organic mixtures by pervaporation using crosslinked and filled rubber membranes. Journal of Membrane Science, 2006. 285(1): p. 108–119.
- [4] A. Puentes-Parodi, et al.: Effect of a thermal treatment on thermoplastic polyurethane – metal hybrids. Journal of Composite Materials, 2018. 52(26): p. 3669–3680.

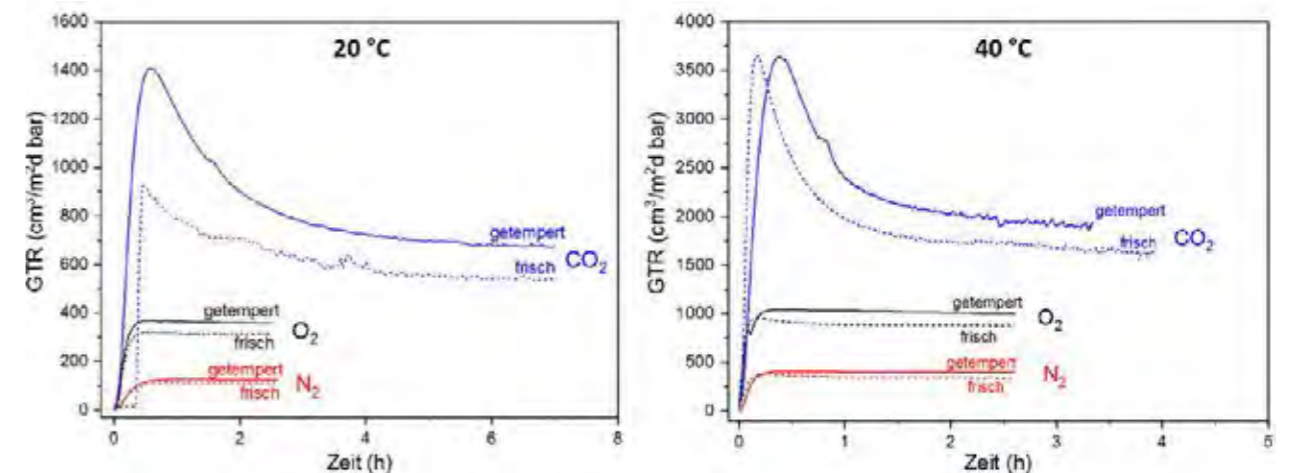


Abb. 2 Gasdurchlässigkeit verschiedener Gase durch die TPU-Folie bei 20 °C und 40 °C.

Stoffschlüssige Kunststoff-Kunststoff-Verbunde mit faserverstärkten UP-Duromeren und TPU

Michaela Gedan-Smolka, Michael Thomas Müller, Ines Kühnert, Matthieu Fischer, Carsten Zschech, Marcel Tuschla



Abb. 1 Effiziente Prozesskette zur Herstellung von stoffschlüssigen FVK-TPU-Hybridstrukturen.

Neben verbesserten Batteriesystemen zur Ausweitung der Batteriereichweite erfordert die breite Durchsetzung der E-Mobilität im Automobil- und Transportwesen eine weitere Gewichtsreduktion der Fahrzeugstrukturen. Diese wird u. a. durch umfangreichen Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen (z. B. Sheet Molding Composites-SMC, überwiegend auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen-UP und Glas-/C-Fasern), Thermoplasten (z. B. Thermoplastisches Polyurethan-TPU) und anderen kunststoffbasierenden Materialien erreicht. Aus diesem Grund wird der Trend zum Multimaterial-Design künftig weiter ausgebaut werden. Die meisten Karosserieanbauteile werden vor der Montage oder, idealer Weise, zusammen mit der Karosserie in der Lackieranlage beschichtet. Aktuell werden stoffschlüssige Verbunde von Kunststoff-Kunststoff-Kombinationen über reaktive Klebprozesse erreicht, bedingen aber zusätzliche kostenintensive Vorbehandlungs- und Prozessschritte und führen zu zusätzlichen Phasengrenzen. In der Vergangenheit

wurden am IPF auf Grundlage einer speziellen Katalyse hochflexible, niedrigtemperaturvernetzende ($T_{\text{curing}} \leq 150^\circ\text{C}$) Pulverlackgrundrezepturen mit integrierter latenter Reaktivklebefunktion für stoffschlüssige Metall-Kunststoff-Verbunde entwickelt. Die Reaktion vom Polyallophanat- zum Polyurethannetzwerk wird mittels des effizienten Spritzgießprozesses zur kovalenten und damit stoffschlüssigen Anbindung eines TPU auf vorbeschichtetem Coil-Material genutzt. Das TPU kann dabei sowohl als elastischer Verbundpartner als auch als Spannungskompensationsschicht für die Applikation von steifen Thermoplasten über Mehrkomponenten-Montagespritzgießen agieren. Ziel der aktuellen, grundlegenden Arbeiten war der Nachweis, dass die Nutzung der speziellen Pulverlacke zur Generierung von Metall-Kunststoff-Hybriden auf die Verbundbildung von FVK (Faserverstärkten Kunststoffen)-Thermoplast-Verbunden adaptiert werden kann und stoffschlüssige Hybride erreichbar sind.

Entscheidend für die Verbundfestigkeit von 3-Schichtverbunden aus SMC-Pulverlackfilm-TPU war die Haftfestigkeit des Lackmaterials auf der Oberfläche der industriell hergestellten SMC-Struktur. Zu deren Verbesserung war in der Vergangenheit eine effiziente Inline-Technologie zur Lackiervorbehandlung von SMC entwickelt worden. Über robotergestützte, konturgenaue Oberflächenbehandlung der Bauteile mit niedrigeren energetischen Elektronen wird parallel eine Barrierschicht vor Ausgasungen aus der Bulk-Phase und eine Oberflächenhydrophilierung durch Bildung reaktiver Gruppen an der Oberfläche (z. B. Hydroxyl-, Carboxyl- und Hydroperoxid-Gruppen) realisiert, die eine stoffschlüssige Verbundbildung an der Grenzfläche mit dem Lackmaterial ermöglichen. Es wurde nachgewiesen, dass eine Adaption dieses Vorbehandlungsprozesses Voraussetzung für hohe Verbundfestigkeiten bei Duromer-Thermoplast-Hybridmaterialien ist.

Die Verbundfestigkeit für die Kombination: SMC-Pulverlackfilm-TPU wurde über Schälversuche (DIN EN ISO 1464 und VDI-Richtlinie 2019) ermittelt. Ein Screening hat gezeigt, dass die effiziente neue Prozesskette (Abb. 1) in Abhängigkeit von den Elektronenvorbehandlungsparametern zu mittleren Schälkräften zwischen 150–200 N nach dem Montagespritzgießen führt. Eine anschließende Temperung führt zu einem weiteren Anstieg auf Werte > 250 N (Referenzwert Stahl-PL-TPU-Verbund ~ 300 N, Abb. 2). Der Versagensmechanismus basiert bei den Vorzugsvarianten auf einem adhäsiven Mischversagen von > 95 % an der Grenzfläche TPU-Pulverlackfilm. Nach der Temperung steigt der Anteil an Pulverlack-SMC-Versagen auf ca. 10–20 %. Dagegen werden bei direktem Anspritzen des TPU auf die SMC-Oberfläche nur niedrige Schälkräfte von ca. 15 N (55 N nach Temperung) erreicht, was auf eine weitgehend adhäsive Verbundbildung ohne Ausbildung kovalenter Bindungen zurückzuführen sein sollte. ■

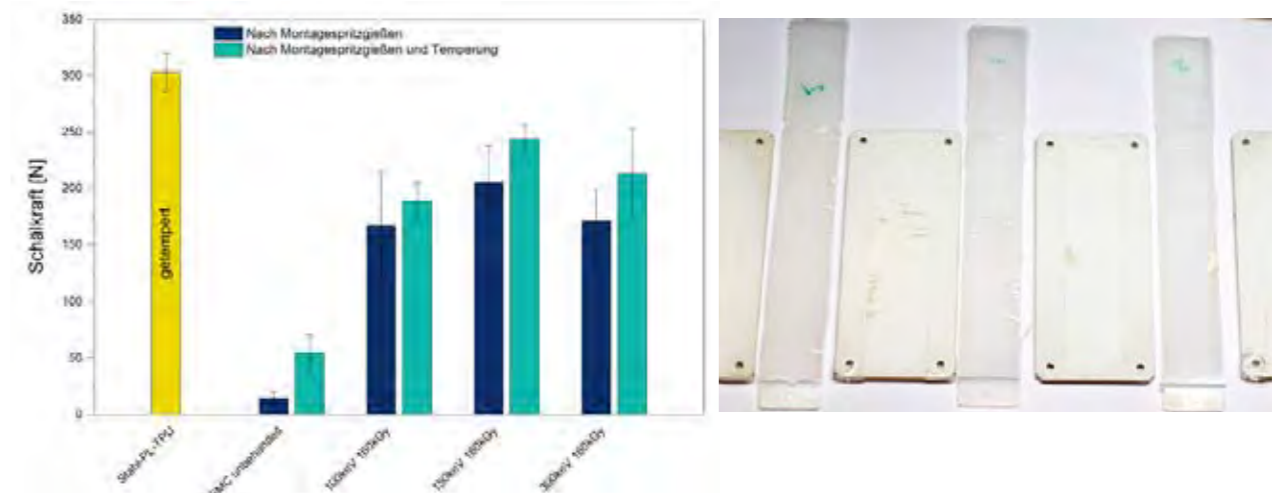


Abb. 2 Vergleich der Schälkräfte für SMC-PL-TPU-Hybride in Abhängigkeit von der Elektronen-Vorbehandlung (links) und Versagensverhalten (150 keV/160 kGy) nach Spritzgießen (rechts).

[1] M. Gedan-Smolka et. al.: Proceedings of EURADH 2016, Glasgow, GB, 21.–23.09.2016, S. 228–231.
 [2] I. Kühnert et. al.: Technologies for Lightweight Structures 1 (2017) 2. - S. 89–97.
 [3] D. Lehmann et. al., EP 2310455.
 [4] M. Gedan-Smolka et. al.: JP 5 693473, EP 2401323, IN 292902, US 10, 113, 042.
 [5] A. Puentes-Parodi et. al.: J. of composite materials 2018, Online Version.
 [6] M. T. Müller et. al., Radiation Physics and Chemistry, (2019), submitted.

Nachhaltiges reaktives Blenden von Biopolymeren

Ying Huang, Michael Thomas Müller, Carsten Zschech, Uwe Gohs, Sven Wießner

Polymere bieten ein hohes Entwicklungspotenzial für Hochleistungswerkstoffe mit spezifischen und häufig komplexen Eigenschaftsprofilen. Dabei ist nicht die Synthese neuer Polymere der Königsweg, sondern die Modifizierung preiswerter und technologisch erprobter Polymere. Bei der Verarbeitung thermoplastischer Polymere ist aktuell ein starker Trend hin zur Verwendung nachhaltiger Materialien zu beobachten. Hierbei spielen Biopolymere (biobasierte und/oder biologisch abbaubare Polymere) wie Polylactide (PLA von engl. polylactic acid) eine besonders wichtige Rolle, mit deren Einsatz vor allem im Bereich der Verpackungen auf die Ablösung von petrochemisch basierten thermoplastischen Kunststoffen abgezielt wird. PLA auf der Basis von Milchsäure ist dabei unter den Biokunststoffen einer der am besten erforschten Werkstoffe. Insbesondere die Eigenschaften Biokompatibilität und Bioabbaubarkeit sind höchst attraktiv für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft. Darüber hinaus weist PLA eine ausgezeichnete CO₂-Bilanz auf, da durch das Wachstum der pflanzlichen Ausgangsstoffe CO₂ aus der Atmosphäre gebunden wird. Trotz des stetigen Anwachsens der Produktionskapazitäten (2020 werden für PLA ca. 0,8 Mio t erwartet) und der „relativ einfachen“ Verarbeitungstechnologie führen Produkte aus PLA im Vergleich zu denen aus petrochemisch basierten thermoplastischen Kunststoffen (Produktionskapazität 2017

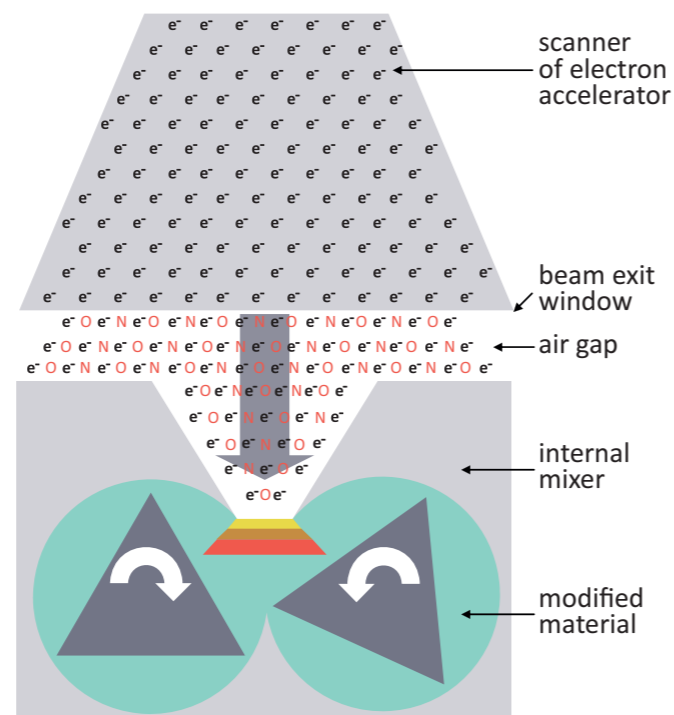


Abb. 1 Experimenteller Aufbau der Elektronen induzierten reaktiven Aufbereitung (EIRA)

ca. 380 Mio t) nach wie vor ein Nischendasein. Grund dafür sind u. a. deren mechanisches Eigenschaftsniveau (z. B. geringe Zähigkeit, kleiner linear elastischer Bereich) und die noch zu verbessernde Kenntnis und Beherrschung der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen. Mit Hilfe des am Leibniz-Institut für Polymerforschung

Dresden e. V. (IPF) entwickelten Verfahrens der elektroneninduzierten reaktiven Aufbereitung (EIRA) hergestellte Blends aus PLA und Polycaprolacton (PCL) oder Naturkautschuk (NR) [1-3] erfüllen diese Anforderungen. Dabei werden energiereiche Elektronen während der Schmelzaufbereitung in die Polymerschmelze eingekoppelt (Abbildung 1). Der wesentliche Vorteil gegenüber der konventionellen reaktiven Aufbereitung liegt in der räumlich und zeitlich präzisen Initiierung der chemischen Reaktion über die Prozessparameter Elektronenenergie und Elektronenstrom. Dieses mit dem Innovationspreis des IPF ausgezeichnete Verfahren ermöglicht die Modifizierung von Biopolymeren ohne den Einsatz chemischer Additive, sodass mit diesem Verfahren modifizierte Biopolymere „Biopolymere bleiben“. In der laufenden Promotionsarbeit von Frau Huang (China Scholarship Council; Ph.D. Program, Nr. 201706880007), konnte durch den EIRA - Prozess eine verbesserte Blendphasenwechselwirkung erzielt werden, was in einer bis zu 200 % gesteigerten Schlagzähigkeit des Polymerblends gegenüber dem konventionellen unreaktiven Prozess resultierte, wobei die sich ergebende Blendmorphologie einen mittleren

Phasendurchmesser von unter 2 µm aufweist (Abbildung 2). Des Weiteren beeinflussen die durch den EIRA-Prozess induzierten Nukleierungszentren die Kristallisationskinetik der Materialien, was zu einer 15 K tieferen Kaltkristallisationstemperatur führt. Diese Polymerblends sind für den Einsatz als Scaffolds in den Bereichen Life-Science und Biotechnologie besonders geeignet. ■

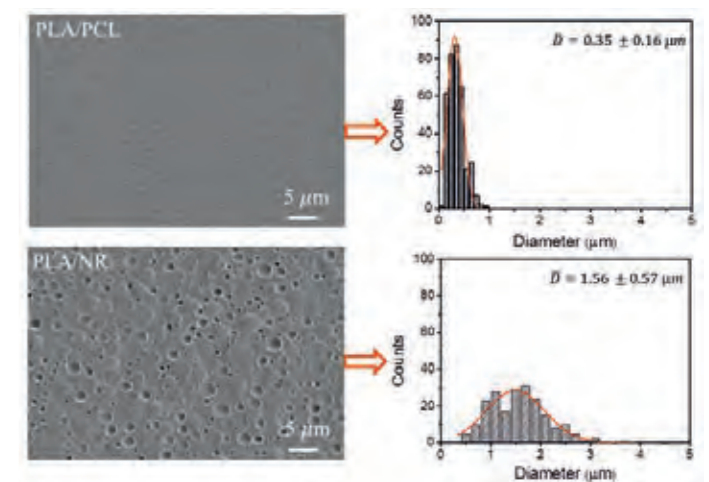


Abb. 2 REM-Aufnahmen zur Ermittlung der Phasendurchmesser-Verteilung der Polymerblendsysteme PLA/PCL und PLA/NR

- [1] Y. Huang, U. Gohs, M. Müller, C. Zschech, S. Wießner: *Polymers* 11 (2019) 1279.
- [2] Y. Huang, U. Gohs, M. Müller, C. Zschech, S. Wießner: *Radiation Physics and Chemistry* 159 (2019) 166–173.
- [3] Y. Huang, U. Gohs, M. Müller, C. Zschech, S. Wießner: *Journal of Applied Polymer Science* (2019) 47866.

Predicting mechanical stress in field-responsive polymers with an evolving microscopic order

Jan Domurath, Bharti Yadav, Marina Saphiannikova

Many field-responsive polymers represent at least a two-component system, in which one component is a polymer matrix and the other component consists of functional inclusions. These can be embedded into the matrix like particles or attached to it covalently like low molecular weight molecules. The properties of field-responsive polymers depend crucially on their composition (volume fraction of particles φ or functionalization degree) and the microscopic order of inclusions. Especially rich behavior is observed for the systems in which added particles and molecules have a non-spherical shape and can be oriented by the applied field.

Prominent examples are polymer melts reinforced with nano- and microfibers and photodeformable polymers containing rod-like azobenzenes. Initially, in the absence of the field, both components are isotropic. Application of a mechanical field to reinforced melts induces orientation of fibers along a preferable direction. The microscopic order becomes transversely isotropic and is well characterized by the 2nd and 4th order orientation tensors \mathbf{a}_2 and \mathbf{a}_4 averaged over all particles in the melt. The particle contribution to the mechanical stress is described by the transversely isotropic fluid (TIF) equation at small deformation rates $\dot{\gamma}$ in the Newtonian regime:

$$\boldsymbol{\tau}_p = \tau_0 \{ A \boldsymbol{\Gamma} : \mathbf{a}_4 + B (\boldsymbol{\Gamma} \cdot \mathbf{a}_2 + \mathbf{a}_2 \cdot \boldsymbol{\Gamma}) + C \boldsymbol{\Gamma} \} \quad \text{TIF equation}$$

with $\tau_0 = \varphi \eta \dot{\gamma}$ and the dimensionless rate of strain tensor $\boldsymbol{\Gamma}$. At higher rates in the non-Newtonian regime not only fibers but also the chain segments of a suspending polymer matrix become strongly oriented. This leads to a thinning behavior of the matrix, i.e. its viscosity η decreases by orders of magnitude with increasing

deformation rate. It is not clear a priori whether the TIF equation, derived for Newtonian fluids, will keep its form in the non-Newtonian regime. To prove this, computational fluid dynamics simulations have been carried out for polymer melts reinforced with spheroidal particles [1, 2] and rods (Fig. 1a).

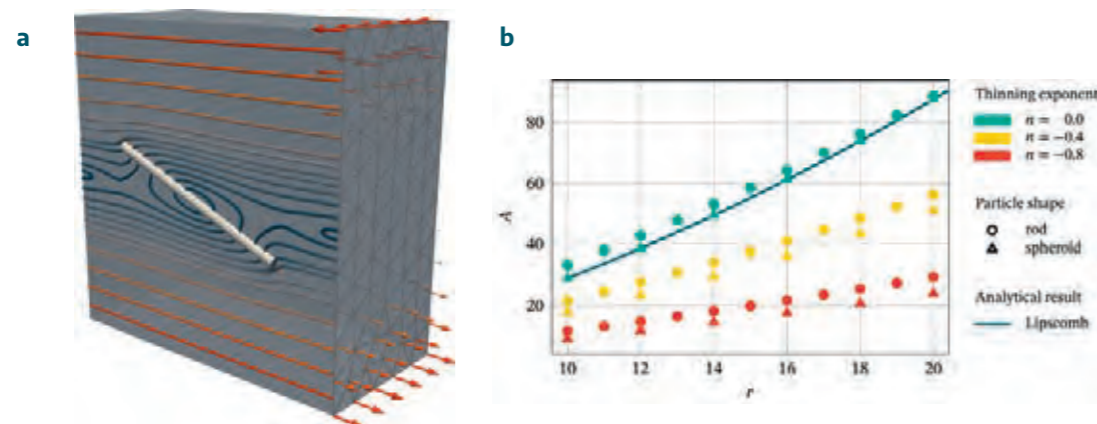


Fig. 1 Rod particle in a simple shear flow (a). Numerical values of the coefficient A for rods and spheroids with the aspect ratio r in Newtonian $n = 0$ and power-law fluids $n < 0$ (b). Also shown is Lipscombs solution for spheroids in a Newtonian fluid [3]. With decreasing power-law exponent n the matrix fluid becomes more non-Newtonian and A decreases.

Fortunately, at least for dilute suspensions, it is possible to extract all three coefficients A , B and C of the TIF equation from a well-defined set of particle orientations and applied flows. The numerical simulations are verified with the analytical results in the Newtonian regime [3], see Fig. 1b. Importantly, it was found that the coefficients decrease dramatically with the increase of matrix non-linearity. Hence, the TIF equation with modified coefficients is proved to be a sensible model for reinforced polymer melts even in the non-Newtonian regime.

The mechanical stress induced by homogeneous irradiation in photodeformable polymers can be described by an expression similar to the TIF equation [4]. In the absence of light, the sample of amorphous polymer with initially isotropic orientation of backbone segments and azobenzenes is stress free. When the light is switched on, the azobenzenes orient perpendicular to the light polarization \mathbf{E} and backbone segments parallel to it. Initially isotropic microscopic order gradually evolves into a highly uniaxial one with the axis of symmetry coinciding with the electric field vector \mathbf{E} (Fig. 2a). The evolution of light-induced stress is described by the TIF equation with $\tau_0 = n_s V_0$, with n_s the number density of segments and V_0 the strength of the light-induced potential. The dimensionless rate of strain tensor $\boldsymbol{\Gamma} = \mathbf{E}\mathbf{E}$ and $C=0$. In the beginning of illumination the light-induced stress is so high (Fig. 2b), that the polymer yields and starts to deform plastically along the polarization direction. Implementing the stress in a viscoplastic material model, we are able to explain light-induced reshaping of micro-scaled square and cylinder posts [5]. ■

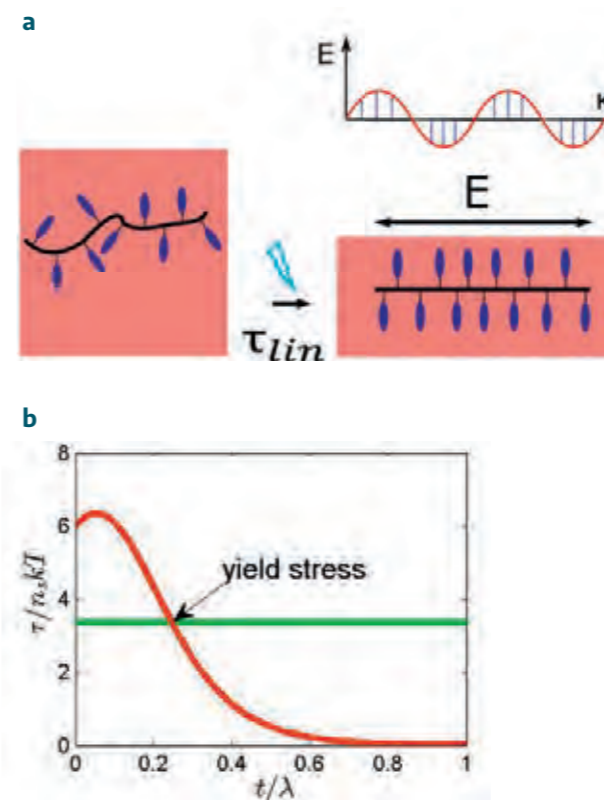


Fig. 2 Azopolymer sample elongates along the light polarization \mathbf{E} (a) under the light-induced stress which exceeds the yield stress in the beginning of irradiation (b). The plastic deformation stops when the light-induced stress diminishes to the yield stress.

Sponsor

DFG grant GR 3725/8-1

Cooperations

- Prof. Gilles Ausias, Prof. Julien Férec, Université de Bretagne Sud, Lorient, France
- Prof. Seungwoo Lee, Korea University, Seoul, Republic of Korea

- [1] J. Domurath, et al.: JNNFM 264 (2019) 73.
- [2] P. Geißler. Diploma thesis, TU Dresden, 2019.
- [3] G. Lipscomb, et al.: JNNFM 26 (1988) 297.
- [4] B. Yadav, et al.: J. Phys. Chem. B 123 (2019) 3337.
- [5] H.S. Kang, et al.: Adv. Funct. Mater. 24 (2014) 7273.

Ergebnisse in Zahlen

Publikationen

- **976** Publikationen
davon **364** Artikel in Fachzeitschriften
- **1** Buch und **6** Buchbeiträge

Patente

ANMELDUNGEN (Erstanmeldungen 2019)

- **10** Patente angemeldet und **2** patentfähige Erfindungen übertragen auf Industrie- und Kooperationspartner
- **42** Nachanmeldungen (national und regional) hinterlegt

ERTEILUNGEN

- **14** Patente erteilt
davon **5** in Deutschland (DE), **2** in Europa (EP), **1** in Japan (JP),
1 in Hongkong (HKG), **2** in Korea (KOR) sowie **3** in den USA (US)

Promotionen, Master- und Bachelorarbeiten

- **17** Promotionen
- **20** Master- und Diplomarbeiten
- **13** Bachelorarbeiten

Publikationen

Bücher

Haase, E.; Krause, R.; Krzywinski, S.; Landgraf, B.; Rogge, R.; Rosenbaum, H.; Simon, F.; Zimmermann, P.:

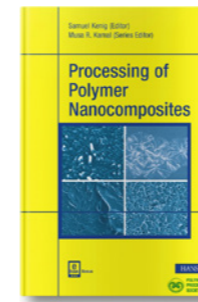


Entwicklung eines strahlungsadaptiven Markisengewebes mit erhöhter Durchsichtigkeit bei gleichzeitig erhöhten Blend- und Wärmeschutzeigenschaften für Senkrechtmarkisen an Nichtwohngebäuden. - Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2019. - 131 Seiten : Illustrationen

(Forschungsinitiative ZukunftBau ; F 3094)
ISBN 978-3-7388-0249-8

Beiträge in Büchern

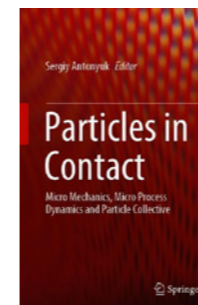
Ameli, A.; Park, C. B.; Pötschke, P.:



The effect of foaming on the properties of carbon nanotubes/polymer composites. - in: Processing of Polymer Nanocomposites / Kenig, Samuel (Herausgeber) - München : Hanser, 2019. - Chap. 8, S. 235-254.
ISBN 978-1-56990-635-4

Gilson, L.; Wenzl, J.; Paven, M.; Kappl, M.; Butt, H.-J.;

Vollmer, D.; Auernhammer, G.:



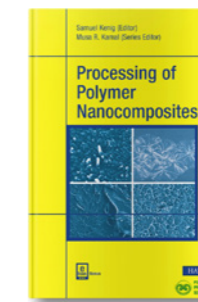
Formation, deformation, rolling and sliding of particles and particle aggregates: Mechanisms and applications. - in: Particles in Contact : Micro Mechanics, Micro Process Dynamics and Particle Collective / Sergiy Antonyuk (Editor). - Berlin : Springer, 2019. - S. 89-114
ISBN 978-3-030-15898-9

Horechyy, A.; Nandan, B.; Stamm, M.:

Functional Nanostructured Materials via Self-Assembly of Block Copolymers. -

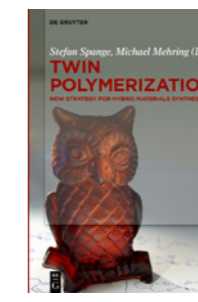
in: World Scientific Reference of Hybrid Materials : Volume 1. Block Copolymers / Edited By: Yong Wang. - New Jersey [u.a.] : World Scientific, 2019. - Chapter 1, S. 1-44 (World Scientific Series in Nanoscience and Nanotechnology : 17)
ISBN 978-981-3270-51-0

Naseem, S.; Leuteritz, A.; Wagenknecht, U.:



Polymer nanocomposites based on layered double hydroxides (LDHs). - in: Processing of Polymer Nanocomposites / Samuel Kenig (Ed.). - München : Hanser, 2019. - S. 343-369
ISBN 978-1-56990-635-4

Schreiter, K.; Birkner, M.; Göring, M.; Höhne, S.:



5.2 Functionalized twin monomers and their application in materials synthesis. - in: Twin polymerization : new strategy for hybrid material synthesis / edited by Stefan Spange, Michael Mehring. - Berlin [u.a.] : De Gruyter, 2019. - Kapitel 5, 5.2, S. 295-332 (273-332)
ISBN 978-3-11-049936-0

Stamm, M.:



Surfaces and Interfaces. - in: Functional Polymers / Editor: Mohammad Abu Jafar Mazumder - Berlin : Springer, 2019. - S. 347-389 (Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series)
ISBN 978-3-319-95987-0

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

Abbate, R. A. ; Raak, N. ; Boye, S. ; Janke, A. ; Rohm, H. ; Jaros, D. ; Lederer, A. :

Asymmetric flow field flow fractionation for the investigation of caseins cross-linked by microbial transglutaminase. - Food Hydrocolloids 92 (2019). - S. 117-124

Abdoli, I. ; Vuijk, H. ; Sommer, J.-U. ; Brader, J. M. ; Sharma, A. :
Nondiffusive fluxes in brownian system with lorentz force. - arXiv:1908.03101 [cond-mat.stat-mech] (2019). - 7 Seiten

Abdollahi, S. ; Ehsani, M. ; Morshedian, J. ; Khonakdar, H. A. ; Aram, E. :

Application of response surface methodology in assessing the effect of electrospinning parameters on the morphology of polyethylene oxide/polyacrylonitrile blend nanofibers containing graphene oxide. - Polymer Bulletin 76 (2019). - S. 1755-1773

Abjahan, T.K. ; Hejazi, I. ; Hosseini, L. ; Davachi, S. M. ; Khonakdar, H. A. :

Study on the surface morphology and wettability of nano-composite films based on poly(methyl methacrylate) containing polyhedral oligomeric silsesquioxane/silica nanohybrids. - Polymer Composites 40 (2019) Supplement: 1. - S. E127-E135

Adamczak, D. ; Komber, H. ; Illy, A. ; Scaccabarozzi, A.D. ; Caironi, M. ; Sommer, M. :

Indacenodithiophene homopolymers via direct arylation: direct polycondensation versus polymer analogous reaction pathways. - Macromolecules 52 (2019). - S. 7251-7259

Almeida Jr., J.H.S. ; Bittrich, L. ; Jansen, E. ; Tita, V. ; Spickenheuer, A. :

Buckling optimization of composite cylinders for axial compression: A design methodology considering a variable-axial fiber layout. - Composite Structures 222 (2019). - Article Number: 110928

Almeida Jr., J.H.S. ; Bittrich, L. ; Nomura, T. ; Spickenheuer, A. :
Cross-section optimization of topologically-optimized variable-axial anisotropic composite structures. - Composite Structures 225 (2019). - Article Number: 111150

Aram, E. ; Ehsani, M. ; Khonakdar, H. A. ; Abdollahi, S. :

Improvement of electrical, thermal, and mechanical properties of poly(methyl methacrylate)/poly(ethylene oxide) blend using graphene nanosheets. - J. of Thermoplastic Composite Materials 32 (2019). - S. 1176-1189

Arzash, S. ; Shivers, J. ; Licup, A. J. ; Sharma, A. ; MacKintosh, F. C. :
Stress-stabilized subisostatic fiber networks in a ropelike limit. - Physical Review E 99 (2019). - Article Number: 042412

Aso, E. ; Martisson, I. ; Appelhans, D. ; Effenberg, C. ; Benseny-Cases, N. ; Cladera, J. ; Gouras, G. ; Ferrer, I. ; Klementieva, O. :

Poly(propylene imine) dendrimers with histidine-maltose shell as novel type of nanoparticles for synapse and memory protection. - Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine 17 (2019). - S. 198-209

Athanasίου, T. ; Auernhammer, G. ; Vlassopoulos, D. ; Petekidis, G. :
A high-frequency piezoelectric rheometer with validation of the loss angle measuring loop: application to polymer melts and colloidal glasses. - Rheologica Acta 58 (2019). - S. 619-637

Auernhammer, G. :

Magnetorheological gels in two and three dimensions: understanding the interplay between single particle motion, internal deformations, and matrix properties. - Archive of Applied Mechanics 89 (2019). - 153-165

Azevedo, H. ; Braunschweig, A.B. ; Chiechi, R.C. ; Claridge, S.A. ; Cronin, L. ; Fernandez, Y.D. ; Feizi, T. ; Hartmann, L. ; Huang, M. ; Miura, Y. ; Palma, M. ; Qiu, X. ; Ravoo, B.J. ; Schmidt, S. ; Turnbull, W.B. ; Werner, C. ; Zheng, Z. ; Zhou, D. :

New directions in surface functionalization and characterization: general discussion. - Faraday Discussions 219 (2019). - S. 252-261

Banerjee, S. S. ; Hait, S. ; Natarajan, T. S. ; Wießner, S. ; Stöckelhuber, K.W. ; Jehnichen, D. ; Janke, A. ; Fischer, D. ; Heinrich, G. ; Busfield, J. JC ; Das, A. :
Water-responsive and mechanically adaptive natural rubber composites by *in situ* modification of mineral filler structures. - Journal of Physical Chemistry B 123 (2019). - S. 5168-5175

Banerjee, S. S. ; Natarajan, T. S. ; Subramani Bhagavateshwaran, E. ; Wießner, S. ; Janke, A. ; Heinrich, G. ; Das, A. :
Temperature scanning stress relaxation behavior of water responsive and mechanically adaptive elastomer nanocomposites. - Journal of Applied Polymer Science 136 (2019). - Article Number: 48344

Basu, D. ; Agasty, A. ; Das, A. ;

Chattopadhyay, S. ; Sahu, P. ; Heinrich, G. :

Phase changing stearate ions as active fillers in multifunctional carboxylated acrylonitrile-butadiene composite: Exploring the role of zinc stearate. - Journal of Applied Polymer Science 136 (2019). - Article Number: 48271

Bellmann, J. ; Goswami, R. ; Girardo, S. ; Rein, N. ; Hosseinzadeh, Z. ; Hicks, M.R. ; Busskamp, V. ; Pyle, A.D. ; Werner, C. ; Sternecker, J. :

A customizable microfluidic platform for medium-throughput modeling of neuromuscular circuits. - Biomaterials 225 (2019). - Article Number: 119537

Besford, Q.A. ; Cavaliere, F. ; Caruso, F. :

Glycogen as a building block for advanced biological materials. - Advanced Materials 31 (2019). - Article Number: 1904625

Bhagavatheswaran, E. S. ; Das, A. ; Rastin, H. ; Saeidi, H. ; Vahabi, H. ; Najafi, F. ; Khonakdar, H. A. ; Formela, K. ; Jouyandeh, M. ; Zarrintaj, P. ; Saeb, M. R. :

The taste of waste: The edge of eggshell over calcium carbonate in acrylonitrile butadiene rubber. - Journal of Polymers and the Environment 27 (2019). - S. 2478-2489

Bhuyan, B. ; Srivastava, S. K. ; Pionteck, J. :

Multiwalled carbon nanotubes/ hectorite hybrid reinforced styrene butadiene rubber nanocomposite: Preparation and properties. - Polymer-Plastics Technology and Materials 58 (2019). - S. 537-546

Bittrich, L. ; Spickenheuer, A. ; Almeida Jr., J.H.S. ; Müller, S. ; Kroll, L. ; Heinrich, G. :

Optimizing variable-axial fiber-reinforced composite laminates: The direct fiber path optimization concept. - Mathematical Problems in Engineering (2019). - Article Number: 8260563

Bolvardi, B. ; Seyfi, J. ; Hejazi, I. ; Otadi, M. ; Khonakdar, H. A. ; Davachi, S. M. :

Towards an efficient and durable superhydrophobic mesh coated by PDMS/TiO₂ nanocomposites for oil/water separation. - Applied Surface Science 492 (2019). - S. 862-870

Bonadies, I. ; Longo, A. ; Androsch, R. ; Jehnichen, D. ; Göbel, M. ; Di Lorenzo, M.L. :
Biodegradable electrospun PLLA fibers containing the mosquito-repellent DEET. - European Polymer Journal 113 (2019). - S. 377-384

Borkner, C.B. ; Lentz, S. ; Müller, M. ; Fery, A. ; Scheibel, T. :
Ultra-thin spider silk films: Insights into spider silk assembly on surfaces. - ACS Applied Polymer Materials 1 (2019). - S. 3366-3374

Bothe, F. ; Deubel, A.-K. ; Hesse, E. ; Lotz, B. ; Groll, J. ; Werner, C. ; Richter, W. ; Hagmann, S. :

Treatment of focal cartilage defects in minipigs with zonal chondrocyte/mesenchymal progenitor cell constructs. - International Journal of Molecular Sciences 20 (2019). - Article Number: 653

Brasse, Y. ; Gupta, V. ; Schollbach, H.C.T. ; Karg, M. ; König, T. ; Fery, A. :

Mechanotunable plasmonic properties of colloidal assemblies. - Advanced Materials Interfaces 6 (2019). - Article Number: 1901678

Bräuer, M.; Edelman, M.; Lehmann, D.; Tuschla, M.:

Metall-Kunststoff-Verbunde: Modellversuche zur Optimierung = Metal Plastic Hybrids: Optimisation in model experiments. -

Materialwissenschaft u. Werkstofftechnik 50 (2019). - S. 1181-1195

Breier, A.; Guan, J.; Spickenheuer, A.:

Establishing an optical measuring method to determine the anisotropy of embroidered reinforcement structures. -

MRS Advances 4 (2019). - S. 1267-1274

Breier, A.; Schulze-Tanzil, G.; Meyer, M.; Rentsch, B.; Hoyer, M.; Rentsch, C.; Schröpfer, M.; Hahn, J.; Spickenheuer, A.; Heinrich, G.:

Tissue Engineering einer vorderen Kreuzbandplastik auf der Basis resorbierbarer, gestickter Träger. Teil II: Biofunktionalisierung und Tissue Engineering des triphasischen Konstrukts. -

GAK: Gummi Fasern Kunststoffe 72 (2019). - S. 110-117

Brierly, G.I.; Ren, J.; Baldwin, J.; Saifzadeh, S.; Theodoropoulos, C.; Tsurkan, M.; Lynham, A.; Hsu, E.; Nikolarakos, D.; Werner, C.;

Woodruff, M.A.; Hutmacher, D. W.; Bray, L.:

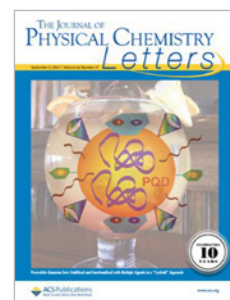
Investigation of sustained BMP delivery in the prevention of medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ) in a rat model. -

Macromolecular Bioscience 19 (2019). - Article Number: 1900226

Bucataru, F.; Ghiorghita, C.-A.; Schwarz, D.; Mihai, M.:

Layer-by-layer polyelectrolyte architectures with ultra-fast and high loading/release properties for copper ions. -

Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 579 (2019). - Article Number: 123704



Cao, X.-Z.; Merlitz, H.; Forest, M.G.:

Nanoparticle loading of unentangled polymers induces entanglement-like relaxation modes and a broad sol-gel transition. -

Journal of Physical Chemistry Letters 10 (2019). - S. 4968-4973

Cedano-Serrano, F.J.; Sidoli, U.; Synytska, A.;

Tran, Y.; Hourdet, D.; Creton, C.:

From molecular electrostatic interactions and hydrogel architecture to macroscopic underwater adherence. -

Macromolecules 52 (2019). - S. 3852-3862

Celikakaya, H.; Cosacak, M. I.; Papadimitriou, C.; Popova, H.;

Bhattarai, P.; Biswas, S.; Siddiqui, T.; Wistorf, S.;

Nevado-Alcalde, I.; Naumann, L.; Mashkaryan, V.;

Brandt, K.; Freudenberg, U.; Werner, C.; Kizil, C.:

GATA3 promotes the neural progenitor state but not neurogenesis in 3D traumatic injury model of primary human cortical astrocytes. -

Frontiers in Cellular Neuroscience 13 (2019). - Article Number: 23

Chae, S.; Chae, S.; Choi, M.; Park, H.M.; Lee, J.-O.; Lee, T.I.:

Blocking of the 1T-to-2H phase transformation of chemically exfoliated transition metal disulfides by using a "lattice lock". -

Nano Energy 56 (2019). - S. 65-73

Chae, S.; Jung, J.H.; Choi, W.J.; Park, J.K.; Baik, H.K.; Ko, H.W.:

Multilayer fabrication of unobtrusive poly(dimethylsiloxane) nanobrush for tunable cell adhesion. -

Scientific Reports 9 (2019). - Article Number: 1834

Chae, S.; Yu, J.; Oh, J.Y.; Lee, T.I.:

Hybrid poly (3-hexylthiophene) (P3HT) nanomesh/ZnO nanorod p-n junction visible photocatalyst for efficient indoor air purification. -

Applied Surface Science 496 (2019). -

Article Number: 143641

Chatterjee, T.; Hait, S.; Bhattacharyya, A.R.;

Das, A.; Wießner, S.; Naskar, K.:

Zinc salts induced ionomeric thermoplastic elastomers based on XNBR and PA12. -

Polymer-Plastics Technology and Materials 58 (2019). - 14 Seiten

Chatterjee, T.; Wießner, S.; Bhardwaj, Y. K.; Naskar, K.:

Exploring heat induced shape memory behaviour of alpha olefinic blends having dual network structure. -

Materials Science and Engineering B 240 (2019). - S. 75-84

Che, Y.; Zschoche, St.; Obst, F.; Appelhans, D.; Voit, B.:

Double-crosslinked reversible redox-responsive hydrogels based on disulfide-thiol interchange. -

Journal of Polymer Science Part A 57 (2019). - S. 2590-2601

Chen, R.; Poling-Skutvik, R.; Howard, M.P.;

Nikoubashman, A.; Egorov, S. A.; Conrad, J.C.; Palmer, J.C.:

Influence of polymer flexibility on nanoparticle dynamics in semidilute solutions. -

Soft Matter 15 (2019). - S. 1260-1268

Chen, S.Z.; Kuhne, P.; Stanishev, V.;

Knight, S.; Brooke, R.; Petsagkourakis, I.; Crispin, X.;

Schubert, M.; Darakchieva, V.; Jonsson, M.P.:

On the anomalous optical conductivity dispersion of electrically conducting polymers: ultra-wide spectral range ellipsometry combined with a Drude-Lorentz model. -

Journal of Materials Chemistry C 7 (2019). - S. 4350-4362

Chen, Y.; Pötschke, P.; Pionteck, J.; Voit, B.; Qi, H.:

Fe₃O₄ nanoparticles grown on cellulose/GO hydrogels as advanced catalytic materials for the heterogeneous fenton-like reaction. -

ACS Omega 4 (2019). - S. 5117-5125

Choi, S.; Friedrichs, J.; Song, Y. H.; Werner, C.;

Estroff, L.; Fischbach-Teschl, C.:

Intrafibrillar, bone-mimetic collagen mineralization regulates breast cancer cell adhesion and migration. -

Biomaterials 198 (2019). - S. 95-106

Chopra, U.; Egorov, S. A.; Sinova, J.; McNellis, E.R.:

Chemical and structural trends in the spin-admixture parameter of organic semiconductor molecules. -

Journal of Physical Chemistry C 123 (2019). - S. 19112-19118

Chopra, U.; Shambhawi, S.; Egorov, S. A.;

Sinova, J.; McNellis, E.R.:

Accurate and general formalism for spin-mixing parameter calculations. -

Physical Review B 100 (2019). - Article Number: 134410

Christ, J.; Aliheidari, N.; Pötschke, P.; Ameli, A.:

Bidirectional and stretchable piezoresistive sensors enabled by multimaterial 3D printing of carbon nanotube/thermoplastic polyurethane nanocomposites. -

Polymers 11 (2019). - Article Number: 11

Ciepluch, K.; Maciejewski, H.; Galczynska, K.; Kuc-Ciepluch, D.;

Bryszewska, M.; Appelhans, D.; Drulis-Kawa, Z.; Arabski, M.:

The influence of cationic dendrimers on antibacterial activity of phage endolysin against P. aeruginosa cells. -

Bioorganic Chemistry 91 (2019). - Article Number: 103121

Cordeiro, A. L.; Rückel, M.; Bartels, F.;

Maitz, M.F.; Renner, L.; Werner, C.:

Protein adsorption dynamics to polymer surfaces revisited - A multisystems approach. -

Biointerphases 14 (2019). - Article Number: 051005

Cucchi, M.; Matulaitis, T.; Kukhta, N.A.;

Grazulevicius, J.V.; Reineke, S.; Scholz, R.:

Influence of the dielectric constant around an emitter on its delayed fluorescence. -

Physical Review Applied 12 (2019). - Article Number: 044021

da Silva, C.; Pötschke, P.; Simon, F.; Holzschuh, M.;

Pionteck, J.; Heinrich, G.; Wießner, S.; Zimmerer, C.:

Synthesis and characterization of graphene derivatives for application in magnetic high-field induction heating. -

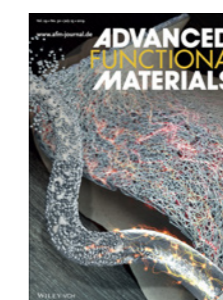
AIP Conference Proceedings 2055 (2019). -

Article Number: 130006 [5pp.]

Dalibor, I.H.; de Vargas Lisboa, T.; Marczak, R.J.; Amico, S. C.:

A geometric approach for filament winding pattern generation and study of the influence of the slippage coefficient. -

J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng. 41 (2019). - Article Number: 576



Dang, C.; Wang, M.; Chen, Y.; Zhou, S.;

Feng, X.; Liu, D.T.; Qi, H.:

Transparent, highly stretchable, rehealable, sensing, and fully recyclable ionic conductors fabricated by one-step polymerization based on a small biological molecule. -

Advanced Functional Materials 29

(2019). - Article Number: 1902467

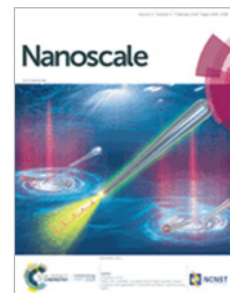
Das, C.; Bansod, N. D.; Kapgate, B. P.; Rajkumar, K.; Das, A.:

Incorporation of titania nanoparticles in elastomer matrix to develop highly reinforced multifunctional solution styrene butadiene rubber composites. -

Polymer 162 (2019). - S. 1-10

Del Castillo, G.F.D.; König, M.; Müller, M.; Eichhorn, K.-J.; Stamm, M.; Uhlmann, P.; Dahlina, A. B.:

Enzyme immobilization in polyelectrolyte brushes: High loading and enhanced activity compared to monolayers. - Langmuir 35 (2019). - S. 3479-3489



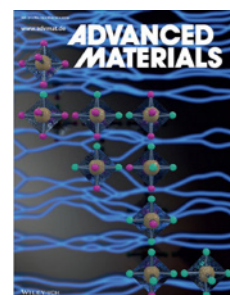
Dias, A.; Werner, M.; Ward, K.R.; Fleury, J. B.; Baulin, V. A.:

High-throughput 3D visualization of nanoparticles attached to the surface of red blood cells. - Nanoscale 11 (2019). - S. 2282-2288



Dockhorn, R.; Plüschke, L.; Geisler, M.; Zessin, J.; Lindner, P.; Mundil, R.; Merna, J.; Sommer, J.-U.; Lederer, A.:

Polyolefins formed by chain walking catalysis - A matter of branching density only?. - Journal of the American Chemical Society 141 (2019). - S. 15586-15596



Dollinger, F.; Lim, K.G.; Li, Y.; Guo, E.; Formanek, P.; Hübner, R.; Fischer, A.; Kleemann, H.; Leo, K.:

Vertical organic thin-film transistors with an anodized permeable base for very low leakage current. - Advanced Materials 31 (2019). - Article Number: 1900917

Domurath, J.; Ausias, G.; Férec, J.; Heinrich, G.; Saphiannikova, M.:

A model for the stress tensor in dilute suspensions of rigid spheroids in a generalized Newtonian fluid. - Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 264 (2019). - S. 73-84

Drechsler, A.; Frenzel, R.; Caspari, A.; Michel, St.; Holzschuh, M.; Synytska, A.; Curosu, I.; Liebscher, M.; Mechtcherine, V.:

Surface modification of poly(vinyl alcohol) fibers to control the fiber-matrix interaction in composites. - Colloid and Polymer Science 297 (2019). - S. 1079-1093

Drechsler, A.; Frenzel, R.; Caspari, A.; Michel, St.; Holzschuh, M.; Synytska, A.; Liebscher, M.; Curosu, I.; Mechtcherine, V.:

Surface modification of polymeric fibers to control the interactions with cement-based matrices in fiber-reinforced composites. - Key Engineering Materials 809 (2019). - S. 225-230

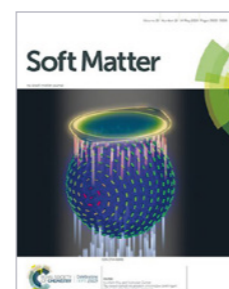


Eckert, V.; Haubold, E.; Oswald, S.; Michel, St.; Bellmann, C.; Potapov, P.; Wolf, D.; Hampel, S.; Büchner, B.; Mertig, M.; Leonhardt, A.:

Investigation of the surface properties of different highly aligned N-MWCNT carpets. - Carbon 141 (2019). - S. 99-116

Eggers, F.; Almeida Jr., J.H.S.; Azevedo, C.B.; Amico, S. C.:

Mechanical response of filament wound composite rings under tension and compression. - Polymer Testing 78 (2019). - Article Number: 105951



Ehrburger-Dolle, F.; Morfin, I.; Bley, F.; Livet, F.; Heinrich, G.; Chushkin, Y.; Sutton, M.:

Anisotropic and heterogeneous dynamics in stretched elastomer nanocomposites. - Soft Matter 15 (2019). - S. 3796-3806

Eigel, D.; Zoupi, L.; Sekizar, S.; Welzel, P.; Werner, C.; Williams, A.; Newland, B.:

Cryogel scaffolds for regionally constrained delivery of lysophosphatidylcholine to central nervous system slice cultures: A model of focal demyelination for multiple sclerosis research. - Acta Biomaterialia 97 (2019). - S. 216-229

Enders, K.; Käppler, A.; Biniash, O.; Feldens, P.; Stollberg, N.; Lange, X.; Fischer, D.; Eichhorn, K.-J.; Pollehne, F.; Oberbeckmann, S.; Labrenz, M.:

Tracing microplastics in aquatic environments based on sediment analogies. - Scientific Reports 9 (2019). - Article Number: 15207

Engelke, J.; Brandt, J.; Barner-Kowollik, C.; Lederer, A.:

Strengths and limitations of size exclusion chromatography for investigating single chain folding - current status and future perspectives. - Polymer Chemistry 10 (2019) mit Cover. - S. 3410-3425

Entezam, M.; Ehghaghiyan, A.;

Sedeh, N. N.; Jafari, S.H.; Khonakdar, H. A.:

Physicomechanical and antimicrobial characteristics of hydrogel based on poly(vinyl alcohol): Performance improvement via inclusion of chitosan-modified nanoclay. - Journal of Applied Polymer Science 136 (2019). - Article Number: 47444

Farshchi, N.; Abbasian, A.; Larijani, K.:

Is inverse gas chromatography (IGC) a convenient method to determine compatibility of rubber materials?. - Chromatographia 82 (2019). - S. 1709-1719

Fechter, R.; Kühnert, I.; Sandrock, C.; Labuschagné, J.:

Modelling and optimization of the mechanical and other material properties of a polymer nanocomposite using statistical design of experiments. - AIP Conference Proceedings 2055 (2019). - Article Number: 050013 [5pp.]

Fechter, R.; Sandrock, C.; Kühnert, I.; Labuschagne, F.J.W.:

Modelling and optimization of a flexible poly(vinyl chloride) compound formulation for mine cables. - Journal of Vinyl and Additive Technology 25 (2019) S1. - S. E44-E58

Ferrari, F.; Paturej, J.; Piatek, M.; Zhao, Y.:

Knots, links, anyons and statistical mechanics of entangled polymer rings. - Nuclear Physics B 945 (2019). - Article Number: UNSP 114673

Fettweis, G.; Dörpinghaus, M.; Castrillon, J.; Kumar, A.; Baier, C.; Bock, K.; Ellinger, F.; Fery, A.; Fitzek, F.H.P.; Härtig, H.;

Jamshidi, K.; Kissinger, T.; Lehner, W.; Mertig, M.; Nagel, W.E.; Nguyen, G.T.; Plettemeier, D.; Schröter, M.; Strufe, T.:

Architecture and advanced electronics pathways toward highly adaptive energy-efficient computing. - Proceedings of the IEEE 107 (2019). - S. 204-231

Fingernagel, J.; Boye, S.; Kietz, A.; Höbel, S.;

Wozniak, K.; Moreno, S.; Janke, A.; Lederer, A.; Aigner, A.; Temme, A.; Voit, B.; Appelhans, D.:

Mono- and polyassociation processes of pentavalent biotinylated PEI glycopolymers for the fabrication of biohybrid structures with targeting properties. - Biomacromolecules 20 (2019). - S. 3408-3424

Fischer, D.; Fischer, F.; Brandt, J.; Bittrich, L.; Eichhorn, K.-J.; Fischer, H.; Hollricher, K.; Böhmler, M.:

Find, classify and identify microparticles with raman imaging. - Imaging & Microscopy 21 (2019). - S. 16-17

Fischer, D.; Käppler, A.; Fischer, F.;

Brandt, J.; Bittrich, L.; Eichhorn, K.-J.:

Identifizierung von Mikroplastik in Umweltproben: Kombination von Partikelanalyse mit FTIR- und Raman-Mikroskopie. - GIT Labor-Fachzeitschrift 63 (2019). - S. 38-40

Fischer, D.; Käppler, A.; Fischer, F.;

Brandt, J.; Bittrich, L.; Eichhorn, K.-J.:

Identification of microplastics in environmental samples - Combination of particle analysis with FTIR and raman microscopy. - GIT Laboratory Journal Europe 23 (2019). - S. 43-45

Fischer, M.; Pöhlmann, P.; Kühnert, I.:

Morphology and mechanical properties of micro injection molded polyoxymethylene tensile rods. - Polymer Testing 80 (2019). - Article Number: 106078

Folini, J.; Huang, C.-H.; Anderson, J.C.; Meier, W.; Gaitzsch, J.:

Novel monomers in radical ring-opening polymerisation for biodegradable and pH responsive nanoparticles. - Polymer Chemistry 10 (2019). - S. 5285-5288

Fredi, G.; Brüning, H.; Vogel, R.; Scheffler, C.:

Melt-spun polypropylene filaments containing paraffin microcapsules for multifunctional hybrid yarns and smart thermoregulating thermoplastic composites. - eXPRESS Polymer Letters 13 (2019). - S. 1071-108

Freudenberg, U.; Atallah, P.; Limasale, Y. D. P.; Werner, C.:

Charge-tuning of glycosaminoglycan-based hydrogels to program cytokine sequestration. -

Faraday Discussions 219 (2019). - S. 244-251

Fromont, J.; Zoltowska-Aksamitowska, S.; Galli, R.;

Meissner, H.; Erpenbeck, D.; Vacelet, J.; Diaz, C.;

Tsurkan, M.; Petrenko, I.; Youssef, D.T.A.; Ehrlich, H.:

New family and genus of a Dendrilla-like sponge with characters of Verongiida.

Part II. Discovery of chitin in the skeleton of *Ernstilla lacunosa*.

- Zoologischer Anzeiger 290 (2019). - S. 21-29

Galuschko, A.; Sommer, J.-U.:

Co-nonsolvency response of a polymer brush: A molecular dynamics study. -

Macromolecules 52 (2019). - S. 4120-4130

Gast, F.-U.; Baudisch, F.; Bohatzsch, T.;

Wegener, T.; Zimmermann, R.:

Mischen von Tröpfchen im Flug zum orts-aufgelösten 3D-Druck von Hydrogelen. -

BIOspektrum 25 (2019). - S. 650-651



Gebhart, T.; Jehnichen, D.;

Koschichow, R.; Müller, M.;

Göbel, M.; Geske, V.;

Stegemann, M.; Gude, M.:

Multi-scale modelling approach to homogenise the mechanical properties of polymeric closed-cell bead foams. -

International Journal of Engineering Science 145 (2019). - Article Number: 103168

Gebrekrstos, A.; Biswas, S.; Menon, A.V.

Madras, G.; Pötschke, P.; Bose, S.:

Multi-layered stack consisting of PVDF nano-composites with flow-induced oriented MWCNT structure can suppress electromagnetic radiation. -

Composites Part B 166 (2019). - S. 749-757

Geisler, M.; Smith, W.C.; Plüschke, L.; Mundil, R.;

Merna, J.; Williams, S.K.R.; Lederer, A.:

Topology analysis of chain walking polymerized polyethylene: An alternative approach for the branching characterization by thermal FFF. -

Macromolecules 52 (2019). - S. 8662-8671

Gevers, B. R.; Naseem, S.; Leuteritz, A.; Labuschagne, F.J.W.:

Comparison of nano-structured transition metal modified tri-metal Mg/Al-LDHs (M = Fe, Zn, Cu, Ni, Co) prepared using co-precipitation. -

RSC Advances 9 (2019). - S. 28262-28275

Ghorai, S.; Mondal, D.; Hait, S.;

Ghosh, A. K.; Wießner, S.; Das, A.; De, D.:

Devulcanization of waste rubber and generation of active sites for silica reinforcement. -

ACS Omega 4 (2019). - S. 17623-17633

Glatz, B.A.; Fery, A.:

The influence of plasma treatment on the elasticity of the *in situ* oxidized gradient layer in PDMS: towards crack-free wrinkling. -

Soft Matter 15 (2019). - 65-72

Gnanaseelan, M.; Samanta, S.; Pionteck, J.;

Jehnichen, D.; Simon, F.; Pötschke, P.; Voit, B.:

Vanadium salt assisted solvothermal reduction of graphene oxide and the thermoelectric characterisation of the reduced graphene oxide in bulk and as composite. -

Materials Chemistry and Physics 229 (2019). - S. 319-329

Gohs, U.; Böhm, R.; Brünig, H.; Fischer, D.; Häußler, L.; Kirsten,

M.; Malanin, M.; Müller, M. T.; Cherif, C.; Wolz, D. S. J.; Jäger, H.:

Electron beam treatment of polyacrylonitrile copolymer above the glass transition temperature in air and nitrogen atmosphere. -

Radiation Physics and Chemistry 156 (2019). - S. 22-30

Gohs, U.; Böhm, R.; Brünig, H.; Fischer, D.; Leopold, A.-K.;

Malanin, M.; Müller, M. T.; Cherif, C.; Wolz, D. S. J.; Jäger, H.:

Influence of gas atmosphere on electron-induced reactions of polyacrylonitrile homopolymer powder at elevated temperature. -

Radiation Physics and Chemistry 158 (2019). - S. 94-102

Gomez, N.A.G.; Leuteritz, A.; Wypych, F.:

P-aminobenzoate intercalation into layered nickel hydroxide salt using a hydrothermal methodology: Synthesis, characterization, and evaluation as potential ultraviolet radiation absorber properties of polyethylene. -

AIP Conference Proceedings 2065 (2019). - Article Number: 030022

Gorbet, M.; Sperling, C.; Maitz, M.F.;

Siedlecki, C.A.; Werner, C.; Sefton, M.V.:

The blood compatibility challenge. Part 3: Material associated activation of blood cascades and cells. -

Acta Biomaterialia 94 (2019). - S. 25-32

Gorenkova, N.; Osama, I.; Seib, F. P.; Carswell, H.V.O.:

***In vivo* evaluation of engineered self-assembling silk fibroin hydrogels after intracerebral injection in a rat stroke model.** -

ACS Biomaterials Science & Engineering 5 (2019). - S. 859-869

Gorzkiwicz, M.; Appelhans, D.; Boye, S.;

Lederer, A.; Voit, B.; Klajnert-Maculewicz, B.:

Effect of the structure of therapeutic adenosine analogues on stability and surface electrostatic potential of their complexes with poly(propyleneimine) dendrimers. -

Macromolecular Rapid Communications 40 (2019). - Article Number: 1900181

Gorzkiwicz, M.; Deriu, M. A.; Studzian, M.;

Janaszewska, A.; Grasso, G.; Pulaski, L.;

Appelhans, D.; Danani, A.; Klajnert-Maculewicz, B.:

Fludarabine-specific molecular interactions with maltose-modified poly(propyleneimine) dendrimer enable effective cell entry of active drug form: comparison with clofarabine. -

Biomacromolecules 20 (2019). - S. 1429-1442

Gorzkiwicz, M.; Janaszewska, A.; Ficker, M.; Svenningsen, S.W.;

Christensen, J. B.; Klajnert-Maculewicz, B.:

Pyrrolidone-modified PAMAM dendrimers enhance anti-inflammatory potential of indomethacin *in vitro*. -

Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 181 (2019). - S. 959-962

Goßler, F.; Steiner, A. M.; Stroyuk, O.; Raevskaya, A.; König, T.:

Active plasmonic colloid-to-film-coupled cavities for tailored light-matter interactions. -

Journal of Physical Chemistry C 123 (2019). - S.6745-6752

Götze, T.; Hickmann, R.; Storm, J.;

Wießner, S.; Cherif, C.; Kaliske, M.:

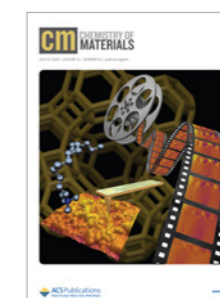
Optimierung des Kraft/Dehnungs-Verhaltens von Hybrid-garnen in Elastomerbauteilen. -

Kautschuk Gummi Kunststoffe 72 (2019)1-2. - S. 35-43

Grätz, S.; Komber, H.; Bauer, M.; Voit, B.:

A Diels-Alder reaction between cyanates and cyclopentadienone-derivatives - a new class of crosslinkable oligomers. -

Polymer Chemistry 10 (2019). - S. 698-704



Grönke, M.; Arrozi, U.S.F.; Bronkalla, N.;

Schmidt, P.; Valldor, M.; Oswald, S.;

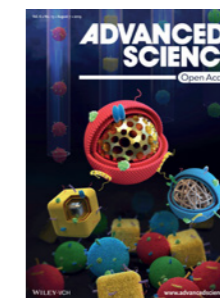
Woodcock, T.G.; Eckert, V.; Hao, Q.;

Plüschke, L.; Lederer, A.; Nielsch, K.;

Buchner, B.; Kaskel, S.; Hampel, S.:

Layered alpha-TiCl3: Microsheets on YSZ substrates for ethylene polymerization with enhanced activity. -

Chemistry of Materials 31 (2019). - S. 5305-5313



Gumz, H.; Boye, S.; Lyisan, B.;

Krönert, V.; Formanek, P.; Voit, B.;

Lederer, A.; Appelhans, D.:

Towards functional synthetic cells: In-depth study of nanoparticle and enzyme diffusion through a cross-linked polymersome membrane. -

Advanced Science 6 (2019). - Article Number: 1801299

Guo, J.; Omar, A.; Urbanski, A.;

Oswald, S.; Uhlmann, P.; Giebeler, L.:

Electrochemical behavior of microparticulate silicon anodes in ether-based electrolytes: Why does LiNO₃ affect negatively?. -

ACS Applied Energy Materials 2 (2019). - S. 4411-4420

Guo, Y.; Werner, M.; Li, W.; Sommer, J.-U.; Baulin, V. A.:

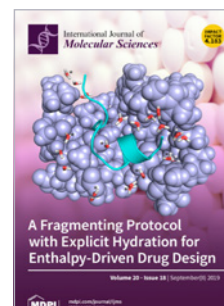
Shape-adaptive single-chain nanoparticles interacting with lipid membranes. -

Macromolecules 52 (2019). - S. 9578-9584

Gupta, V. ; Probst, P. T. ; Gofßler, F. ; Steiner, A. M. ; Schubert, J. ; Brasse, Y. ; König, T. ; Fery, A. :

Mechanotunable surface lattice resonances in the visible optical range by soft lithography templates and directed self-assembly. -

ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 28189-21196



Hahn, J. ; Schulze-Tanzil, G. ; Schröpfer, M. ; Meyer, M. ; Gögele, C. ; Hoyer, M. ; Spickenheuer, A. ; Heinrich, G. ; Breier, A. :

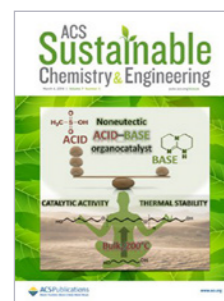
Viscoelastic behavior of embroidered scaffolds for ACL tissue engineering made of PLA and P(LA-CL) after *in vitro* degradation. -

International Journal of MolecularSciences 20 (2019). - Article Number: 4655

Hamsch, M. ; Erdmann, T. ; Chew, A.R. ; Bernstorff, S. ; Salleo, A. ; Kiriya, A. ; Voit, B. ; Mannsfeld, S. :

Increased charge carrier mobility and molecular packing of a solution sheared diketopyrrolopyrrole-based donor-acceptor copolymer by alkyl side chain modification. -

Journal of Materials Chemistry C 7 (2019). - S. 3665-3674



Hassan, G. ; Forsman, N. ; Wan, X. ; Keurulainen, L. ; Bimbo, L. M. ; Johansson, L.-S. ; Sipari, N. ;

Yli-Kauhaluoma, J. ; Zimmermann, R. ; Stehl, S. ; Werner, C. ; Saris, P. E. J. ; Österberg, M. ; Moraira, V. M. :

Dehydroabietylamine-based cellulose nanofibril films:

A new class of sustainable biomaterials for highly efficient, broad-spectrum antimicrobial effects. -

ACS Sustainable Chemistry & Engineering 7 (2019). - S. 5002-5009

Heinrich, G. ; Schneider, K. ; Euchler, E. ; Muraoka, K. ; Tada, T. :

Rubber failure analysis. -

Tire Technology International November (2019). - S. 24-26

Heinze, M. ; Starke, S. ; Händler, M. ; Komber, H. ; Drache, M. ; Moszner, N. ; Voit, B. ; Pospiech, D. :

Combination of nuclear magnetic resonance spectroscopy and nonlinear methods to analyze the copolymerization of phosphonic acid derivatives. -

Journal of Applied Polymer Science 136 (2019). - Article Number: 48256

Henrich, F. ; Linke, D. ; Sauer, H. M. ; Dörsam, E. ; Hardt, S. ; Butt, H.-J. ; Auernhammer, G. :

Forced dynamic dewetting of structured surfaces: Influence of surfactants. -

Physical Review Fluids 4 (2019). - Article Number: 124202

Herma, R. ; Wrobel, D. ; Liegertová, M. ; Müllerová, M. ; Strasák, T. ; Maly, M. ; Semeradtova, A. ; Stofik, M. ; Appelhans, D. ; Maly, J. :

Carbosilane dendrimers with phosphonium terminal groups are low toxic non-viral transfection vectors for siRNA cell delivery. -

International Journal of Pharmaceutics 562 (2019). - S. 51-65

Hilfiker, M. ; Kilic, U. ; Mock, A. ; Darakchieva, V. ; Knight, S. ; Korlacki, R. ; Mauze, A. ; Zhang, Y. ; Speck, J. ; Schubert, M. :

Dielectric function tensor (1.5 eV to 9.0 eV), anisotropy, and band to band transitions of monoclinic -(Al_xGa_{1-x})(2)O-3 (x 0.21) films. -

Applied Physics Letters 114 (2019). - Article Number: 231901

Holland, C. ; Numata, K. ; Rnjak-Kovacina, J. ; Seib, F. P. :

The biomedical use of silk: Past, present, future. -

Advanced Healthcare Materials 8 (2019). - Article Number: 1800465

Horatz, K. ; Ditte, K. ; Prenveille, T. ; Zhang, K. ; Jehnichen, D. ; Kiriya, A. ; Voit, B. ; Lissel, F. :

Amorphous conjugated polymers as efficient dual-mode MALDI matrices for low-molecular-weight analytes. -

ChemPlusChem 84 (2019). - S. 1338-1345

Horn, C. ; Pospiech, D. ; Zessin, J. ; Stein, S. ; Jehnichen, D. ; Komber, H. ; Göbel, M. ; Voit, B. ; Kiriya, A. :

Synthesis and characterization of a regioregular side-chain semifluorinated polythiophene. -

Physica Status Solidi A 216 (2019). - Article Number: 1800747

Hosseini, F. ; Entezam, M. ; Jafari, S.H. ; Khonakdar, H. A. ; Abdouss, M. :

On physical and antibacterial properties and drug release behavior of poly(vinyl alcohol) hydrogels: effect of drug loaded chitosan nanoparticles. -

Polymer-Plastics Technology and Engineering 58 (2019). - S. 732-741

Hosseini, H. ; Teymouri, M. ; Saboor, S. ; Khalili, A. ; Goodarzi, V. ; Hajipour, F.P. ; Khonakdar, H. A. ; Shojaei, S. ; Asefnejad, A. ; Bagheri, H. :

Challenge between sequence presences of conductive additives on flexibility, dielectric and super-capacitance behaviors of nanofibrillated template of bacterial cellulose aerogels. -

Huang, W. ; Zhang, T. ; Shi, P. ; Yang, D. ; Luo, S. ; Voit, B. ; Appelhans, D. ; Zan, X. ; Chen, H. :

The construction and effect of physical properties on intracellular drug delivery of poly(amino acid) capsules. -

Huang, Y. ; Gohs, U. ; Müller, M. T. ; Zszech, C. ; Wiefßner, S. :
Evaluation of electron induced crosslinking of masticated natural rubber at different temperatures. -

Huang, Y. ; Gohs, U. ; Müller, M. T. ; Zszech, C. ; Wiefßner, S. :
Electron beam treatment of polylactide at elevated temperature in nitrogen atmosphere. -

Huang, Y. ; Gohs, U. ; Müller, M. T. ; Zszech, C. ; Wiefßner, S. :
Evaluation of electron beam-induced crosslinking of poly(e-caprolactone) - Effect of elevatedtemperatures. -

Illytskyi, J. ; Toshchevikov, V. ; Saphiannikova, M. :

Modeling of the photo-induced stress in azobenzene polymers by combining theory and computer simulations. -

Soft Matter 15 (2019). - S. 9894-9908

Jaeger, S. ; Leuteritz, A. ; de Freitas, R.A. ; Wypych, F. :

Rheological properties of low-density polyethylene filled with hydrophobic Co(Ni)-Al layered double hydroxides. -

Polimeros - Ciencia e Tecnologia 29 (2019). - e2019007, S. 1-13

Janaszewska, A. ; Lazniewska, J. ; Trzepinski, P. ; Marcinkowska, M. ; Klajnert-Maculewicz, B. :

Cytotoxicity of dendrimers. -

Jariyavidyanont, K. ; Janke, A. ; Androsch, R. :
Crystal self-nucleation in polyamide 11 of different semicrystalline morphology. -

Jariyavidyanont, K. ; Janke, A. ; Androsch, R. :
Crystal self-nucleation in polyamide 11 of different semicrystalline morphology. -

Jariyavidyanont, K. ; Janke, A. ; Androsch, R. :
Crystal self-nucleation in polyamide 11. -

Jehnichen, D. ; Pospiech, D. ; Berndt, A. ; Gomoll, S. ; Natkowski, E. ; Plötner, M. :
X-ray characterization of crosslinked methacrylate copolymers for application as dielectric layers in organic electronics. -

Jiang, X. ; Zhao, B. ; Chen, L. :
Sessile microdrop coalescence on partial wetting surfaces: Effects of surface wettability and stiffness. -

Jopp, S. ; Molenda, R. ; Seiler, E.R.D. ; Maitz, M.F. ; Villinger, A. ; Ehlers, P. ; Langer, P. :
Total synthesis of dabigatran revisited; Synthesis of amidine-tosylated dabigatran. -

Jüttner, G.; Nguyen-Chen, T.; Kühnert, I.:

Simulation en miniature. Mikrospritzgieß-Füllsimulation mit angepassten Materialdaten in die Praxis umgesetzt. - Kunststoffe (2019)11. - S. 42-43

Kananizadeh, N.; Lee, J.; Mousavi, E.;

Rodenhausen, K. B.; Sekora, D.; Schubert, M.;

Bartelt-Hunt, S.; Schubert, E.; Zhang, J.M.; Li, Y.:

Deposition of titanium dioxide nanoparticles onto engineered rough surfaces with controlled heights and properties. - Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 571 (2019). - S. 125-133



Kananizadeh, N.; Peev, D.; Delon, T.; Schubert, E.; Bartelt-Hunt, S.; Schubert, M.; Zhang, J.M.; Uhlmann, P.; Lederer, A.; Li, Y.:

Visualization of label-free titanium dioxide nanoparticle deposition on surfaces with nanoscale roughness. - Environmental Science-Nano 6 (2019). - S. 248-260

Karimpour-Motlagh, N.; Khonakdar, H. A.; Jafari, S.H.;

Panahi-Sarmad, M.; Javadi, A.; Shojaei, S.; Goodarzi, V.:

An experimental and theoretical mechanistic analysis of thermal degradation of polypropylene/polylactic acid/clay nanocomposites. - Polymers for Advanced Technologies 30 (2019). - S. 2695-2706

Karpov, Y.; Kiriya, N.; Zessin, J.; Hamsch, M.; Mannsfeld, S.;

Lissel, F.; Beryozkina, T.; Bakulev, V.; Voit, B.; Kiriya, A.:

Layer-by-layer assembly enabled by the anionic p-dopant CN6-CP*-K+: a route to achieve interfacial doping of organic semiconductors. - ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 4159-4168

Kauschke, V.; Hessland, F.M.; Vehlow, D.;

Müller, M.; Heiss, C.; Lips, K. S.:

High concentrations of polyelectrolyte complex nanoparticles decrease activity of osteoclasts. - Molecules 24 (2019). - Article Number: 2346

Ke, K.; Wang, Y.; Li, Y.; Yang, J.; Pötschke, P.; Voit, B.:

Nuomici-inspired universal strategy for boosting piezoresistive sensitivity and elasticity of polymer nanocomposite-based strain sensors. - ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 35362-35370

Kebritchi, A.; Nekoomansh, M.; Mohammadi, F.;

Khonakdar, H. A.; Wagenknecht, U.:

Thermal behavior of ethylene/1-octene copolymer fractions at high temperatures: Effect of hexyl branch content. - Polyolefins Journal 6 (2019). - S. 127-138

Khang, D. Q.; Lien, T.K.; Hai, L.N.; Minh, D.Q.; Sy, F.T.; Hai, L.H.:

Study on preparation and properties of rubber blends based on nitrile butadiene rubber and chloroprene rubber. - Macromolecular Symposia 384 (2019). - Article Number: 1800169

Khatiwada, S. P.; Gohs, U.; Lach, R.; Heinrich, G.; Adhikari, R.:

A new way of toughening of thermoset by dual cured thermoplastic/thermosetting blend. - Materials 12 (2019). - Article Number 548

Kiani, F.; Entezam, M.; Khonakdar, H. A.;

Jafari, S.H.; Callsen, C.; Altstädt, V.:

Assessment of compatibilization role of nanoclay in immiscible polystyrene/ethylene-octene copolymer blends via wide-angle X-ray scattering, microstructure, rheological analyses, and mechanical properties. - Journal of Applied Polymer Science 137 (2019). - Article Number: 48748

Kilic, U.; Mock, A.; Feder, R.; Sekora, D.; Hilfiker, M.;

Korlacki, R.; Schubert, E.; Argyropoulos, C.; Schubert, M.:

Tunable plasmonic resonances in Si-Au slanted columnar heterostructure thin films. - Scientific Reports 9 (2019). - Article Number: 71

Kirillova, A.; Marschelke, C.; Synytska, A.:

Hybrid Janus particles: Challenges and opportunities for the design of active functional interfaces and surfaces. - ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 9643-9671

Klinger, Ch.; Zoltowska-Aksamitowska, S.;

Wysokowski, M.; Tsurkan, M.; Galli, R.; et al.:

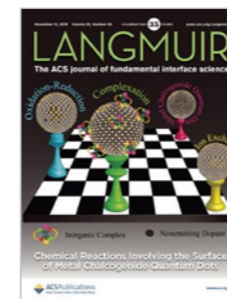
Express method for isolation of ready-to-use 3D chitin scaffolds from Aplysina archeri (Aplysineidae: Verongiida) demosponge. - Marine Drugs 17 (2019). - Article Number: 131

Klushin, L.I.; Skvortsov, A.M.; Qi, S.H.; Kreer, T.; Schmidt, F.:

Polydispersity effects on interpenetration in compressed brushes. - Macromolecules 52 (2019). - S. 1810-1820

Knight, S.; Prabhakaran, D.; Binek, C.; Schubert, M.:

Electromagnon excitation in cupric oxide measured by Fabry-Perot enhanced terahertz Mueller matrix ellipsometry. - Scientific Reports 9 (2019). - Article Number: 1353



Koch, M.; Saphiannikova, M.;

Guskova, O.:

Do columns of azobenzene stars disassemble under light illumination? - Langmuir 35 (2019). - S. 14659-14669

König, M.; König, U.; Eichhorn, K.-J.;

Müller, M.; Stamm, M.; Uhlmann, P.:

In situ-investigation of enzyme immobilization on polymer brushes. - Frontiers in Chemistry 7 (2019). - Article Number: 101

Kovalchuk, V.; Voronkina, A.; Binnewerg, B.; Schubert, M.;

Muzychka, L.; Wysokowski, M.; Tsurkan, M.; Bechmann, N.;

Petrenko, I.; Fursov, A.; Martinovic, R.; Ivanenko, V.N.; Fromont, J.;

Smolii, O.B.; Joseph, Y.; Giovine, M.; Erpenbeck, D.; Gelinsky, M.;

Springer, A.; Guan, K.; Bornstein, S. R.; Ehrlich, H.:

Naturally drug-loaded chitin: Isolation and applications. - Marine Drugs 17 (2019). - Article Number: 574

Krause, B.; Barbier, C.; Levente, J.; Klaus, M.; Pötschke, P.:

Screening of different carbon nanotubes in melt-mixed polymer composites with different polymer matrices for their thermoelectrical properties. - Journal of Composites Science 3 (2019). - Article Number: 106

Krause, B.; Kroschwald, L.; Pötschke, P.:

The influence of the blend ratio in PA6/PA66/MWCNT blend composites on the electrical and thermal properties. - Polymers 11 (2019). - Article Number: 122

Krause, B.; Pötschke, P.; Hickmann, T.:

Improvement of electrical resistivity of highly filled graphite/PP composite based bipolar plates for fuel cells by addition of carbon black. - AIP Conference Proceedings 2139 (2019). - Article Number: 110006

Krause, B.; Rzeczkowski, P.; Pötschke, P.:

Thermal conductivity and electrical resistivity of melt-mixed polypropylene composites containing mixtures of carbon-based fillers. - Polymers 11 (2019). - Article Number: 1073

Krieg, E.; Rybtchinski, B.;

Niazov-Elkan, A.; Cohen, E.; Tsarfati, Y.:

Noncovalent aqua materials based on perylene diimides. - Accounts of Chemical Research 52 (2019). - S. 2634-2646

Krieghoff, J.; Picke, A.-K.; Salbach-Hirsch, J.; Rother, S.;

Heinemann, C.; Bernhardt, R.; Kascholke, C.; Möller, S.;

Rauner, M.; Schnabelrauch, M.; Hintze, V.; Scharnweber, D.;

Schulz-Siegmund, M.; Hacker, M.; Hofbauer, L. C.; Hofbauer, C.:

Increased pore size of scaffolds improves coating efficiency with sulfated hyaluronan and mineralization capacity of osteoblasts. - Biomaterials Research 23 (2019). - Article Number: 26

Kruppke, I.; Scheffler, C.; Simon, F.; Hund, R.-D.; Cherif, C.:

Surface treatment of carbon fibers by oxy-fluorination. - Materials 12 (2019). - Article Number: 565

Kumar, A. G.; Saha, S.; Komber, H.; Tiwari, B. R.;

Ghangrekar, M. M.; Voit, B.; Banerjee, S.:

Trifluoromethyl and benzyl ether side groups containing novel sulfonated co-poly(ether imide)s: Application in microbial fuel cell. - European Polymer Journal 118 (2019). - S. 451-464

Kumar, L. ; Horechyy, A. ; Bittrich, E. ;
Nandan, B. ; Uhlmann, P. ; Fery, A. :

Amphiphilic block Copolymer micelles in selective solvents: The effect of solvent selectivity on micelle formation. -

Polymers 11 (2019). - Article Number: 1882



Kunisch, E. ; Knauf, A.-K. ; Hesse, E. ;
Freudenberg, U. ; Werner, C. ; Bothe, F. ;
Diederichs, S. ; Richter, W. :

StarPEG/heparin-hydrogel based *in vivo* engineering of stable bizonal cartilage with a calcified bottom layer. -

Biofabrication 11 (2019). -
Article Number: 015001

Kunz, K. ; Krause, B. ; Kretschmar, B. ; Juhasz, L. ;
Kobsch, O. ; Jenschke, W. ; Ulrich, M. ; Pötschke, P. :

Direction dependent electrical conductivity of polymer/carbon filler composites. -

Polymers 11 (2019). - Article Number: 591

Kuttner, C. ; Holler, R.P.M. ; Quintanilla, M. ; Schnepf, M. J. ;
Dulle, M. ; Fery, A. ; Liz-Marzan, L. M. :

SERS and plasmonic heating efficiency from anisotropic core/satellite superstructures. -

Nanoscale 11 (2019). - S. 17655-17663

Lang, M. :

Cyclic structures in polymer model networks. -

Macromolecular Symposia 385 (2019). - Article Number: 1800168

Lang, M. :

On the elasticity of polymer model networks containing finite loops. -

Macromolecules 52 (2019). - S. 6266-6273

Lang, M. ; Böhme, F. :

Competing exchange and irreversible reactions in a linear co-polycondensation lead to a broad composition window where tunable high molecular weight polymers can be prepared. -

Macromolecular Theory and Simulations 28 (2019). -
Article Number: 1800069

Lappan, U. ; Rau, C. ; Naas, C. ; Scheler, U. :

Odd-even effect on rotational dynamics of spin-labeled polyacid chain segments in polyelectrolyte multilayers. -

Macromolecules 52 (2019). - S. 2384-2392

Lappan, U. ; Scheler, U. :

Polyanion substitution in polyelectrolyte complex dispersions studied by spin-label EPR spectroscopy. -

Macromolecules 52 (2019). - 7218-7223

Lauer, K. ; Krischok, S. ; Klein, T. ; Bähr, M. ;
Lawerenz, A. ; Röder, R. ; Ortlepp, T. ; Gohs, U. :

Light-induced degradation in annealed and electron irradiated silicon. -

Physica Status Solidi A 216 (2019). - Article Number: 1900284

Lederer, A. :

Guillaume Greyling and Harald Pasch:

Thermal field-flow fractionation of polymers. -

Analytical and Bioanalytical Chemistry 411 (2019). - S. 7337-7338

Lee, G. ; Choi, M. ; Chae, S. ; et al. :

Scratch to sensitize: scratch-induced sensitivity enhancement in semiconductor thin-film sensors. -

Nanoscale 11 (2019). - S. 15374-15381

Lee, G. ; Jung, D.W. ; Lee, W. ; Nah, S. ; Hwang, J.Y. ;

Lee, S.S. ; Park, S. ; Chae, S. ; Lee, J.-O. :

Solution-processable method for producing high-quality reduced graphene oxide displaying 'self-catalytic healing'. -

Carbon 141 (2019). - S. 774-781

Lee, P.S. ; Hess, R. ; Friedrichs, J. ; Haenchen, V. ;

Eckert, H. ; Cuniberti, G. ; Rancourt, D. ; Krawetz, R. ;

Hintze, V. ; Gelinsky, M. ; Scharnweber, D. :

Recapitulating bone development events in a customised bioreactor through interplay of oxygen tension, medium pH, and systematic differentiation approaches. -

J. of Tissue Engineering and Regenerative Medicine 13 (2019). -
S. 1672-1684

Lenz, J. ; Pospiech, D. ; Komber, H. ; Paven, M. ;
Albach, R. ; Mentizi, S. ; Langstein, G. ; Voit, B. :

Synthesis of the H-phosphonate dibenzo[d,f][1,3,2]dioxaphosphine 6-oxide and the phospho-Michael addition to unsaturated compounds. -

Tetrahedron 75 (2019). - S. 1306-1310

Lenz, J. ; Pospiech, D. ; Paven, M. ; Albach, R. ;
Günther, M. ; Schartel, B. ; Voit, B. :

Improving the flame Retardance of polyisocyanurate foams by dibenzo[d,f][1,3,2]dioxaphosphine 6-oxide-containing additives. -

Polymers 11 (2019). - Article Number: 1242

Li, Y. ; Pionteck, J. ; Pötschke, P. ; Voit, B. :

Organic vapor sensing behavior of polycarbonate/polystyrene/multi-walled carbon nanotube blend composites with different microstructures. -

Materials & Design 179 (2019). - Article Number: 107897

Li, Y. ; Wei, Q. ; Cao, L. ; Fries, F. ; Cucchi, M. ; Wu, Z.B. ;
Scholz, R. ; Lenk, S. ; Voit, B. ; Ge, Z. ; Reineke, S. :

Organic light-emitting diodes based on conjugation-induced thermally activated delayed fluorescence polymers: Interplay between intra- and intermolecular charge transfer states. -

Frontiers in Chemistry 7 (2019). - Article Number: 688



Li, Z. ; Liu, Z.Q. ; Zhang, J. ; Fu, C. ;
Wagenknecht, U. ; Wang, De-Yi :
Bio-based layered double hydroxide nanocariertoward fire-retardant epoxy resin with efficiently improved smoke suppression. -
Chemical Engineering Journal 378 (2019). - Article Number: 122046

Lissel, F. ; Steinberg, S. :

22. Steinheimer Gespräche - Chemie und Automatisierung. -

Nachrichten aus der Chemie 67 (2019)9. - S. 80

Liu, J. ; Mishra, S. ; Pignedoli, C. A. ; Passerone, D. ; Urgel, J. I. ;
Fabrizio, A. ; Lohr, T.G. ; Ma, J. ; Komber, H. ; Baumgarten, M. ;
Corminboeuf, C. ; Berger, R. ; Ruffieux, P. ; Müllen, K. ;
Feng, Xi-Qiao ; Müllen, K. ; Fasel, R. :

Open-shell nonbenzenoid nanographenes containing two pairs of pentagonal and heptagonal rings. -
Journal of the American Chemical Society 141 (2019). -
S. 12011-12020

Liu, X. ; Wang, X. ; Voit, B. ; Appelhans, D. :

Control of nanoparticle release by membrane composition for dual-responsive nanocapsules. -

Chemistry - A European Journal 25 (2019). - S. 13694-13700

Liu, Y. ; Nell, B. ; Ortstein, K. ; Wu, Z.B. ; Karpov, Y. ;

Beryozkina, T. ; Lenk, S. ; Kiriy, A. ; Leo, K. ; Reineke, S. :

High electron affinity molecular dopant CN6-CP for efficient organic light-emitting diodes. -

ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 11660-11666

Liu, Y. ; Nitschke, M. ; Stepien, L. ; Khavrus, V. ;

Bezugly, V. ; Cuniberti, G. :

Ammonia plasma-induced n-type doping of semiconducting carbon nanotube films: thermoelectric properties and ambient effects. -

ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 21807-21814

Lu, B. ; Luo, D. ; Zhao, A. S. ; Wang, H. ; Zhao, Y. ;

Maitz, M.F. ; Yang, P. ; Huang, N. :

pH responsive chitosan and hyaluronic acid layer by layer film for drug delivery applications. -

Progress in Organic Coatings 135 (2019). - S. 240-247

Ma, J. ; Zhang, K. ; Schellhammer, K. S. ; Fu, Y. ; Komber, H. ;

Xu, C. ; Popov, A. A. ; Hengersdorf, F. ; Weigand, J. J. ; Zhou, S. ;

Pisula, W. ; Ortman, F. ; Berger, R. ; Liu, J. ; Feng, X. :

Wave-shaped polycyclic hydrocarbons with controlled aromaticity. -

Chemical Science 10 (2019). - S. 4025-4031

Machalowski, T. ; Wysokowski, M. ; Tsurkan, M. ; et al. :

Spider Chitin: An ultrafast microwave-assisted method for chitin isolation from caribena versicolor spider molt cuticle. -
Molecules 24 (2019). - Article Number: 3736

Machalowski, T.; Wysokowski, M.; Zoltowska-Aksamitowska, S.; Tsurkan, M.; et al.:
Spider Chitin. The biomimetic potential and applications of Caribena versicolor tubular chitin. - Carbohydrate Polymers 226 (2019). - Article Number: 115301



Maitz, M.F.; Martins, C. L.; Grabow, N.; Matschegewski, C.; Huang, N.; Chaikof, E.L.; Barbosa, M. A.; Werner, C.; Sperling, C.:
The blood compatibility challenge. Part 4: Surface modification for hemocompatible materials: Passive and active approaches to guide blood-material interactions. - Acta Biomaterialia 94 (2019). - S. 33-43

Männel, M. J.; Selzer, L.; Selzer, R.; Thiele, J.:
Optimizing process parameters in commercial micro-stereolithography for forming emulsions and polymer microparticles in nonplanar microfluidic devices. - Advanced Materials Technologies 4 (2019). - Article number: 1800408

Mantz, A.; Rosenthal, A.; Farris, E.; Kozisek, T.; Bittrich, E.; Nazari, M.; Schubert, E.; Schubert, M.; Stamm, M.; Uhlmann, P.; Pannier, A. K.:
Free polyethylenimine enhances substrate-mediated gene delivery on titanium substrates modified with RGD-Functionalized poly(acrylic acid) brushes. - Frontiers in Chemistry 7 (2019). - Article Number 51

Manzi, B.M.; Werner, M.; Ivanova, E.P.; Crawford, R.J.; Baulin, V. A.:
Simulations of protein adsorption on nanostructured surfaces. - Scientific Reports 9 (2019). - Article Number: 4694

Marcinkowska, M.; Stanczyk, M.; Janaszewska, A.; Gajek, A.; Ksiazak, M.; Dzialak, P.; Klajnert-Maculewicz, B.:
Molecular mechanisms of antitumor activity of PAMAM dendrimer conjugates with anticancer drugs and a monoclonal antibody. - Polymers 11 (2019). - Article Number: 1422

Marcinkowska, M.; Stanczyk, M.; Janaszewska, A.; Sobierajska, E.; Chworos, A.; Klajnert-Maculewicz, B.:
Multicomponent conjugates of anticancer drugs and monoclonal antibody with PAMAM dendrimers to increase efficacy of HER-2 positive breast cancer therapy. - Pharmaceutical Research 36 (2019). - Article Number: 154

Marschelke, C.; Diring, O.; Synytska, A.:
Reconfigurable assembly of charged polymer-modified Janus and non-Janus particles: from half-raspberries to colloidal clusters and chains. - Nanoscale Advances 1 (2019). - S. 3715-3726

Marschelke, C.; Müller, M.; Köpke, D.; Matura, A.; Sallat, M.; Synytska, A.:
Hairy particles with immobilized enzymes: Impact of particle topology on the catalytic activity. - ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 1645-1654

Marschelke, C.; Puretskiy, N.; Raguzin, I.; Melnyk, I.; Ionov, L.; Synytska, A.:
Effect of architecture of thermoresponsive copolymer brushes on switching of their adsorption properties. - Macromolecular Chemistry and Physics 220 (2019). - Article Number: 1900030

Mayer, M.; Potapov, P.; Pohl, A.; Steiner, A. M.; Schultz, J.; Rellingheus, B.; Lubk, A.; König, T.; Fery, A.:
Direct observation of plasmon band formation and delocalization in quasi-infinite nanoparticle chains. - Nano Letters 19 (2019). - S. 3854-3862



Mayer, M.; Schnepf, M. J.; König, T.; Fery, A.:
Colloidal self-assembly concepts for plasmonic metasurfaces. - Advanced Optical Materials 7 (2019). - Article Number: 1800564

Memarian, F.; Fereidoon, A.; Khonakdar, H. A.; Jafari, S.H.; Saeb, M. R.:
Thermo-mechanical and shape memory behavior of TPU/ABS/MWCNTs nanocomposites compatibilized with ABS-g-MAH. - Polymer Composites 40 (2019). - S. 789-800

Merz, S.N.; Hoover, E.; Egorov, S. A.; DuBay, K.H.; Green, D.L.:
Predicting the effect of chain-length mismatch on phase separation in noble metal nanoparticle monolayers with chemically mismatched ligands. - Soft Matter 15 (2019). - S. 4498-4507

Micusik, M.; Chatzimanolis, C.; Tabaciarova, J.; Kollar, J.; Kyritsis, A.; Pissis, P.; Pionteck, J.; Vegso, K.; Siffalovic, P.; Majkova, E.; Omastová, M.:
Polyethylene glycol-modified poly(styrene-co-ethylene/butylene-co-styrene)/carbon nanotubes composite for humidity sensing. - Frontiers in Materials 5 (2019). - Article Number: 79

Milles, S.; Voisiat, B.; Nitschke, M.; Lasagni, A.:
Influence of roughness achieved by periodic structures on the wettability of aluminum using direct laser writing and direct laser interference patterning technology. - Journal of Materials Processing Technology 270 (2019). - S. 142-151

Minev, D.; Guerra, R.; Kishi, J.Y.; Smith, C.; Krieg, E.; Said, K.; Hornick, A.; Sasaki, H.M.; Filsinger, G.; Beliveau, B.J.; Yin, P.; Church, G.M.; Shih, W.M.:
Rapid *in vitro* production of single-stranded DNA. - Nucleic Acids Research 47 (2019). - S. 11956-11962

Minh, N. C.; Nguyen, V.H.; Schwarz, S.; Stevens, W.F.; Trung, T. S.:
Preparation of water soluble hydrochloric chitosan from low molecular weight chitosan in the solid state. - International Journal of Biological Macromolecules 121 (2019). - S. 718-726

Mock, A.; Dugan, C.; Knight, S.; Korlacki, R.; Mann, J.M.; Kimani, M.M.; Petrosky, J.C.; Dowben, P.A.; Schubert, M.:
Band-to-band transitions and critical points in the near-infrared to vacuum ultraviolet dielectric functions of single crystal urania and thoria. - Applied Physics Letters 114 (2019). - Article Number: 211901

Mock, A.; Korlacki, R.; Knight, S.; Stokey, M.; Fritz, A.; Darakchieva, V.; Schubert, M.:
Lattice dynamics of orthorhombic NdGaO3. - Physical Review B 99 (2019). - Article Number: 184302

Moini, N.; Zohuriaan-Mehr, M.J.; Kabiri, K.; Khonakdar, H. A.:
“Click” on SAP: Superabsorbent polymer surface modification via CuAAC reaction toward antibacterial activity and improved swollen gel strength. - Applied Surface Science 487 (2019). - S. 1131-1144

Mordvinkin, A.; Suckow, M.; Böhme, F.; Colby, R.H.; Creton, C.; Saalwächter, K.:
Hierarchical sticker and sticky chain dynamics in self-healing butyl rubber ionomers. - Macromolecules 52 (2019). - S. 4169-4184

Morsch, S.; Liu, Y.; Malanin, M.; Formanek, P.; Eichhorn, K.-J.:
Exploring whether a buried nanoscale interphase exists within epoxy-amine coatings: Implications for adhesion, fracture toughness, and corrosion resistance. - ACS Applied Nano Materials 2 (2019). - S. 2494-2502

Mousa, A.; Gedan-Smolka, M.; Schlenstedt, K.; Wagenknecht, U.:
Thermosetting polymer composites from unsaturated polyester resin filled alkali activated and rubber coated sustainable ferrous by-products. - Materials Research Express 6 (2019). - Article Number: 105207

Mousa, A.; Wagenknecht, U.; Gedan-Smolka, M.; Schneider, A.:
Cure characteristics and thermal behavior of organic-inorganic hybrid composite as assessed by DSC, TGA, and DMA techniques. - Journal of Sustainable Metallurgy 5 (2019). - S. 442-448

Müller, A.; Müller, S.; Nasufovic, V.; Arndt, H.-D.; Pompe, T.:
Actin stress fiber dynamics in laterally confined cells. - Integrative Biology 11 (2019). - S. 175-185

Müller, M.:
The anomalous influence of polyelectrolyte concentration on the deposition and nanostructure of poly(ethyleneimine)/poly(acrylic acid) multilayers. - Molecules 24 (2019). - Article Number: 2141

Müller, M. T.; Eichhorn, K.; Gohs, U.; Heinrich, G.:

In-line nanostructuring of glass fibres using different carbon allotropes for structural health monitoring application. -
Fibers 7 (2019). - Article Number: 61

Müller, M. T.; Krause, B.; Kretschmar, B.; Pötschke, P.:

Influence of a supplemental filler in twin-screw extruded PP/CNT composites using masterbatch dilution. -
AIP Conference Proceedings 2055 (2019). -
Article Number: 090006 [5pp.]

Müller, M. T.; Zschech, C.; Gohs, U.:

Electron beam generated polymer-backbone-hydroperoxides trigger the crosslinking of glass fiber polypropylene interphase. -
AIP Conference Proceedings 2065 (2019). -
Article Number 030026

Müller, T.; Sommer, J.-U.; Lang, M.:

Tendomers - force sensitive bis-rotaxanes with jump-like deformation behavior. -
Soft Matter 15 (2019). - S. 3671-3679

Münch, A. S.; Stake, A.; Lukasczyk, T.; Stalling, A.; Fritzsche, T.; Stenzel, V.; Uhlmann, P.:

A scalable process for the generation of durable easy-to-clean coatings on foils. -
Journal of Coatings Technology and Research 16 (2019). - S. 1515-1525

Muniz, N.O.; Vechietti, F.A.; dos Santos, A. R.:

Influence of several binders on the mechanical properties of alumina parts manufactured by 3D inkjet printing. -
Materials Research Express 6 (2019). - Article Number: 115341

Naeemabadi, N.; Seyfi, J.; Hejazi, E.; Hejazi, I.; Khonakdar, H. A.:

Investigation on surface properties of superhydrophobic nanocomposites based on polyvinyl chloride and correlation with cell adhesion behavior. -

Polymers for Advanced Technologies 30 (2019). - S. 1027-1035

Naji, A.; Krause, B.; Pötschke, P.; Ameli, A.:

Hybrid conductive filler/polycarbonate composites with enhanced electrical and thermal conductivities for bipolar plate applications. -
Polymer Composites 40 (2019). - S. 3189-3198

Naji, A.; Krause, B.; Pötschke, P.; Ameli, A.:

Extruded polycarbonate/Di-Allyl phthalate composites with ternary conductive filler system for bipolar plates of polymer electrolyte membrane fuel cells. -
Smart Materials and Structures 28 (2019). -
Article Number: 064004



Narongthong, J.; Le, Hai Hong ;
Das, A.; Sirisinha, C.; Wießner, S.:

Ionic liquid enabled electrical-strain tuning capability of carbon black based conductive polymer composites for small-strain sensors and stretchable conductors. -
Composites Science and Technology 174 (2019). - S. 202-211

Naseem, S.; Gevers, B. R.; Boldt, R.;

Labuschagne, F.J.W.; Leuteritz, A.:

Comparison of transition metal (Fe, Co, Ni, Cu, and Zn) containing tri-metal layered double hydroxides (LDHs) prepared by urea hydrolysis. -
RSC Advances 9 (2019). - S. 3030-3040

Naseem, S.; Lonkar, S. P.; Leuteritz, A.:

Study of modified LDHs as UV protecting materials for polypropylene (PP). -
AIP Conference Proceedings 2055 (2019). -
Article Number: 050002 [5pp.]

Nasrollahzadeh, M.; Sajjadi, M.; Komber, H.;

Khonakdar, H. A.; Sajjadi, S. M.:

In situ green synthesis of Cu-Ni bimetallic nanoparticles supported on reduced graphene oxide as an effective and recyclable catalyst for the synthesis of N-benzyl-N-aryl-5-amino-1H-tetrazoles. -

Applied Organometallic Chemistry 33 (2019). - Article Number: e4938

Naziri, A.A.; Ehsani, M.; Khonakdar, H. A.; Hemmati, F.; Jafari, S.H.:

Spherical nanoparticle effects on the lower critical solution temperature phase behavior of poly(epsilon-caprolactone)/poly(styrene-co-acrylonitrile) blends: Separation of thermodynamic aspects from kinetics. -
Journal of Applied Polymer Science 137 (2019). -

Article Number: 48679

Naziri, A.A.; Khonakdar, H. A.; Hemmati, F.; Jafari, S.H.; Ehsani, M.:

Rheologically determined phase diagram of poly(epsilon-caprolactone)/poly(styrene-co-acrylonitrile) blends: Role of ramp rate in dynamic measurements. -
Journal of Applied Polymer Science 136 (2019). -
Article Number: 47750

Neubauer, J.; Hauck, N.; Männel, M. J.; Fery, A.; Thiele, J.:

Mechanoresponsive hydrogel particles as a platform for three-dimensional force sensing. -
ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 26307-26313

Neumann, R.; Neunzehn, J.; Hinüber, C.;

Flath, T.; Schulze, F. P.; Wiesmann, H.-P.:

3D-printed poly-epsilon-caprolactone-CaCO₃-biocomposite-scaffolds for hard tissue regeneration. -
eXPRESS Polymer Letters 13 (2019). - S. 2-17

Ng, C.; Wesemann, L.; Panchenko, E.; Davis, T. J.;

Roberts, A.; Gomez, D.E.:

Plasmonic near-complete optical absorption and its applications. -
Advanced Optical Materials 7 (2019). - Article Number: 1801660

Ng, C.; Zeng, P.; Lloyd, J.; Chakraborty, D.; Roberts, A.; Smith, T. A.; Bach, U.; Sader, J.E.; Davis, T. J.; Gomez, D.E.:

Large-area nanofabrication of partially embedded nanostructures for enhanced plasmonic hot-carrier extraction. -
ACS Applied Nano Materials 2 (2019). - S. 1164-1169

Nikoomanesh, R.; Naderpour, N.; Goodarzi, V.;

Jafari, S.H.; Saeb, M. R.; Abdouss, M.; Khonakdar, H. A.:

Prediction of mechanical properties of PP/EVA polymer blends governed by EVA phase change in the presence of environmentally-friendly inorganic tungsten disulfide nanotubes (INT-WS2). -
Polymer Composites 40 (2019). - S. 1964-1978

Noori, M.M.; Khonakdar, H. A.; Azizi, M.;

Ghaffari, M.; Arjmand, M.; Jafari, S.H.:

Paraffin/CuO nanocomposites as phase change materials: Effect of surface modification of CuO. -
Polymer Composites 40 (2019). - S. 4362-4370

Nübling, F.; Hopper, T. R.; Kuei, B.; Komber, H.; Untilova, V.;

Brinkmann, M.; Gomez, E. D.; Bakulin, A. A.; Sommer, M.:

Block junction-functionalized all-conjugated donor-acceptor block copolymers. -
ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 1143-1155

Oberer, J.; Schneider, K.; Majschak, J. P.:

Thermomechanical characterization and modeling of cold-drawing of poly(ethylene terephthalate). -
Polymers 11 (2019). - Article Number: 1871

Obst, F.; Simon, D.; Mehner, P. J.; Neubauer, J. W.;

Beck, A.; Stroyuk, O.; Richter, A.; Voit, B.; Appelhans, D.:

One-step photostructuring of multiple hydrogel arrays for compartmentalized enzyme reactions in microfluidic devices. -
Reaction Chemistry & Engineering 4 (2019). - S. 2141-2155

Ok, S.; Hartmann, B.; Duran, H.; Eickmeier, H.;

Haase, M.; Scheler, U.; Steinhart, M.:

Correlations between microstructure and crystallization of the fluorinated terpolymer of tetrafluoroethylene, hexafluoropropylene, and vinylidene fluoride. -
Journal of Polymer Science Part B 57 (2019). - S. 1402-1408

Oshani, B.N.; Davachi, S. M.; Hejazi, I.;

Seyfi, J.; Khonakdar, H. A.; Abbaspourrad, A.:

Enhanced compatibility of starch with poly(lactic acid) and poly(epsilon-caprolactone) by incorporation of POSS nanoparticles: Study on thermal properties. -
International Journal of Biological Macromolecules 141 (2019). - S. 578-584



Oßmann, B.; Schymanski, D.;

Ivleva, N.P.; Fischer, D.;

Dallmann, G.; Welle, F.:

Comment on "exposure to microplastics (<10 µm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study by Zuccarello et al. [Water Research 157 (2019) 365-371]". -
Water Research 162 (2019). - S. 516-517

Panahi-Sarmad, M.; Goodarzi, V.; Amirikiai, A.; Noroozi, M.; Abrisham, M.; Dehghan, P.; Shakeri, Y.; Karimpour-Motlagh, N.; Hajjipoor, F.P.; Khonakdar, H. A.; Asefnejad, A.:

Programing polyurethane with systematic presence of graphene-oxide (GO) and reduced graphene- oxide (rGO) platelets for adjusting of heat-actuated shape memory properties. - European Polymer Journal 118 (2019). - S. 619-632

Paolino, M.; Licciardi, M.; Savoca, C.; Komber, H.; et al.:

Hyaluronan graft copolymers bearing fatty-acid residues as self-assembling nanoparticles for olanzapine delivery. - Pharmaceutics 11 (2019). - Article Number: 675

Paran, S.M.R.; Das, A.; Khonakdar, H. A.;

Naderpour, N.; Heinrich, G.; Saeb, M. R.:

Modeling and interpreting large deformation behavior of rubber nanocomposites containing carbon nanotubes and nanoplatelets. - Polymer Composites 40 (2019). - S. E1548-E1558

Paturej, J.; Sommer, J.-U.; Kreer, T.:

Universal equation of state for flexible polymers beyond the semidilute regime. - Physical Review Letters 122 (2019). - Article Number: 087801

Piana, F.; Pionteck, J.:

Exploitation of the hard/soft segments ratio in thermoplastic polyurethane (TPU) for the tuning of electrical and mechanical properties of expanded graphite (EG) based composites. - SN Applied Science 1 (2019). - Article Number: 878

Pipich, V.; Schlenstedt, K.; Dickmann, M.; Kasher, R.; Meier-Haack, J.; Hugenschmidt, C.; Petry, W.; Oren, Y.; Schwahn, D.:

Morphology and porous structure of standalone aromatic polyamide films as used in RO membranes - an exploration with SANS, PALS, and SEM. - Journal of Membrane Science 573 (2019). - S. 167-176

Pospiech, D.; Choiniska, R.; Eckstein, K.; Jehnichen, D.; Häußler, L.; Friedel, P.; Simon, F.; Reuter, U.; Voit, B.:

Phase separation and surface properties of poly(propyl methacrylate-b-methyl methacrylate) diblock copolymers. - Polymer Bulletin 76 (2019). - S. 271-289

Pospiech, D.; Korwitz, A.; Eckstein, K.; Komber, H.; Jehnichen, D.; Lederer, A.; Arnhold, K.; Göbel, M.; Bremer, M.; Hoffmann, A.; Fischer, S.; Werner, A.; Walther, T.; Brüning, H.; Voit, B.:

Fiber formation and properties of polyester/Lignin blends. - Journal of Applied Polymer Science 136 (2019). - Article Number: 48257

Pötschke, P.; Krause, B.; Luo, J.:

Melt mixed composites of polypropylene with singlewalled carbon nanotubes for thermoelectric applications: Switching from p- to n-type behavior by additive addition. - AIP Conference Proceedings 2055 (2019). - Article Number: 090004 [5pp.]

Pötschke, P.; Mothes, F.; Krause, B.; Voit, B.:

Melt-mixed PP/MWCNT composites: Influence of CNT incorporation strategy and matrix viscosity on filler dispersion and electrical resistivity. - Polymers 11 (2019). - Article Number: 189

Prathapan, R.; Glatz, B.A.; Ghosh, A. K.;

Michel, St.; Fery, A.; Garnier, G.; Tabor, R. F.:

Enhancing printing resolution on hydrophobic polymer surfaces using patterned coatings of cellulose nanocrystals. - Langmuir 35 (2019). - S. 7155-7160

Puentes-Parodi, A.; Santoro, L. A.;

Ferreira, I.; Leuteritz, A.; Kühnert, I.:

Influence of annealing on the permeation properties of a thermoplastic elastomer. - Polymer Engineering and Science 59 (2019). - S. 1810-1817

Puentes-Parodi, A.; Santoro, L. A.;

Gehde, M.; Leuteritz, A.; Kühnert, I.:

Influence of hygro-thermal loads on the durability of thermoplastic-polyurethane-steel-hybrids. - AIP Conference Proceedings 2055 (2019). - Article Number: 070027

Puneet, P.; Horechyy, A.; Srivastava, R.; Nandan, B.; Fujiki, M.:

Photoluminescent poly(4-vinylpyridine)-based ionic liquids coded with L- and D-histidine: a supramolecular self-assembly leading to the formation of red-shifted photoluminescent helical aggregates. - Polymer Chemistry 10 (2019). - S. 2734-2740

Qiu, H.; Qi, P.; Liu, J.; Yang, Y.; Tan, X.; Xiao, Y.;

Maitz, M.F.; Huang, N.; Yang, Z.:

Biomimetic engineering endothelium-like coating on cardiovascular stent through heparin and nitric oxide-generating compound synergistic modification strategy. - Biomaterials 207 (2019). - S. 10-22



Quispe-Dominguez, R.; Naseem, S.; Leuteritz, A.; Kühnert, I.:

Synthesis and characterization of MgAl-DBS LDH/PLA composite by sonication-assisted masterbatch (SAM) melt mixing method. - RSC Advances 9 (2019). - S. 658-667

Raak, N.; Brehm, L.; Abbate, R. A.;

Henle, T.; Lederer, A.; Rohm, H.; Jaros, D.:

Self-association of casein studied using enzymatic cross-linking at different temperatures. - Food Bioscience 28 (2019). - S. 89-98

Rahman, M.; Mukherjee, A.; Kovalev, I.; Kopchuk, D.;

Zyryanov, G.; Tsurkan, M.; Majee, A.; Ranu, B.;

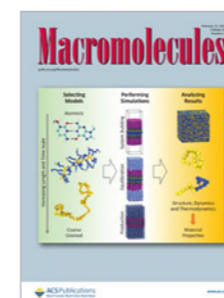
Charishin, V.N.; Chupakhin, O.; Santra, S.:

Recent advances on diverse decarboxylative reactions of amino acids. Cover Picture: (Adv. Synth. Catal. 10/2019). - Advanced Synthesis & Catalysis 361 (2019). - S. 2161-2214

Raulo, A.; Bandyopadhyay, S.; Ahmad, S.;

Gupta, A.; Srivastava, R.; Formanek, P.; Nandan, B.:

Bio-inspired poly(3,4-ethylenedioxythiophene): Poly(styrene sulfonate)-sulfur@polyacrylonitrile electrospun nanofibers for lithium-sulfur batteries. - Journal of Power Sources 431 (2019). - S. 250-258 + Supplementary Data



Raychev, D.; López, R.D.M.; Kiriy, A.;

Seifert, G.; Sommer, J.-U.; Guskova, O.:

Copolymers of diketopyrrolopyrrole and benzothiadiazole: Design and function from simulations with experimental support. - Macromolecules 52 (2019). - S. 904-914

Reis, B.; Vehlow, D.; Rust, T.; Kuckling, D.; Müller, M.:

Thermoresponsive catechol based-polyelectrolyte complex coatings for controlled release of bortezomib. - International Journal of Molecular Sciences 20 (2019)23. - Article Number: 6081

Renner, L.:

Engineering bacterial shape using soft-matter microchambers. - Current Protocols in Chemical Biology 11 (2019). - e59

Richter, E.; Spickenheuer, A.; Bittrich, L.; Uhlig, K.; Heinrich, G.:

Mechanical design of intersection points of tailored fiber placement made carbon fiber reinforced plastic truss-like structures. - Key Engineering Materials 809 (2019). - S. 452-460

Romano, J.-M.; Ahmed, R.; Garcia-Giron, A.; Penchev, P.; Butt, H.; Delléa, O.; Sikosana, M.; Helbig, R.; Werner, C.; Dimov, S.:

Subwavelength direct laser nanopatterning via micro-particle arrays for functionalizing metallic surfaces. - Journal of Micro and Nano-Manufacturing 7 (2019). - Article Number: 010901

Romano, J.-M.; Helbig, R.; Fraggelakis, F.;

Garcia-Giron, A.; Werner, C.; Kling, R.; Dimov, S.:

Springtail-inspired triangular laser-induced surface textures on metals using MHz ultrashort pulses. - Journal of Micro and Nano-Manufacturing 7 (2019). - Article Number: 024504



Romeis, D.; Toshchevikov, V.;

Saphiannikova, M.:

Effects of local rearrangement of magnetic particles on deformation in magneto-sensitive elastomers. - Soft Matter 15 (2019). - S. 3552-2564

Rother, S.; Krönert, V.; Hauck, N.; Berg, A.; Möller, S.;

Schnabelrauch, M.; Thiele, J.; Scharnweber, D.; Hintze, V.:

Hyaluronan/collagen hydrogel matrices containing high-sulfated hyaluronan microgels for regulating transforming growth factor-1. - J. of Materials Science : Materials in Medicine 30 (2019). - Article Number: 65

Ruiz-Muelle, A. B. ; Kuttner, C. ; Alarcón-Fernández, C. ; López-Romero, J.M. ; Uhlmann, P. ; Contreras-Caceres, R. ; Fernandez, I. :

Hybrid surfaces active in catalysis based on gold nanoparticles modified with redox-active pendants and polymer brushes. -
Applied Surface Science 496 (2019). - Article Number: 143598



Rust, R.; Grönnert, L.; Gantner, C.; Enzler, A.; Mulders, G.; Weber, R.; Siewert, A.; Limasale, Y. D. P.; Meinhardt, A.; Maurer, M.; Satori, A.; Hofer, A.-S.; Werner, C.; Schwab, M. :
Nogo-A targeted therapy promotes vascular repair and functional recovery following stroke. -

Proc Natl Acad Sci : PNAS 116 (2019). - S. 14270-14279

Rzeczkowski, P. ; Krause, B. ; Pötschke, P. :

Characterization of highly filled PP/graphite composites for adhesive joining in fuel cell applications. -
Polymers 11 (2019). - Article Number: 462

Rzeczkowski, P. ; Lucia, M. ; Müller, A. ; Facklam, M. ; Cohnen, A. ; Schäfer, P. ; Hopmann, C. ; Hickmann, T. ; Pötschke, P. ; Krause, B. :
Development of joining methods for highly filled graphite/PP composite based bipolar plates for fuel cells: Adhesive joining and welding. -

AIP Conference Proceedings 2139 (2019). - Article Number: 110003

Sarkar, S. ; Gupta, V. ; Kumar, M. ; Schubert, J. ; Probst, P. T. ; Joseph, J. ; König, T. :

Hybridized guided-mode resonances via colloidal plasmonic self-assembled grating. -
ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 13752-13760

Savchenko, V. ; Koch, M. ; Pavlov, A. S. ; Saphiannikova, M. ; Guskova, O. :

Stacks of azobenzene stars: Self-assembly scenario and stabilising forces quantified in computer modelling. -
Molecules 24 (2019). - Article Number: 4387

Scacchi, A. ; Brader, J. M. ; Sharma, A. :

Escape rate of transiently active Brownian particle in one dimension. -
Physical Review E 100 (2019). - Article Number: 012601

Schau, I. ; Michen, S. ; Hagstotz, A. ; Janke, A. ; Schackert, G. ; Appelhans, D. ; Temme, A. :

Targeted delivery of TLR3 agonist to tumor cells with single chain antibody fragment-conjugated nanoparticles induces type I-interferon response and apoptosis. -
Scientific Reports 9 (2019). - Article Number: 3299

Schedl, A.E. ; Probst, P. T. ; Meichner, C. ; Neuber, C. ; Kador, L. ; Fery, A. ; Schmidt, H.-W. :

Confinement templates for hierarchical nanoparticle alignment prepared by azobenzene-based surface relief gratings. -
Soft Matter 15 (2019). - S. 3872-3878

Scheler, U. :

Charge and size of molecules and complexes in solution. -
GIT Laboratory Journal Europe 23 (2019). - S. 18-20

Schneider, K. ; Melnyk, I. ; Hiekel, K. ; Fery, A. ; Auernhammer, G. ; Eychmüller, A. :

Mechanical characterization of self-supported noble metal gel monoliths. -
Journal of Physical Chemistry C 123 (2019). - S. 27651-27658

Schneider, K. ; Schwartzkopf, M. :

The orientation of strain-induced crystallites in uniaxially-strained, thin and wide bands made from natural rubber. -
Crystals 9 (2019). - Article Number: 294

Schopphoven, C. ; Birster, K. ; Schweitzer, R. ; Spieler, C. ; Huang, S. ; Kästner, M. ; Auernhammer, G. ; Tschöpe, A. :

Elastic deformations in semi-dilute Ni nanorod/hydrogel composites. -
Archive of Applied Mechanics 89 (2019). - S. 119-132

Schubert, J. ; Chanana, M. ; Radeke, C. ; Fery, A. :

The role of pH, metal ions and their hydroxide in charge reversal of protein-coated nanoparticles. -
Physical Chemistry, Chemical Physics 21 (2019). - S. 11011-11018

Schubert, M. ; Binnewerg, B. ; Voronkina, A. ; Muzychka, L. ; Wysokowski, M. ; Petrenko, I. ; Kovalchuk, V. ; Tsurkan, M. ; Martinovic, R. ; Bechmann, N. ; Ivanenko, V.N. ; Fursov, A. ; Smolii, O.B. ; Fromont, J. ; Joseph, Y. ; Bornstein, S. R. ; Giovine, M. ; Erpenbeck, D. ; Guan, K. ; Ehrlich, H. :

Naturally prefabricated marine biomaterials: Isolation and applications of flat chitinous 3D scaffolds from *Ianthella labyrinthus* (Demospongiae: Verongiida) . -
International Journal of Molecular Sciences 20 (2019). - Article Number: 5105

Schubert, M. ; Mock, A. ; Korlacki, R. ; Darakchieva, V. :

Phonon order and reststrahlen bands of polar vibrations in crystals with monoclinic symmetry. -
Physical Review B 99 (2019). - Article Number: 041201

Schulze, A. ; Heinrich, G. ; Gehde, M. :

Vergleich verschiedener Methoden zur Ermittlung der Risslänge an Fotografien gerissener planarer Elastomerprüfkörper. -
Kautschuk Gummi Kunststoffe 72 (2019). - S. 26-34

Schulze, F. ; Keperscha, B. ; Appelhans, D. ; Rösen-Wolff, A. :
Immunomodulatory effects of dendritic poly(ethyleneimine) glycoarchitectures on human multiple myeloma cell lines, mesenchymal stromal cells, and *in vitro* differentiated macrophages for an ideal drug delivery system in the local treatment of multiple myeloma. -
Biomacromolecules 20 (2019). - S. 2713-2725

Schwarzer, M. ; Otto, T. ; Schremb, M. ; Marschelke, C. ; Tee, H. ; Wurm, F. ; Roisman, I. V. ; Tropea, C. ; Synytska, A. :

Supercooled water drops do not freeze during impact on hybrid Janus particle-based surfaces. -
Chemistry of Materials 31 (2019). - S. 112-123
Sefton, M.V. ; Sperling, C. ; Maitz, M.F. ; Werner, C. :
The blood compatibility challenge: Editorial introduction. -
Acta Biomaterialia 94 (2019). - S. 1

Seyfi, J. ; Panahi-Sarmad, M. ; OraeiGhodousi, A. ; Goodarzi, V. ; Khonakdar, H. A. ; Asefnejad, A. ; Shojaei, S. :

Antibacterial superhydrophobic polyvinyl chloride surfaces via the improved phase separation process using silver phosphate nanoparticles. -
Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 183 (2019). - Article Number: 110438

Shaala, L. A. ; Asfour, H.Z. ; Youssef, D.T.A. ; Zoltowska-Aksamitowska, S. ; Wysokowski, M. ; Tsurkan, M. ; et al., :
New source of 3D chitin scaffolds: The Red Sea demosponge *Pseudoceratina arabica* (Pseudoceratinidae, Verongiida). -
Marine Drugs 17 (2019). - Article Number: 92

Shi, P. ; Qin, J. ; Wu, X.X. ; Wang, L. ; Yang, D. ; Zan, X. ; Appelhans, D. :

A facile and universal method to efficiently fabricate diverse protein capsules for multiple potential applications. -
ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 39209-39218

Shivers, J. ; Arzash, S. ; Sharma, A. ; MacKintosh, F. C. :

Scaling theory for mechanical critical behavior in fiber networks. -
Physical Review Letters 122 (2019). - Article Number: 188003

Shivers, J. ; Feng, J. ; Sharma, A. ; MacKintosh, F. C. :

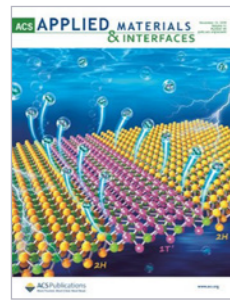
Normal stress anisotropy and marginal stability in athermal elastic networks. -
Soft Matter 19 (2019). - S. 1666-1675

Shojaei, S. ; Nikuei, M. ; Goodarzi, V. ;

Hakani, M. ; Khonakdar, H. A. ; Saeb, M. R. :
Disclosing the role of surface and bulk erosion on the visco-elastic behavior of biodegradable poly(epsilon-caprolactone)/poly(lactic acid)/hydroxyapatite nanocomposites. -
Journal of Applied Polymer Science 136 (2019). - Article Number: 47151

Shojaei, S. ; Rostamian, M. ; Samadi, A. ; Alvani, M.A.S. ; Khonakdar, H. A. ; Goodarzi, V. ; Zarrintaj, R. ; Servatan, M. ; Asefnejad, A. ; Baheiraei, N. ; Saeb, M. R. :
Electrospun electroactive nanofibers of gelatin-oligo-aniline/Poly (vinyl alcohol) templates for architecting of cardiac tissue with on-demand drug release. -
Polymers for Advanced Technologies 30 (2019). - S. 1473-1483

Sibanda, M. ; Leuteritz, A. ; Brüning, H. ; Focke, W. W. :
Development of polyolefin bicomponent filaments as controlled release devices of volatile repellents for use in malaria vector control. -
AIP Conference Proceedings 2055 (2019). - Article Number: 060007 [5pp.]



Sievers, J.; Zschoche, St.; Dockhorn, R.; Friedrichs, J.; Werner, C.; Freudenberg, U.: **Temperature-Induced mechano-modulation of interpenetrating networks of star poly(ethylene glycol)-heparin and poly(N-isopropylacrylamide).** -

ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 41862-41874

Silva, C.; Simon, F.; Friedel, P.; Pötschke, P.; Zimmerer, C.: **Elucidating the chemistry behind the reduction of graphene oxide using a green approach with polydopamine.** - Nanomaterials 9 (2019). - Article Number: 902

Simon, D.; Obst, F.; Häfner, S.; Heroldt, T.; Peiter, M.; Simon, F.; Richter, A.; Voit, B.; Appelhans, D.: **Hydrogel/enzyme dots as adaptable tool for non-compartmentalized multi-enzymatic reactions in microfluidic devices.** - Reaction Chemistry & Engineering 4 (2019). - S. 67-77

Smith, W.C.; Geisler, M.; Lederer, A.; Williams, S.K.R.: **Thermal field-flow fractionation for characterization of architecture in hyperbranched aromatic-aliphatic polyesters with controlled branching.** - Analytical Chemistry 91 (2019). - S. 12344-12351

Spicker, C.; Rudolph, N.; Kühnert, I.; Aumnate, C.: **The use of rheological behavior to monitor the processing and service life properties of recycled polypropylene.** - Food Packaging and Shelf Life 19 (2019). - S. 174-183

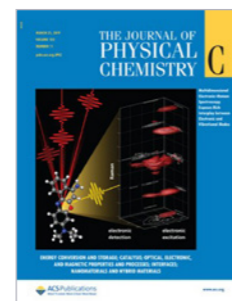
Spiller, S.; Panitz, N.; Limasale, Y. D. P.; Atallah, P.; Schirmer, L.; Bellmann-Sickert, K.; Blaszkiewicz, J.; Koehling, S.; Freudenberg, U.; Rademann, J.; Werner, C.; Beck-Sickingler, A. G.: **Modulation of human CXCL12 binding properties to glycosaminoglycans to enhance chemotactic gradients.** - ACS Biomaterials Science & Engineering 5 (2019). - S. 5128-5138

Spörer, Y.; Blanco, C.; Zimmermann, M.; Kühnert, I.: **Morphology-property behavior of semi crystalline polymers in injection molded parts.** - AIP Conference Proceedings 2055 (2019). - Article Number: 070002 [5pp.]

Staudinger, U.; Satapathy, B. K.; Jehnichen, D.: **Nanofiller dispersion, morphology, mechanical behavior, and electrical properties of nanostructured styrene-butadiene-based triblock copolymer/CNT composites.** - Polymers 11 (2019). - Article Number: 1831

Steiner, A. M.; Mayer, M.; Schletz, D.; Wolf, D.; Formanek, P.; Hübner, R.; Dulle, M.; Förster, S.; König, T.; Fery, A.: **Silver particles with rhombicuboctahedral shape and effective isotropic interactions with light.** - Chemistry of Materials 31 (2019). - S. 2822-2827

Storm, J.; Ranjbarian, M.; Mechtcherine, V.; Scheffler, C.; Kaliske, M.: **Modelling of fibre-reinforced composites via fibre super-elements.** - Theoretical and Applied Fracture Mechanics 103 (2019). - Article Number: 102294



Su, C.; Merlitz, H.; Thalmann, F.; Marques, C. M.; Sommer, J.-U.: **Coarse-grained model of oxidized membranes and their interactions with nanoparticles of various degrees of hydrophobicity.** - Journal of Physical Chemistry C 123 (2019). - S. 6839-6848

Suckow, M.; Lang, M.; Komber, H.; Pospiech, D.; Wagner, M.; Weinelt, F.; Baumann, F.-E.; Böhme, F.: **Bisdithiooxalate as novel coupling agent for amino-terminated polyamides.** - Polymer Chemistry 10 (2019). - S. 1930-1937

Sun, N.; Su, K. X.; Zhou, Z.; Tian, X.; Wang, D.M.; Vilbrandt, N.; Fery, A.; Lissel, F.; Zhao, X. G.; Chen, C. H.: **Synergistic effect between electroactive tetraphenyl-p-phenylenediamine and AIE-active tetraphenylethylene for highly integrated electrochromic/electrofluorochromic performances.** - Journal of Materials Chemistry C 7 (2019). - S. 9308-9315

Sun, N.; Su, K. X.; Zhou, Z.; Tian, X.; Zhao, J.; Chao, D.; Wang, D.M.; Lissel, F.; Zhao, X. G.; Chen, C. H.: **High-performance emission/color dual-switchable polymer-bearing pendant tetraphenylethylene (TPE) and triphenylamine (TPA) moieties.** - Macromolecules 52 (2019). - S. 5131-5139

Sztandera, K.; Dzialak, P.; Marcinkowska, M.; Stanczyk, M.; Gorzkiewicz, M.; Janaszewska, A.; Klajnert-Maculewicz, B.: **Sugar modification enhances cytotoxic activity of PAMAM-doxorubicin conjugate in glucose-deprived MCF-7 cells - possible role of GLUT1 transporter.** - Pharmaceutical Research 36 (2019). - Article Number: UNSP 140

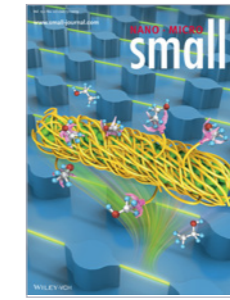
Sztandera, K.; Gorzkiewicz, M.; Klajnert-Maculewicz, B.: **Gold nanoparticles in cancer treatment.** - Molecular Pharmaceutics 16 (2019). - S. 1-23

Tagg, A.S.; Oberbeckmann, S.; Fischer, D.; Kreikemeyer, B.; Labrenz, M.: **Paint particles are a distinct and variable substrate for marine bacteria.** - Marine Pollution Bulletin 146 (2019). - S. 117-124

Talò, M.; Lanzara, G.; Krause, B.; Janke, A.; Lacarbonara, W.: **"Sliding crystals" on low-dimensional carbonaceous nanofillers as distributed nanopistons for highly damping materials.** - ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 38147-38159

Taubenberger, A.; Girardo, S.; Träber, N.; Fischer-Friedrich, E.; Kräter, M.; Wagner, K.; Kurth, T.; Richter, I.; Haller, B.; Binner, M.; Hahn, D.; Freudenberg, U.; Werner, C.; Guck, J.: **3D microenvironment stiffness regulates tumor spheroid growth and mechanics via p21 and ROCK.** - Advanced Biosystems 3 (2019). - Article Number: 1900128

Tkachov, R.; Stepien, L.; Greifzu, M.; Kiriya, A.; Kiriya, N.; Schüler, T.; Schmiel, T.; Lopez, E.; Brückner, F.; Leyens, C.: **A printable paste based on a stable n-type poly[Ni-tto] semiconducting polymer.** - Coatings 9 (2019). - Article Number: 764



Tondera, C.; Akbar, T.F.; Thomas, A. K.; Lin, W.; Werner, C.; Busskamp, V.; Zhang, Y.; Mineev, I.R.: **Highly conductive, stretchable, and cell-adhesive hydrogel by nanoclay doping.** - Small 15 (2019). - Article Number: 1901406

Totten, J. D.; Wongpinyochit, T.; Carrola, J.; Duarte, I. F.; Seib, F. P.: **PEGylation-dependent metabolic rewiring of macrophages with silk fibroin nanoparticles.** - ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 14515-14525

Träber, N.; Uhlmann, K.; Girardo, S.; Kesavan, G.; Wagner, K.; Friedrichs, J.; Goswami, R.; Bai, K.; Brand, M.; Werner, C.; Balzani, D.; Guck, J.: **Polyacrylamide bead sensors for *in vivo* quantification of cell-scale stress in zebrafish development.** - Scientific Reports 9 (2019). - Article Number: 17031

Trefz, D.; Gross, Y.M.; Dingler, C.; Tkachov, R.; Hamidi-Sakr, A.; Kiriya, A.; McNeill, C. R.; Brinkmann, M.; Ludwigs, S.: **Tuning orientational order of highly aggregating P(NDI2OD-T2) by solvent vapor annealing and blade coating.** - Macromolecules 52 (2019). - S. 43-54

Tu, Q.; Shen, X.; Liu, Y.; Zhang, Q.; Zhao, X.; Maitz, M.F.; Liu, T.; Quiu, H.; Wang, J.; Huang, N.; Yang, Z.: **A facile metal-phenolic-amine strategy for dual-functionalization of blood-contacting devices with antibacterial and anticoagulant properties.** - Materials Chemistry Frontiers 3 (2019). - S. 265-275

Tzounis, L.; Dona, M.; Lopez-Romero, J. M.; Fery, A.; Contreras-Caceres, R.: **Temperature controlled catalysis by core-shell-satellites AuAg@pNIPAM@Ag hybrid microgels: A highly efficient catalytic thermo-responsive nanoreactor.** - ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 29360-29372



Uhlig, K.; Bittrich, L.;
Spickenheuer, A.; Almeida Jr., J.H.S.:
**Waviness and fiber volume
content analysis in continuous
carbon fiber reinforced plastics
made by tailored fiber placement.** -
Composite Structures 222 (2019). -
Article Number: 110910

Urbanski, A.; Omar, A.; Guo, J.; Janke, A.; Reuter, U.;
Malanin, M.; Schmidt, F.; Jehnichen, D.; Holzschuh, M.;
Simon, F.; Eichhorn, K.-J.; Giebeler, L.; Uhlmann, P.:
**An efficient two-polymer binder for high-performance
silicon nanoparticle-based lithium-ion batteries:
A systematic case study with commercial polyacrylic
acid and polyvinyl butyral polymers.** -
J. of the Electrochemical Society 166 (2019). - S. A5275-A5286

Vittoria, A.; Mingione, A.; Abbate, R. A.; Cipullo, R.; Busico, V.:
**High throughput experimentation protocol
for quantitative measurements of regioselectivity
in ziegler-natta polypropylene catalysis.** -
Industrial & Engineering Chemistry Research 58 (2019). -
S. 14729-14735

Vuijk, H.; Brader, J. M.; Sharma, A.:
**Anomalous fluxes in overdamped Brownian dynamics
with Lorentz force.** -
Journal of Statistical Mechanics (2019). - Article Number: 063203

Vuijk, H.; Brader, J. M.; Sharma, A.:
Effect of anisotropic diffusion on spinodal decomposition. -
Soft Matter 15 (2019). - S. 1319-1326

Wagner, K.; Girardo, S.; Goswami, R.; Rosso, G.;
Ulbricht, E.; Müller, P.; Soteriou, D.; Träber, N.; Guck, J.:
**Colloidal crystals of compliant microgel beads to study
cell migration and mechanosensitivity in 3D.** -
Soft Matter 15 (2019). - S. 9776-9787

Wang, J. J.; Zheng, Y.; Li, L.; Liu, E.; Zong, C. Y.; Zhao, J. X.; Xie, J.;
Xu, F.; König, T.; Saphiannikova, M.; Cao, Y. P.; Fery, A.; Lu, C. H.:
**All-optical reversible azo-based wrinkling patterns
with high aspect ratio and polarization-independent
orientation for light responsive soft photonics.** -
ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 25595-25604

Wang, L.L.; Käßler, A.; Fischer, D.; Simmchen, J.:
**Photocatalytic TiO₂ Micromotors for Removal
of Microplastics and Suspended Matter.** -
ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 32937-32944

Wang, M.; Li, R.; Chen, G.; Zhou, S.; Feng, X.;
Chen, Y.; He, M.; Liu, D.T.; Song, T.; Qi, H.:
**Highly stretchable, transparent, and conductive
wood fabricated by *in situ* photopolymerization
with polymerizable deep eutectic solvents.** -
ACS Applied Materials & Interfaces 11 (2019). - S. 14313-14321

Wang, S.-J.; Venkateshvaran, D.; Mahani, M.R.; Egorov, S. A.; et al.:
**Long spin diffusion lengths in doped conjugated
polymers due to enhanced exchange coupling.** -
Nature Electronics 2 (2019). - S. 98-107

Wei, Q.; Voit, B.; Ge, Z.:
**Thermally activated delayed fluorescent polymers:
Structures, properties and applications in OLED devices.** -
Macromolecular Rapid Communications 40 (2019). -
Article Number: 1800570

Weis, P.; Hess, A.; Kircher, G.; Huang, S.;
Auernhammer, G.; Koynov, K.; Butt, H.-J.; Wu, S.:
**Effects of spacers on photoinduced
reversible solid-to-liquid transitions of
azobenzene-containing polymers.** -
Chemistry - A European Journal 25 (2019). - S. 10946-10953

Wengenmayr, M.; Dockhorn, R.; Sommer, J.-U.:
Dendrimers in solution of linear polymers: Crowding effects. -
Macromolecules 52 (2019). - S. 2616-2626

Wießner, S.:
**Mehr als nur Gummi : Forscher des IPF betrachten
Elastomere in einem ganzheitlichen Ansatz.** -
Kunststoffe (2019). - S. 44-45

Wongpinyochit, T.; Vassileiou, A.D.; Gupta, S.;
Mushrif, S.H.; Johnston, B. F.; Seib, F. P.:
**Unraveling the impact of high-order silk structures
on molecular drug binding and release behaviors.** -
Journal of Physical Chemistry Letters 10 (2019). - S. 4278-4284

Wronska, N.; Majoral, J. P.; Appelhans, D.;
Bryszewska, M.; Lisowska, K.:
**Synergistic effects of anionic/cationic dendrimers
and levofloxacin on antibacterial activities.** -
Molecules 24 (2019). - Article Number: 2894

Wunde, M.; Klüppel, M.; Vatterott, C.; Tschimmel, J.;
Lacayo-Pineda, J.; Schulze, A.; Heinrich, G.:
**Verbesserung der Laborvorhersagen zum Risswachstum
und Verschleiß von LKW-Reifenlaufflächen.** -
Kautschuk Gummi Kunststoffe 72 (2019). - S. 72-78

Xu, K.; Urgel, J. I.; Eimre, K.; Di Giovannantonio, M.;
Keerthi, A.; Komber, H.; Wang, S.; Narita, A.; Berger, R.;
Ruffieux, P.; Pignedoli, C. A.; Liu, J.; Müller, K.; Fasel, R.; Feng, X.:
**On-surface synthesis of a
nonplanar porous nanographene.** -
Journal of the American Chemical Society 141 (2019). - S. 7726-7730



Xu, Y.; Patsis, P.A.; Hauser, S.;
Voigt, D.; Rothe, R.; Günther, M.;
Cui, M.; Yang, X.; Wieduwild, R.;
Eckert, K.; Neinhuis, C.; Akbar, T.F.;
Mineev, I.R.; Pietzsch, J.; Zhang, Y.:
**Cytocompatible, injectable,
and electroconductive soft
adhesives with hybrid
covalent/noncovalent dynamic network.** -
Advanced Science 6 (2019). - Article Number: 1802077

Yadav, B.; Saphiannikova, M.; Domurath, J.; Kim, K.; Lee, S.:
**Orientation approach to directional photodeformations
in glassy side-chain azopolymers.** -
Journal of Physical Chemistry B 123 (2019). - S. 3337-3347

Yavarpanah, S.; Seyfi, J.; Davachi, S. M.;
Hejazi, I.; Khonakdar, H. A.:
**Evaluating the effect of hydroxyapatite nanoparticlerson
morphology, thermal stability and dynamic mechanical
properties of multicomponent blend systems based on
polylactic acid/Starch/Polycaprolactone.** -
Journal of Vinyl and Additive Technology 25 (2019). -
S. E83-E90

Yazdaninia, A.; Jafari, S.H.; Ehsani, M.;
Khajavi, R.; Khonakdar, H. A.:
**Solid state viscoelastic properties, morphological and melt
rheological studies on PLA/TPU/POSS nanocomposites.** -
Polymer-Plastics Technology and Materials 58 (2019). -S. 1036-1045

Yong, H.; Bittrich, E.; Uhlmann, P.; Fery, A.; Sommer, J.-U.:
**Co-nonsolvency transition of poly(N-isopropylacryl-
amide) brushes in a series of binary mixtures.** -
Macromolecules 52 (2019). - S. 6285-6293

Yu, Y.; Ng, C.; König, T.; Fery, A.:
**Tackling the scalability challenge in plasmonics
by wrinkle-assisted colloidal self-assembly.** -
Langmuir 35 (2019). - S. 8629-8645

Zessin, J.; Bittrich, E.; Zessin, J.; Malanin, M.; Posseckardt, J.;
Voit, B.; Eichhorn, K.-J.; Kiriy, A.; Mertig, M.:
**Molecular doping of a water-soluble
polythiophene derivative.** -
Physica Status Solidi A 216 (2019). - Article Number: 1800772

Zhandarov, S.; Scheffler, C.; Mäder, E.; Gohs, U.:
**Three specimen geometries and three methods
of data evaluation in single-fiber pullout tests.** -
Mechanics of Composite Materials 55 (2019). - S. 69-84

Zhang, L.; Wang, Y.; Yang, D.; Huang, W.; Hao, P.;
Feng, S.; Appelhans, D.; Zhang, T.; Zan, X.:
**Shape effect of nanoparticles on tumor
penetration in monolayers versus spheroids.** -
Molecular Pharmaceutics 16 (2019). - S. 2902-2911

Zhang, L.; Zhang, T.; Hao, P.; Yang, D.;
Feng, S.; Peng, B.; Appelhans, D.; Zan, X.:
**Designing nanoparticles with improved
tumor penetration: surface properties from
the molecular architecture viewpoint.** -
Journal of Materials Chemistry B 7 (2019). - S. 953-964

Zhao, B.; Luo, S.; Bonaccorso, E.;
Auernhammer, G.; Deng, X.; Li, Z.; Chen, L.:
**Resolving the apparent line tension of sessile droplets and
understanding its sign change at a critical wetting angle.** -
Physical Review Letters 123 (2019). - Article Number: 094501

Zhao, P.-C.; Liu, Z.; Gehde, M.; Kühnert, I.; Leuteritz, A.:
Effect of phosphorus-containing modified magnesium hydroxide on the mechanical properties and flammability of PLA/MH composites. -
 AIP Conference Proceedings 2055 (2019). -
 Article Number: 050004 [4pp.]

Zhao, X.; Gnanaseelan, M.; Jehnichen, D.; Simon, F.; Pionteck, J.:
Green and facile synthesis of polyaniline/tannic acid/rGO composites for supercapacitor purpose. -
 Journal of Materials Science 54 (2019). - S. 10809-10824



Zhou, S.; Dai, F.; Chen, Y.; Dang, C.; Zhang, C.; Liu, D.T.; Qi, H.:
Sustainable hydrothermal self-assembly of hafnium-lignosulfonate nano hybrids for highly efficient reductive upgrading of 5-hydroxymethylfurfural. -
 Green Chemistry 21 (2019). -
 S. 1421-1431

Ziegler, L.; Kampert, E.; Janke, A.; Heinrich, G.; Zimmerer, C.:
Preparation of ultra-thin metallic susceptor structures for electromagnetic induction heating of reactive polymer interphases. -
 AIP Conference Proceedings 2055 (2019). - Article Number: 130005 [5pp.]

Zimmerer, C.; Gültner, M.; Simon, F.:
Fluorine-free developments and perspective for lyophobic textile finishes. -
 Trends in Textile Engineering & Fashion Technology 5 (2019). -
 S. 655.ff.

Zimmerer, C.; Häußler, L.; Arnhold, K.; Ziegler, L.; Heinrich, G.:
Molecular structure of reactive polycarbonate-amine interfaces characterized by IR-spectroscopy and differential scanning calorimetry. -
 AIP Conference Proceedings 2055 (2019). -
 Article Number: 130001 [5pp.]

Zimmerer, C.; Matulaitiene, I.; Niaura, G.; Reuter, U.; Janke, A.; Boldt, R.; Sablinskas, V.; Steiner, G.:
Nondestructive characterization of the polycarbonate - octadecylamine interface by surface enhanced Raman spectroscopy. -
 Polymer Testing 73 (2019). - S. 152-158

Zimmerer, C.; Mejia, C.S.; Utech, T.; Arnhold, K.; Janke, A.; Wosnitza, J.:
Inductive heating using a high-magnetic-field pulse to initiate chemical reactions to generate composite materials. -
 Polymers 11 (2019). - Article Number: 535

Zimmerer, C.; Simon, F.; Utech, T.; Ziegler, L.; Zimmermann, P.; Müller, T.; Heicke, S.:
Umweltschonende Verfahrensalternative zur Kunststoffmetallisierung. -
 GAK : Gummi Fasern Kunststoffe 72 (2019). - S. 198-204

Zimmermann, R.; Delius, J.; Friedrichs, J.; Stehl, S.; Hofmann, T.; Hannig, C.; Rehage, M.; Werner, C.; Hannig, M.:
Impact of oral astringent stimuli on surface charge and morphology of the protein-rich pellicle at the tooth-saliva interphase. -
 Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 174 (2019). - S. 451-458

Zimmermann, R.; Duval, J. F. L.; Werner, C.:
On the analysis of ionic surface conduction to unravel charging processes at macroscopic soft and hard solid-liquid interfaces. -
 Current Opinion in Colloid and Interface Science 44 (2019). -
 S. 177-187

Zimmermann, R.; Hentschel, C.; Schrön, F.; Moedder, D.; Büttner, T.; Atallah, P.; Wegener, T.; Howitz, S.; Werner, C.:
High resolution bioprinting of multi-component hydrogels. -
 Biofabrication 11 (2019). - Article Number: 045008

Zwahr, C.; Helbig, R.; Werner, C.; Lasagni, A.:
Fabrication of multifunctional titanium surfaces by producing hierarchical surface patterns using laser based ablation methods. -
 Scientific Reports 9 (2019). - Article Number: 6721

Abgeschlossene Promotionen

Ankush Checkervarty
 Formation and stabilization of pores in bilayer membranes: Induced by stress and amphiphilic copolymers
Technische Universität Dresden

Franziska Fischer
 Development of new approaches for characterising DNA origami-based nanostructures with atomic force microscopy and super-resolution microscopy
Technische Universität Dresden

Bernhard Glatz
 Surface wrinkling of elastic supported membranes: Controlling defects and upscaling
Universität Bayreuth

Minoj Gnanaseelan
 Development of thermoelectric materials based on polymer nanocomposites
Technische Universität Dresden

Dominik Hahn
 From non-fouling to cell instructive: binary hydrogels with adjustable properties
Technische Universität Dresden

Samuel Krüger
 Positioning of droplets in inhomogeneous fluids
Technische Universität Dresden

Martin Mayer
 From single colloidal particles to coupled plasmonic assemblies
Technische Universität Dresden

Tamil Selvan Natarajan
 Water responsive mechano-adaptive elastomer composites based on active filler morphology
Technische Universität Dresden

Setareh Behboudi Poshteh
 DOPO-haltige oligo-esterdiol zur Entwicklung von Polyurethan-Systemen mit flammhemmenden Eigenschaften
Technische Universität Dresden

Deyan Raychev
 A bottom-up computational approach to semiconducting block copolymers: From monomer design to charge transport properties
Technische Universität Dresden

Aladdin Sallat
 The influence of filler-matrix interactions on the mechanical performance and the self-healing behavior of bromobutyl rubber composites
Technische Universität Dresden

Felix Schrön
 Inkjet bioprinting and 3D culture of human MSC-laden binary starPEG-heparin hydrogels for cartilage tissue engineering
Technische Universität Dresden

Eshwaran Subramani Bhagavatheswaran
 Exploring the piezoresistive characteristics of solution styrene butadiene rubber composites under static and dynamic conditions – a novel route to visualize filler network behavior in rubbers
Technische Universität Dresden

Nicole Träber
 Polyacrylamide bead sensors for *in vivo* quantification of cell-scale stress during zebrafish development
Technische Universität Dresden

Johanna Zessin
 DANN-origami-templated synthesis of semiconducting polythiophene filaments
Technische Universität Dresden

Pengcheng Zhao
 Development and investigation of bio-based environmentally friendly fire retardant PLA composites
Technische Universität Chemnitz

Preise und Auszeichnungen

Dr. Eva Bittrich [1]

Paul Drude Award 2019
für außergewöhnliche Leistungen bei der Entwicklung und Anwendung der spektroskopischen Ellipsometrie

Dr. Julian Thiele [2]

Georg-Manecke-Preis der gleichnamigen Stiftung bei der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) für seine Leistungen auf dem Gebiet der Polymerchemie

Dr. Passant Atallah, Dr. Lucas Schirmer, Dr. Uwe Freudenberg und Prof. Dr. Carsten Werner

MaterialVital-Preis 2019 [3]
der ProMatLeben-Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) für die beste Entwicklung im Bereich Polymere für den Gesundheitsbereich – größtes Innovationspotential für das Ausgründungsprojekt ResCure: Entwicklung einer neuartigen Hydrogel-Wundauflage zur Behandlung chronischer Hautwunden sowie
Innovationspreis des IPF [4]
für die Entwicklung neuartiger Hydrogel-Wundauflagen zur Behandlung chronischer Hautwunden

Dr. Beatriz Basterra Beroiz [5]

Promotionspreis der Deutschen Kautschuk-Gesellschaft e. V. für die Dissertation "Correlation of elastomer structures and stress-strain amplification mechanisms in reinforced rubber nanocomposites"

Dr. Jan Domurath [6]

Doktorandenpreis des Vereins zur Förderung des IPF für die Dissertation "Stress and strain amplification in non-newtonian fluids filled with spherical and anisometric particles".

Anne-Sophie Gimpel [7]

Franz-Brandstetter-Preis für die Masterarbeit "Effect of culture conditions on 3D (neuro)epithelial differentiation in matrigel and starPEG-GAG hydrogels"

Prof. Dr. Carsten Werner [8]

Wahl als Mitglied in die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften acatech

Dr. Petra Uhlmann [9]

AiF-Gutachterin für die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF)

Konsortium C3 Carbon Concrete Composite

Dr. Christina Scheffler (Teilprojektleiterin)
Energy GlobeWorld Award, Kategorie Erde
Beteiligung des IPF

Madeleine Schwarzer [10]

Posterpreis. 1. Rang auf dem 10th Münster Symposium on Cooperative Effects in Chemistry (MSCEC) für das Poster "Supercooled water droplet impact on heterogeneous surfaces"

Autoren: M. Schwarzer, T. Otto, I. V. Roisman, A. Snytska



Carsten Zschech [11]

Posterpreis auf dem International Meeting on Radiation Processing (IMRP) für das Poster "Continuous electron-induced reactive processing – a sustainable reactive processing method"

Autoren: C. Zschech, M. Pech, S. Wießner, I. Kühnert, U. Gohs, U. Wagenknecht

Patricia Flemming [12]

2. Posterpreis der Tagung "Active Polymeric Materials and Microsystems" für das Poster "In situ characterization of the counterion-induced UCST behavior of poly(N,N-dimethylaminoethyl methacrylate) nanoscopic films"

Autoren: P. Flemming, A.S. Münch, M. Müller, A. Fery, P. Uhlmann

Dimitri Eigel

Preis für den besten Vortrag auf der 15th International Saint Petersburg Conference of Young Scientists "Modern Problems of Polymer Science" für den Vortrag "Microscale cryogels as devices for focal therapeutic delivery"

Autoren: D. Eigel, P.B. Welzel, J.Thiele, C. Werner, B.Newland.

Dr. Jens Gaitzsch [13]

1. Platz beim Science Slam Basel für die Präsentation "New biodegradable plastic"

Sascha Putzke [14]

Prof. Joehnk-Auszubildendenförderpreis 2019 für seine Leistungen in der Ausbildung zum Chemielaboranten

Jugend forscht, Regionalwettbewerb

Richard Wustmann

2. Preis für die von Dr. Mirko Nitschke und Bernhard Glatz betreute Arbeit „Mikrostrukturierung von Polymer-Oberflächen zur Beeinflussung der Bakterienhaftung“

Antonia Meyer

3. Preis für die von Dr. Tobias König betreute Arbeit „Rotes Gold – Grundlagen zur Wissenschaftsvermittlung von Plasmonenresonanz“

Luisa Kollatz

Sonderpreis der Jury für die von Dr. Alben Lederer betreute Arbeit „Einfluss der Generation und des Modifizierungsgrades von Glykodendrimeren auf deren Wechselwirkungen mit ATP“ ■



Wissenschaftler austausch

IPF-Fellows

Prof. Dr. Leonid Ionov

Universität Bayreuth,
Fakultät für Ingenieurwissenschaften,
Bayreuth, Deutschland

Prof. Dr. Hossein Ali Khonakdar

Iran Polymer & Petrochemical Institute,
Teheran, Iran

Prof. Dr. Barbara Klajnert-Maculewicz

University of Lodz,
Department of General Biophysics,
Lodz, Polen

Dr. Igor Kulić

CNRS, Institut Charles Sadron,
Strasbourg, Frankreich

Prof. Dr. Tilo Pompe

Universität Leipzig, Institut für Biochemie,
Leipzig, Deutschland

Prof. Dr. Matthias Schubert

University of Nebraska-Lincoln,
Nebraska Center for Materials and Nanoscience,
Lincoln, USA

Prof. Dr. Philipp Seib

Strathclyde University,
Institute of Pharmacy and Biomedical Sciences,
Glasgow, Großbritannien

Prof. Dr. De-Yi Wang

Madrid Institute for Advanced Studies of Materials,
Madrid, Spanien

Gastwissenschaftler (Auswahl)

Alexander-von-Humboldt-Stiftung-Stipendiaten

Dr. Quinn Alexander Besford

University of Melbourne, Australia
Chemosensitive polymer brushes
through co-nonsolvency effects
1.09.2019 bis 31.08.2021

Dr. Soosang Chae

Korea Research Institution
of Chemical Technology, South Korea
Nacre-inspired stretchable fibre electrodes
1.05.2018 bis 30.04.2020

Dr. Yue Li

Chinese Academy of Sciences,
Institute of Chemistry, Beijing, China
Bioinspired co-assembled microscopic hydrogel
particles as artificial photosystem via droplet microfluidics
28.10.2019 bis 28.02.2022

Prof. Ahmad Ali Mousa

Al-Balqa Applied University, Jordan
Entwicklung von umweltfreundlichem Up-cycling von industriell im metallurgischen Prozess anfallender Schlacken für funktionale Polymercomposite auf Basis von UP-Harzen
15.06.2019 bis 14.09.2019

Dr. Charlene Ng

Commonwealth Scientific and Industrial
Research Organisation, Canberra, Australia
Enhanced hot carries extraction by collective plasmonic resonances
30.10.2017 bis 31.01.2020

José Humberto Santos Almeida Júnior

Federal University of Rio Grande do Sul,
UFRGS, Porto Alegre, Brazil
Development of a 3D free fiber placement process
based on a rapid consolidation of the thermoset
matrix for manufacture of complex composite structures
1.04.2017 bis 31.03.2019

Dr. Meisam Shabinian

Standard Research Institute, Iran
Synthesis of a new series of partially hydrolyzed
polyacrylamides for improving shale stability
and thermal resistance of drilling mud
1.01.2020 bis 30.06.2021

Prof. Joseph Tracy

North Carolina State University, USA
Optically and magnetically responsive three
dimensional printed nanocomposite hydrogels
05.06.2019 bis 1.09.2019

Dr. Jianwei Zhang

National University of Defense Technology, China
Mechanically strong and electrically conductive
graphene/polymer nanocomposites through *in situ*
reduction of graphene oxide upon microwave irradiation
10.02.2018 bis 31.12.2019

Dr. Ziwei Zhou

Jilin University, China
Dynamically tunable chiral plasmonics
of strongly coupled 3D nano-enantiomers
1.03.2019 bis 28.02.2021

Liebig-Stipendium

Dr. Franziska Lissel

Organometallic donor-acceptor polymers
for (opto)electronic applications
1.04.2018 bis 31.03.2021

Dr. Christian Rossner

Maßgeschneiderte Nanohybridmaterialien
für die plasmonenverstärkte Photokatalyse
1.12.2019 bis 30.11.2022

Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD)

Yann-Jiun Chen

National Taiwan University of Science and Technology, China
Bonding behavior of blends from biomaterials in weld lines and
two shot injection molded parts
28.04.2018 bis 30.04.2019

Kedar Nath Dhakal

Tribhuvan University, Nepal
Meltspun nanofibers based on biodegradable poly(butylene
adipate-co-terephthalate)/multiwalled carbon nanotubes
nanocomposites for strain sensor application
1.10.2019 bis 30.09.2020

Giulia Fredi

University of Trento, Department
of Industrial Engineering, Italy
Improvement of the filler-matrix adhesion in
multifunctional structural polymer composites
for thermal energy storage and release
17.09.2018 bis 16.03.2019

Minoj Gnanaseelan

Indian Institute of Technology, Kharagpur, India
Thermoelectric materials based
on polymer-based nanocomposites
1.10.2015 bis 31.03.2019

Dr. Tales Lisboa

Federal University of Rio Grande do Sul,
UFRGS, Porto Alegre, Brazil
Improving the crashworthiness of composite
structures produced by tailored reinforcements
on filament winding using variable-axis fiber design
1.06.2019 bis 31.05.2020

Subhradeep Mandal

Indian Institute of Technology, Kharagpur, India
Exploring oxigen-metal-complex network
formation in epoxidised natural rubber (ENR)
1.10.2019 bis 31.03.2020

Kajari Mazumder

Materials Science Centre, Indian Institute of Technology, India
Preparation of functional polymers
and explore their applications
1.10.2019 bis 30.09.2020

Sajid Naseem

University of Engineering and Technology,
Lahore, Pakistan, Asia
The interrelation of different flame protecting
mechanisms for polymer materials depending on
the composition of the flame retardant nano additives
1.10.2016 bis 30.09.2020

Sanjay Pal

Indian Institute of Technology, Kharagpur, India
Formation of double network structure in maleic
anhydride grafted ethylene propylene (M-EPM) rubber:
Structure-processing-properties relationship study
1.10.2019 bis 31.03.2020

Maria Zhyhailo

National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine
Proton conductive polymer and organic-
inorganic membranes for fuel cell application
1.10.2019 bis 30.06.2020

**Stipendium von China
Scholarship Council (CSC) und DAAD****Dr. Cheng-Wu Li**

Xiamen University, Department of Physics, China
Polyelectrolyte brushes in external fields
1.09.2019 bis 28.02.2021

**Stipendium des chinesischen State
Scholarship Funds vergeben über
China Scholarship Council (CSC)****Yixuan Du**

Shanghai University, China
Design of Janus structures for high-performance
organic optoelectronic devices with plasmonic particles
14.11.2018 bis 30.09.2022

Yian Chen

China
Novel functional materials based on cellulose and graphene
07.10.2016 bis 31.03.2020

Dr. Xin Huang

Harbin Institute of Technology School
of Chemistry and Chemical Engineering, China
Construction of proteinosomes and polymersome hybrid
multi-compartmental models
21.07.2019 bis 20.08.2019

Chen Jiao

China
Hydrogels with non-linear and selective
response on chemical information for
1.10.2019 bis 30.09.2023

Yilong Li

China
Nanocarbon filled polymer composites
for vapor sensing applications
04.11.2015 bis 03.11.2019

Xinlei Tang

China
Multicomponent composites containing
carbon nanoparticles
1.10.2016 bis 30.09.2020

Peng Wang

China
Non-covalent interactions for the fabrication
of complex polyplexes for imaging study
11.10.2017 bis 31.03.2021

Ruosong Wang

China
Surface plasmon enhanced upconversion
based on Ln-doped nanoparticles
1.11.2018 bis 31.10.2021

Xueyi Wang

China
Multicompartmentalized capsules for mimicking cell functions
towards the establishment of differenty responsive compart-
ments in hollow capsules
21.10.2016 bis 31.03.2020

Ping Wen

Harbin Institute of Technology School of
Chemistry and Chemical Engineering, China
Construction of hybrid multicompartment
based on proteinosome and polymersome
1.03.2019 bis 28.02.2020

Xu Xiaoying

Donghua University, China
Artificial cell mimics based on polymersomes
and multicompartment for capturing pathogens
1.10.2018 bis 31.03.2022

Kehu Zhang

China
Integrating attachable, self-sorting, multi-stimuli-responsive
polymersomes for applications in microfluidic channels
1.10.2019 bis 31.03.2023

Kenan Zhang

China
Novel solution-processable semiconducting
polymers for vertical transistors
1.09.2017 bis 31.08.2021

Xueyan Zhao

China
Supercapacitor electrodes based on hybrid carbon fillers
12.10.2015 bis 28.02.2019

DFG- Stipendium**Bhanu Nandan**

Indian Institute of Technology, Delhi, India
Electrospun nanofibers with embedded
yolk-shell particles for catalytic applications

**Stipendium der International
Helmholtz Research School
for Nanoelectronic Networks****Oumaima Aiboudi**

Morocco, Africa
Azulene-based nanocars
07.05.2018 bis 06.05.2020

**Stipendium des Science and Engineering
Research Board (SERB), Indien****Sajan Singh**

Indian Institute of Technology, Delhi, India
Multifunctional nano-objects via self-assembly
of block copolymer for fluorescence resonance
energy transfer studies
1.10.2019 bis 30.09.2020

**Stipendium des Thailand
Research Fund (TRF)****Krieksank Damampai**

Prince of Songkla University, Thailand
Influence of metal ions on coordination
linkage of epoxidized natural rubber
1.10.2019 bis 31.03.2020

Gaststudenten am IPF_(Auswahl)

Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD)

Mahawat Singh Dalmiya

Indian Institute of Technology, India

Parameterization of constitutive models for elastomers

considering hyperelasticity, viscoelasticity and the Mullins effect

14.10.2019 bis 31.03.2020

Jeetendra Gour

Indian Institute of Technology, India

Plasmonic nano-particle grating by directed

self-assembly for hot electron injection

1.09.2018 bis 31.03.2019

Muskan Kularia

Indian Institute of Technology, Delhi, India

Plasmonic nanoparticles self-assembly on a fiber end face

1.10.2019 bis 31.03.2020

Durga Charan Mishra

Indian Institute of Technology, India

Role of advanced elastomer composite

in the failure behavior under cyclic loading

14.10.2019 bis 31.03.2020

Tuhin Subhra Pal

Indian Institute of Technology Kharagpur, India

Analysis of the crosslinkability of

polyurethanes by electron beam irradiation

1.10.2018 bis 31.03.2019

Darshak Pathiwada

Indian Institute of Technology, Delhi, India

Self-healable supramolecular acrylic elastomers

16.09.2019 bis 31.03.2020

Vignesh Pavunraj

Indian Institute of Technology, India

Development of advanced elastomeric

composites from eco-friendly and renewable

sources exploring green technology

1.10.2019 bis 31.03.2020

ERASMUS-Stipendium

Marianna Carone

University of Urbino, Italy

Synthesis and characterization of new molecules

for Lupus disease treatment (open and dense shell

PPI and PAMAM dendrimers with lower generation)

21.01.2019 bis 20.03.2019

Alice Liguoro

Université de Bretagne-Sud, France

Preparation of polymer/CNT blends

and their thermoelectric characterization

25.03.2019 bis 07.06.2019

Sarah Tassinari

University of Urbino, Italy

Synthesis and characterization of new molecules

for Lupus disease treatment (open and dense shell

PPI and PAMAM dendrimers with lower generation)

25.02.2019 bis 24.04.2019

Aleksey Tenyuta

Belarusian State University, Belarus

NMR investigations on cellulose sulfate acetate

20.09.2019 bis 20.12.2019

Aufenthalte von IPF-Mitarbeitern als Gastwissenschaftler im Ausland

Yannic Brasse

The University of Melbourne, School of Chemistry,

Prof. Paul Mulvaney, Melbourne, Australia

Royal Melbourne Institute of Technology, School of

Science Cluster, Prof. Daniel Gómez, Melbourne, Australia

Tunable polymer-metal based anti reflective metasurfaces

(DAAD Scholarship via Bayreuth-

Melbourne Colloid/Polymer Network)

30.01.2019 bis 28.04.2019

Jennifer Daeg

Sección de Inmunología, Laboratorio Inmuno

Biología Molecular, Hospital General Universitario

Gregorio Marañón (HGUGM), Madrid, Spanien

Biokonjugate für die Inhibierung von HIV-1 und

HSV-2 Infektionen (Förderungsgeber:

Graduiertenakademie TUD)

16.06.2019 bis 20.08.2019

Dimitri Eigel

Cardiff University, School of Pharmacy

and Pharmaceutical Science, United Kingdom

Microscale cryogels as devices for focal

therapeutic delivery (DFG/Roland Ernst Stiftung)

1.10.2018 bis 31.03.2019

Dr. Petr Formanek

TU Berlin, Institut für Optik und Atomare Physik,

Arbeitsgruppe Prof. Dr. Michael Lehmann, Berlin, Germany

Electron holography of polymers and polymer composites

4.02.2019 bis 30.04.2019

Nicolas Hauck,

Harvard University, School of Engineering

and Applied Sciences, Cambridge, USA

Glass capillary microfluidics for fabricating mechano-

responsive microcapsules as particulate additive in 3D-printing

1.04.2019 bis 30.06.2019

Dr. Alben Lederer

Stellenbosch University, Dept. of Polymer Science;

Private Bag X1, Matieland, 7602, Stellenbosch, South Africa

Physical Polymer Science: Polymers in Solution

16.03.2019 bis 18.04.2019

Inga Melnyk

Monash University, School of Chemistry,

Dr. Rico Tabor, Melbourne, Australia

The University of Melbourne, Chemical Engineering,

Prof. Dr. Ray Degastine, Melbourne, Australia

Interactions of photo-responsive surfactants by colloidal

probe AFM (DAAD Bayreuth-Melbourne Scholarship)

11.02.2019 bis 10.05.2019

Laura Plüschke

Stellenbosch University, Dept. of Polymer Science;

Private Bag X1, Matieland, 7602, Stellenbosch, South Africa

Comprehensive analysis of dendritic polyethylene using a

multiple preparative fractionation approach Faculty of Science

(Gastdoktorandin über ein Erasmus gefördert)

17.02.2019 bis 19.04.2019

Enrico Wölfel

Deakin University, Institute for Frontier Materials,

Geelong Waurn Ponds Campus, Waurn Ponds, Australien

Surface modification of carbon fibers

for polyurethane based sizings

6.11.2019 bis 17.12.2019 ■



Wissenschaftliche Veranstaltungen

Symposium „Personalisierte Medizin – Diagnostik – Medizintechnik“
des Leibniz-Forschungsverbundes „Gesundheitstechnologien“
20. März 2019, Berlin

Herstellung, Charakterisierung und Anwendung von einfach funktionalisierten und Janus-Partikeln verschiedener Größenskalen, Geometrien und Eigenschaften – von nano bis meso, von Kugeln bis Plättchen, von hart bis soft
22. März 2019, Dresden

[4] **10th European PhD Students' Seminar on Rubber**
8. bis 10. April, Paris, Frankreich

Workshop on Progress in Nanotechnology and Optoelectronics
Veranstaltung des European Centre for Nanostructured Polymers
25. bis 27. April 2019, Lodz, Polen

[6] **27. Seminar „Kunststoffrecycling in Sachsen“**
8. Mai 2019, Dresden

Next Generation Strategies and Insights on Large Molecule Characterization
Wyatt User Meeting Dresden – User Meeting und Light Scattering University on Tour
14. und 15. Mai 2019, Dresden

[5,6] **2. Leibniz-Kolloquium „Theoria cum praxi“**
18. Juni 2019, Dresden

[10] **15th Zsigmondy Colloquium of the German Colloid Society**
10. bis 12. Juli 2019, Dresden

[2] **The International Conference on Adhesion in Aqueous Media: From Biology to Synthetic Materials**
9. bis 12. September 2019, Dresden

[1] **18th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis (ECASIA 2019)**
15. bis 20. September 2019, Dresden

Active Polymeric Materials and Microsystems Konferenz des Graduiertenkollegs „Hydrogel-basierte Mikrosysteme“
16. bis 19. September 2019, Dresden

[8] **26. Fachtagung TECHNOMER**
7. und 8. November 2019, Chemnitz

[11] **Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference 2019**
28. und 29. November 2019, Dresden

[9] **Festkolloquium „30 Jahre Polymer-Spektroskopie und Ellipsometrie am IPF Dresden e. V.“**
3. Dezember 2019, Dresden ■

[3,7] **Leibniz Conference on Bioactive Compounds 2019**
Tagung des Leibniz-Forschungsverbundes „Wirkstoffe und Biotechnologie“
1. und 2. April 2019, Dresden



Wissenschaftliche Kolloquien (öffentlich)

Dr. José Alvarado

University of Texas at Austin, USA
Molecular motors robustly drive active gels to a critically connected state
8. Oktober 2019

Prof. Sandro Amico

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasilien
Overview of the research work of the composites group at UFRGS including the development of a dedicated composite mechanics software
11. September 2019

Dr. Daria Andreeva-Baeumler

National University of Singapore, Faculty of Science, Singapur
Programmable artificial materials based on interactions between two-dimensional materials and stimuli responsive polymers
4. Juni 2019

Sergey V. Antonov

Russian Academy of Science, A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, Russland
Adhesives based on modified epoxy resins
5. Dezember 2019

Prof. Michael J. Aziz

Harvard School of Engineering and Applied Science, USA
Organic aqueous flow batteries for massive electrical energy storage
17. September 2019

Dr. Alessia Besford

IPF Dresden e. V., Institut für Biofunktionelle Polymermaterialien
The biomolecular corona at the bio-nano interface – Opportunities and challenges
18. November 2019

PD Dr. Torsten Beweries

Leibniz-Institut für Katalyse e. V. an der Universität Rostock
Catalytic dehydropolymerisation of amine boranes: New catalysts and polymer functionalities
3. Mai 2019

Prof. Joseph Michael Brader

University of Fribourg, Switzerland
Applying equilibrium statistical mechanics to active systems
24. Juni 2019

Dr. Karsten Brüning

Konica Minolta Laboratory USA, Inc., San Mateo, CA, USA
Strain-induced crystallization in natural rubber – Stretching the fatigue life of polymers and scientists
18. Juni 2019

Dr. Tuhin Chatterjee

University of Groningen, Niederlande
Reactive extrusion of polyolefin in presence of supercritical carbon dioxide
14. August 2019

Dorota Chlebosz

University of Texas at Austin, USA
Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Chemistry, Polen
Properties of poly(3-hexylthiophene):N,N'-alkyl substituted aromatic diimides blends and their applications in flexible electronics
18. Juni 2019

Prof. Angel Licea Claverie

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tijuana, Center for Graduate Studies and Research in Chemistry, Mexiko
PEGylated temperature/pH-responsive nanogels for delivery of chemotherapeutic agents to cancer cell-lines
10. September 2019

Prof. Andreas Deutsch

Technische Universität Dresden, Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen
Biological self-organisation: Mechanisms, models and analysis
7. Mai 2019

Dr. Artur Erbe

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
Electrical contacting and characterization of self-organized nanowires
12. November 2019

Prof. José Paulo S. Farinha

University of Lisbon, CQE and Institute of Nanoscience and Nanotechnology, Portugal
Stimuli-responsive polymers for controlled release in nanocarriers
12. Juni 2019

Dr. Christian Fettkenhauer

Anton Paar Germany GmbH
Latest developments in measurement technology for the characterization of powders and solid materials
20. Mai 2019

Dr. Dieter Fischer

IPF Dresden e.V., Abt. Analytik
(Mikro)Plastik in unserer Umwelt -Was wissen wir? Eintragsquellen, Transportwege, Verbleib – mögliche Gefährungen für Mensch und Umwelt
9. Oktober 2019

Monalisa Garai

National University of Singapore, Department of Chemistry, Singapur
Plasmon enhanced photoluminescence of metal nanoparticles and monolayer MoS₂ studied by single particle spectroscopy
25. November 2019

Prof. Derek Gates

The University of British Columbia in Vancouver, Faculty of Chemistry, Kanada
A role for phosphorus in polymer chemistry
9. Januar 2019

Prof. Daniel Gomez

Royal Melbourne Institute of Technology, Australien
Plasmonic hot carrier extraction with near-perfect absorbers
8. Juli 2019

Dr. Holger Großmann

Anton Paar Germany GmbH
Latest developments in measurement technology for the characterization of powders and solid materials
20. Mai 2019

Dr. Saikat Das Gupta

Hari Shankar Singhanian Elastomer and Tyre Research Institute (HASETRI), Indien
Effect of silane coupling agent on silica based PCR tread compounds
8. März 2019

Prof. Luke C. Henderson

Carbon Nexus, IFM, Deakin University, Australien
Using electrochemically initiated polymerisation to improve carbon fibre properties and interfacial adhesion in a composite
16. September 2019

Prof. Christoph Herm¹ und Dr. Josef Brandt²

¹ Hochschule für Bildende Künste Dresden
² IPF Dresden e. V., Abt. Analytik
Alterungsprozesse historischer polymerer Konservierungsmaterialien an Glasfenstern – Ein Beitrag zu Erhaltung mittelalterlicher Glasmalerei einschließlich der Ergänzungen aus dem 19. Jahrhundert im Naumburger Dom
8. Mai 2019

Dr. Jan Heyda

University of Chemistry and Technology Prague,
Department of Physical Chemistry, Tschechien
Thermodynamics and electrophoresis in light of
molecular dynamics simulations and theory of solutions
29. Januar 2019

Jun.-Prof. Dr. Stefan Weber

Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz
Watching ions move: Scanning probe
microscopy on perovskite solar cells
20. Februar 2019

Dr. Adam Kiersnowski

IPF Dresden e. V., Abt. Mechanik und Verbundwerkstoffe
Tailoring crystallinity of polymers for applications in
flexible electroactive and semiconducting materials
13. März 2019

Dr. Meike König

Karlsruhe Institute of Technology (KIT),
Institute of Functional Interfaces
Functional poly-p-xylylene coatings
via CVD polymerization
21. Oktober 2019

Dr. Jos Lenders

Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Publishing advanced materials science with Wiley
under the Projekt DEAL "Publish & Read" agreement –
How to maximize your success
20. September 2019

Dr. Tales de Vargas Lisbôa

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasilien
Analysis of the pattern influence on
components produced by filament winding
17. Mai 2019

Prof. Ravikumar Majeti

Texas A&M University, College of Pharmacy,
Department of Pharmaceutical Sciences, USA
Next generation functional polyesters
for biomedical applications
5. März 2019

Prof. Rogério Marczak

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasilien
An improved constitutive model for anisotropic
elastomers
22. Oktober 2019

Prof. Frieder Mugele

University of Twente, Physics of Complex Fluids,
Niederlande
Charge generation at mineral-electrolyte interfaces:
from microscopic ion adsorption to hydration
and macroscopic wetting transitions
25. Januar 2019

Dr. Caroline Murawski

Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und
Sensortechnik e. V., Meinsberg
Shining new light on organic LEDs: From oriented
emitters to new applications in biophotonics
28. Mai 2019

Dr. Dieter Nees

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH,
MATERIALS – Institut für Oberflächen-
technologien und Photonik, Österreich
Roll-to-roll UV nanoimprint lithography
for large area manufacturing of bionic surfaces
22. Mai 2019

Dr. Ryan Nieuwendaal

National Institute of Standards and Technology, USA
Amorphous polymer structures from REDOR NMR
and molecular dynamics simulation biasing.
9. September 2019

Dr. Toshihisa Osaki

Kanagawa Institute of Industrial
Science and Technology, Japan
Artificial cell membrane platforms
for drug discovery and super sensors
28. Juni 2019

Prof. Harald Pasch

University of Stellenbosch, Department of
Chemistry and Polymer Science, Südafrika
Analytical LEGO as a tool for
polymer nanostructures elucidation
28. Juni 2019

Christoph Pfeifer

Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Technische Chemie und Polymerchemie
Hydrogels as separation media based on defined pore size
30. September 2019

Dr. Jan Plagge

Deutsches Institut für Kunststofftechnologie e. V.,
Hannover
Thermo-mechanical evaluation of strain-induced
crystallization in filled and unfilled natural rubber
18. Juni 2019

Prof. Alexander Revzin

Mayo Clinic, Department of Physiology
and Biomedical Engineering, USA
Microsystems for cell cultivation and analysis
28. Juni 2019

Dr. Christian Rossner

University of Toronto,
Department of Chemistry, Kanada
Nanomaterial design by controlling
polymeric architecture
24. Juni 2019

Adj. Prof. Stephan Roth

Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY
and KTH Royal Institute of Technology
Polymer and nanocomposites – Advanced synchrotron
radiation *in situ* investigations from thin films to the bulk
18. Juni 2019

Dr. Claudia Pacholski

Universität Potsdam, Institut für Chemie
Soft colloidal lithography with hydrogel microgels:
A chemical route to functional materials
23. Januar 2019

Dr. Biplab Paul

Linköping University, Department of
Physics Chemistry and Biology (IFM), Schweden
Growth of inorganic-polymer hybrid flexible thin
films for wearable thermoelectric applications

12. April 2019

Prof. Andrzej Pawlak

Polish Academy of Sciences, Centre of Molecular
and Macromolecular Studies, Lodz, Polen
The entanglements of macromolecules and
their influence on the properties of polymers
18. Juni 2019

Dr. Dillip K. Satapathy

Soft Materials Laboratory,
Department of Physics, IIT Madras, Indien
Novel phenomena in confined polymers
20. September 2019

Prof. Tatsiana Savitskaya

Belarusian State University,
Physical Chemistry Department, Weißrussland
Polyelectrolyte complexes and composites of water
soluble alkali metal salts of cellulose acetate sulfate
(CAS) immobilized on the activated carbon
12. März 2019

Dr. Leonardo Scarabelli

University of California,
Departments of Chemistry and Biochemistry, USA
Large-scale fabrication of plasmonic materials:
Challenges and potentials
29. August 2019

Prof. Felix H. Schacher

Friedrich-Schiller-Universität, Jena
Polyampholytes as versatile materials
in "catch & release" applications
6. Dezember 2019

Dr. Marcus Scheele

Universität Tübingen, Institut für
Physikalische und Theoretische Chemie
Structure-transport correlations in superlattices
of nanocrystals coupled to organic Pi-systems
22. Oktober 2019

Prof. Christoph Schick

Universität Rostock, Institut für Physik
Tammann's nuclei development approach
in crystallization of macromolecules
18. Juni 2019

Dr.-Ing. Stefan Seelecke

Universität des Saarlandes, Saarbrücken
Elastocalorics and dielectric elastomers -
Smart materials for higher energy efficiency
3. September 2019

Dr. Philipp Seib

University of Strathclyde, Glasgow, Großbritannien
Discovery thread for healthcare applications
13. Dezember 2019

Radoslava Sivkova

Czech Academy of Sciences, Department of Chemistry
and Physics of Surfaces and BioInfaces in the Institute
of Macromolecular Chemistry, Prag, Tschechien
"Click" chemistry as a route to new functional polymers
14. Januar 2019

Dr. Linus Stegbauer

Northwestern University, USA
Learning from nature: Investigation of the hybrid-
nanocomposites of the chiton tooth towards high-tech
3D-printable materials
4. März 2019

Prof. Dr. Horst von Recum

Case Western Reserve University, Cleveland, USA
Refillable materials for recurrent
or chronic drug delivery
16. September 2019

Ass. Prof. Erik Walinda

Graduate School of Medicine, Kyoto University, Japan
Probing protein unfolding and aggregation by
rheological NMR spectroscopy and atomistic simulations
21. März 2019

Prof. De-Yi Wang

IMDEA Materials Institute, Madrid, Spanien
New strategies on development of new
generation fire safety polymer nanocomposites
10. September 2019

Felix Wong

Harvard University, USA
The mechanics of bacterial cell shape
8. April 2019 ■

Messen, Präsentationen und Ausstellungen

Messeauftritte

Tire Tech Expo, Hannover [1]

Stand des IPF auf Einladung der Veranstalter
5. bis 7. März 2019

JEC World 2019, Paris, Frankreich [2]

Präsentation innerhalb des Gemeinschafts-
standes „SAXONY!“ sächsischer
Firmen und Forschungseinrichtungen
12. bis 14. März 2019

**Integrated Lightweight Plaza
der Hannover Messe [3]**

Stand des IPF
1. bis 5. April 2019

Kunststoffmesse K 2019, Düsseldorf [4]

Stand des IPF im Science Campus
16. bis 23. Oktober 2019



Veranstaltungen für die allgemeine Öffentlichkeit

Girls' Day [1]

28. März 2019

Juniordoktor-Programm [2]

des Netzwerks „Dresden – Stadt der Wissenschaft“

- Experimentalvorlesung *Vom Molekül zum Kunststoff*
(Klassen 3–5), 21. Januar 2019
- *Kleine Dinge ganz groß –
Licht- und Elektronenmikroskopie*
(Klassen 6–8), 27. März 2019

16. Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften [3,5]

14. Juni 2018



Messen, Präsentationen und Ausstellungen

Kampagne „Genial sächsisch“ der Sächsischen Zeitung [4]

Vorstellung der Erfindung Anti-Malaria-Textilien
(Kooperation IPF und Universität Pretoria, Südafrika)
17. Juni 2019, Dresden

DRESDEN-concept Science Tram: Krebs, Alzheimer und andere große Krankheiten [6]

Vorstellung und Diskussion der Arbeiten am IPF zur Entwicklung hämokompatibler Materialien und Beschichtungen
16. September 2019

Veranstaltung „30 Jahre Friedliche Revolution in der Deutschen Botschaft in Prag“ [7]

Präsentation von Ergebnissen deutsch-tschechischer Wissenschaftskooperation: „Branching design in polyolefins by catalyst variation – Synthesis meets Experiment meets Theory“
30. September 2019

Besuch von Schüler- und Studentengruppen am IPF

10 Gruppen mit insgesamt ca. 200 Teilnehmern

Sonstige Veranstaltungen

Jahresempfang des IPF 11. April 2019, Dresden [8]

Eröffnung des neuen

Institutsgebäudes Kaitzer Straße 4 [9]

17. Dezember 2019

Kunstaussstellungen [10]

Indien – Orte und Begegnungen

Malerei, Grafik, Reisetagebücher von André Wejwoda
30. Januar bis 10. Mai 2019

Wahrnehmung und Verwandlung

Malerei von Max Manfred Queißer
5. Juni bis 2. Oktober 2019

Farben und Formen als lebendige Kräfte

Bilder der Freien Waldorfschule Dresden
Arbeiten von Schülern der Oberstufe
10. Oktober 2019 bis 21. Februar 2020 ■



Lehrtätigkeit

Professuren von IPF-Mitarbeitern

Technische Universität Dresden

Bereich Mathematik und Naturwissenschaften, Fakultät Chemie und Lebensmittelchemie

Prof. Dr. Brigitte Voit –
Professur für Organische Chemie der Polymere,
Prof. Dr. Andreas Fery –
Professur für Physikalische Chemie Polymerer Materialien,
Prof. Dr. Carsten Werner –
Professur für Biofunktionelle Polymermaterialien.

Bereich Mathematik und Naturwissenschaften, Fakultät Physik

Prof. Dr. Jens-Uwe Sommer –
Professur für Theorie der Polymere

Zentrale Wissenschaftliche Einheit

‘Center for Molecular and Cellular Bioengineering (CMCB)’

Prof. Dr. Carsten Werner

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme
Prof. Dr.-Ing. Udo Wagenknecht –
Honorarprofessur für Kunststofftechnik

University of Toronto, Kanada

Institute of Biomaterials and Biomedical Engineering
Prof. Dr. Carsten Werner – Adjunct Professor

Tampere University of Technology, Finnland

Dr. Amit Das – Adjunct Faculty

University of Nebraska-Lincoln, USA

Department of Chemistry
Dr. Petra Uhlmann – Adjunct Professor

Stellenbosch University, Südafrika

Department of Chemistry and Polymer Science
PD Dr. Alben Lederer – Außerordentliche Professur

Technische Universität Wroclaw, Polen

Fakultät Chemie
Dr. Adam Kiersnowski – Assistant Professor

Weitere Lehraufträge von IPF-Mitarbeitern

Technische Universität Dresden

Bereich Mathematik und Naturwissenschaften

PD Dr. Doris Pospiech – Privatdozentur im Gebiet Makromolekulare Chemie,
PD Dr. Martin Müller – Privatdozentur im Gebiet Makromolekulare Chemie,
PD Dr. Alben Lederer – Privatdozentur im Gebiet Physikalische Chemie,
PD Dr. Alla Synytska – Privatdozentur im Gebiet Makromolekulare Chemie,

Dr. Julian Thiele – TUD Young Investigator in der Fakultät Chemie und Lebensmittelchemie,
Dr. Tobias A. F. König – TUD Young Investigator in der Fakultät Chemie und Lebensmittelchemie,
Dr. Franziska Lissel – TUD Young Investigator in der Fakultät Chemie und Lebensmittelchemie.
Dr. Abhinav Sharma – TUD Young Investigator in der Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften

Technische Universität Dresden

Bereich Ingenieurwissenschaften

PD Dr. Marina Grenzer – Privatdozentur für Rheologie komplexer Fluide,
 PD Dr. Hans-Georg Braun – Privatdozentur für Werkstoffwissenschaften,
 Dr.-Ing. Ines Kühnert – Lehrauftrag in der Fakultät Maschinenwesen,
 Dr.-Ing. Sven Wießner – Lehrauftrag in der Fakultät Maschinenwesen,
 Dr. Andreas Leuteritz – Lehrauftrag in der Fakultät Maschinenwesen.

Bereich Ingenieurwissenschaften (fakultätenübergreifend)

Graduiertenkolleg 2430
 „Interaktive Faser-Elastomer-Verbunde“
 PD Dr. Marina Grenzer
 Dr.-Ing. Sven Wießner

Graduiertenkolleg 1865
 „Hydrogel-basierte Mikrosysteme“
 Prof. Dr. Brigitte Voit
 Dr. Dietmar Appelhans
 Dr. Stefan Zschoche
 Dr. Jens Gaitzsch
 Dr.-Ing. Sven Wießner
 Dr. Christina Scheffler

Bereich Bau und Umwelt

Dr. Christina Scheffler – TUD Young Investigator in der Fakultät Bauingenieurwesen

Zentrale Wissenschaftliche Einheit

‘Center for Molecular and Cellular Bioengineering (CMCB)’

Prof. Dr. Carsten Werner
 PD Dr. Hans-Georg Braun – Lecturer
 Dr. Julian Thiele – Lecturer

Dresden International Graduate School for Biomedicine and Bioengineering

Prof. Dr. Carsten Werner
 Prof. Dr. Brigitte Voit

Center for Advancing Electronics Dresden cfaed (mit integrierter Graduate School)

Prof. Dr. Brigitte Voit
 Prof. Dr. Andreas Fery
 Dr. Tobias A. F. König

International Helmholtz Graduate School NanoNet,

Prof. D. Brigitte Voit

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Fakultät Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme

Dr.-Ing. Ines Kühnert – Lehraufträge
 „Verarbeitungsbedingte Materialstrukturen“ und
 „Aufbau und Materialverhalten der Kunststoffe“

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Fakultät Design

Dr. Axel Spickenheuer – Lehrauftrag „Material und Verfahren, Einsatz von Methoden der Finite Elemente Analyse (FEA) für das Produktdesign“

Indian Institute of Sciences, Indien

Center of Nanoscience and Engineering, Bangalore

PD Dr. Hans-Georg Braun – DAAD Visiting Professor,
 Lecture Series on Soft Matter Engineering

Berufungen

von IPF-Mitarbeitern an andere Einrichtungen

Southwest Jiaotong University (SWJTU) in Chengdu, China

School of Materials Science and Engineering

Dr. Manfred Maitz – Gastprofessur

Berufsausbildung

In Kooperation mit Partnern ist das Institut in der Berufsausbildung aktiv.

Gemeinsam mit dem Berufsschulzentrum Meißen-Radebeul und der Sächsischen Bildungsgesellschaft für Umweltschutz und Chemieberufe Dresden werden Chemielaboranten ausgebildet. 2019 befanden sich zwölf Auszubildende am IPF in der Ausbildung zum Chemielaboranten.

Bei der Ausbildung von Berufsakademiestudenten zum B.Sc. Biotechnologie kooperiert das Institut mit der Berufsakademie Sachsen in Riesa. 2019 war das IPF für zwölf Berufsakademiestudenten Praxispartner bzw. Ausbildungsunternehmen.

Erstmals bot das Institut 2019 die Ausbildung zum Verfahrensmechaniker an, die in Kooperation mit MEA – Metall- und Elektroausbildung GmbH Kesselsdorf erfolgt. In dieser Ausbildungsrichtung wurde 2019 am IPF ein Auszubildender betreut. ■

Impressum

Herausgeber Der Vorstand des Leibniz-Instituts für Polymerforschung Dresden e. V.
Prof. Dr. Brigitte Voit, Wissenschaftliche Direktorin
Dr. Lilla Farkas, Kaufmännische Direktorin

Anschrift Postfach 120411, 01005 Dresden
Telefon +49 351 4658-0
Telefax +49 351 4658-284
Internet www.ipfdd.de
Email ipf@ipfdd.de

Redaktion Kerstin Wustrack, Dr. Victoria Albrecht, Liliya Kusnez

Layout und Satz Judith Nelke

Bildnachweis

Titel Sven Döring;
Seite 4 (li.) Sven Döring, (re.) IPF, Sebastian Kühn;
Seite 5 Sven Döring;
Seite 6 Jörg Simanowski;
Seite 12 (v. li. n. re.) Jörg Simanowski, Kai Uhlig, Kai Uhlig;
Seite 13 (v. li. n. re.) Jörg Simanowski, Jürgen Lösel, Jörg Simanowski, Jörg Simanowski;
Seite 14 Sven Döring;
Seite 15 (v. li. n. re.) Jörg Simanowski, Kai Uhlig, Jörg Simanowski;
Seite 36 IPF, Sebastian Kühn;
Seite 37 (v. li. n. re.) Jörg Simanowski, Jörg Simanowski, Kai Uhlig;
Seite 56 Sven Döring;
Seite 57 (v. li. n. re.) Jürgen Lösel, privat;
Seite 74 Sven Döring;
Seite 57 (v. li. n. re.) Kai Uhlig, Jürgen Lösel;
Seite 124 [1] ICMAB-CSIC Barcelona, [2] GDCh, [3] ProMatLeben-WIN, [4,6,7] Judith Nelke,
[5] DKG, [8] Jörg Simanowski, [9] Jürgen Jeibmann, [10] Münster, SFB 858, [11] imrp-iaa.com,
[12] Phillip Jan Mehner (TU Dresden), [13] Science Slam Basel, [14] SBG Dresden mbH;
Seite 132 [1] 2019 Hans-Günther Lindenkreuz und Steffen Oswald,
[2] Inga Melnik, [3,7] Carola Graf, [8] Mirko Albrecht, [9] Judith Nelke;
Seite 133 [4] Bruno Muret, [5,6,10] Kai Uhlig, [11] ITM, TUD;
Seite 139 (oben) [1] C.E.S. Bhagavatheswaran, [2,3] Axel Spickenheuer, [4] IPF;
(unten) [1,2] Kerstin Wustrack;
Seite 140 [3,5,8] Judith Nelke, [4] Ines Kühnert, [6] Sebastian Hoppe, [7] Jan Merna, [9] Stephan Floss;

Druck Druckerei Thieme Meißen GmbH, www.druckereithieme.de

Redaktionsschluss 10. März 2020

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige Verwendung sind nur nach vorheriger
Absprache mit dem Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. gestattet.



Das IPF wird gemeinsam durch Bund und Länder gefördert.
Das Institut wird mitfinanziert mit Steuermitteln auf Grundlage des
von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushalts.

