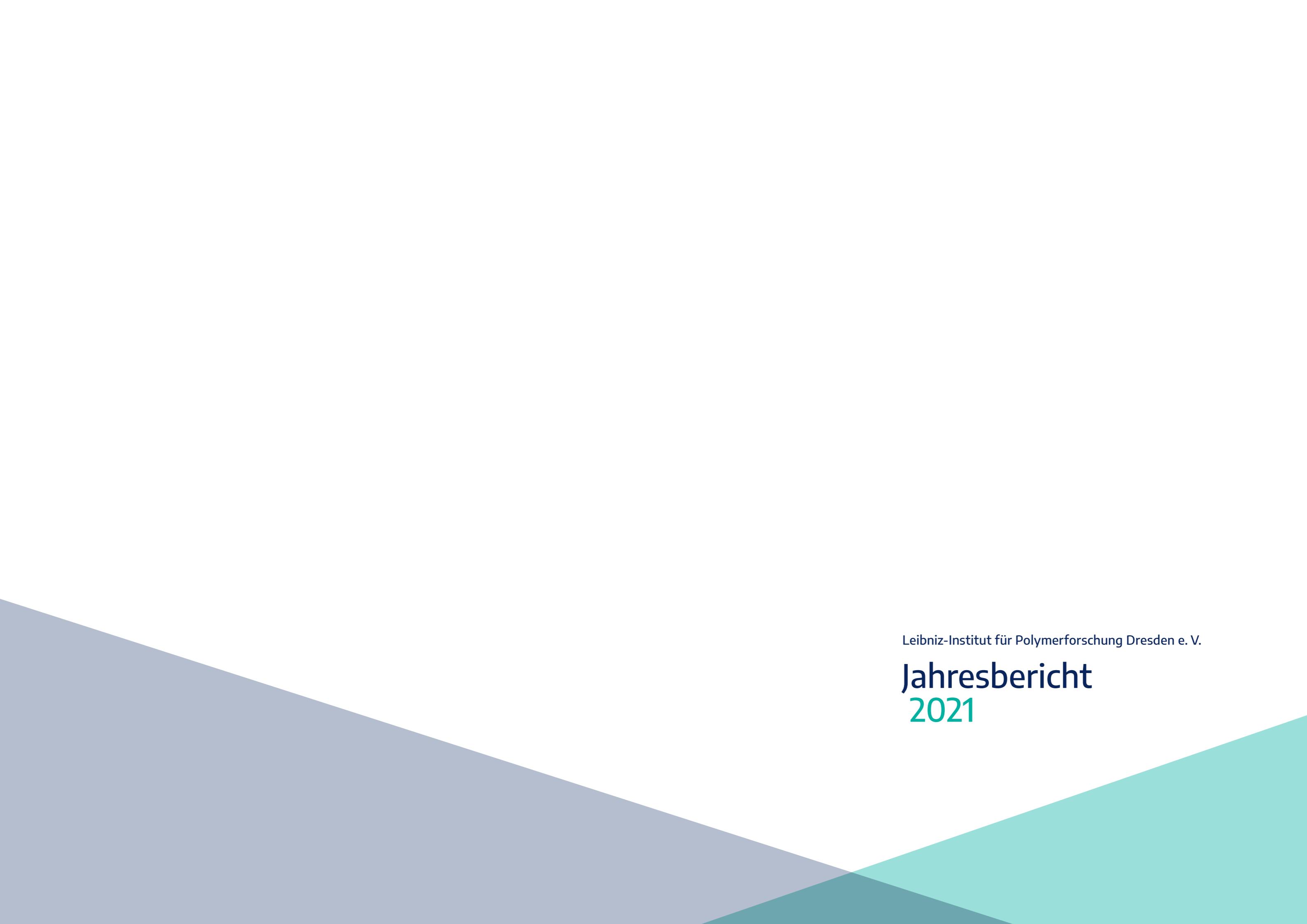




Leibniz-Institut
für Polymerforschung
Dresden

Jahresbericht 2021





Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.

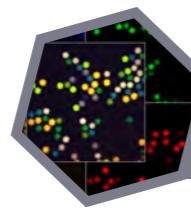
Jahresbericht 2021

INHALT

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

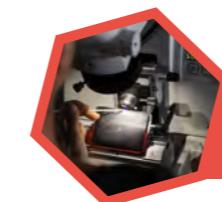
14 Grundlegende Konzepte der weichen Materie

- 16 Characterisation of a mussel-inspired hydrogel film coating for biosensors
- 18 Correlation of conformational dynamics with the degree of hybridization of exosomes
- 20 New surface-based sensors of liquid mixture compositions: Coupling polymer brush conformation to fluorescence colour
- 22 Microscopic surface w/ interface properties determine macroscopic wetting behavior
- 24 Swelling of tendomer networks
- 26 Chemotaxis of cargo carrying active particles and active chains



28 Bioinspirierte Materialien

- 30 Protocells for the detection of subtle extracellular glucose changes
- 32 Wundermaterial Spinnenseide: Sekundärstruktur und Orientierung von dünnen Filmen aus rekombinant hergestellten Spinnenseidenproteinen
- 34 Bioinspired layered interphase structures for reinforcing fibers in concrete composites
- 36 Cytoplasmic condensation induced by membrane damage is associated with antibiotic lethality
- 38 Amphiphilic copolymers for versatile, facile, and *in situ* tunable surface biofunctionalization
- 40 Poly(2-alkyl-2-oxazoline)-heparin hydrogels – Expanding the physicochemical parameter space of biohybrid materials
- 42 Customizing biohybrid cryogels to serve as ready-to-use delivery systems of signaling proteins
- 44 Sulfonated cryogel scaffolds for focal delivery in *ex vivo* brain tissue cultures
- 46 Sulfation of glycosaminoglycan hydrogels instructs cell fate and chondral versus endochondral lineage decision of skeletal stem cells *in vivo*



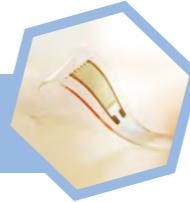
66 Prozesskontrollierte Strukturmaterialien

- 68 Entwicklung von p- und n-leitenden Kompositen für thermoelektrische Anwendungen durch geeignete Auswahl der Polymermatrix und des Füllstofftyps
- 70 Improved piezoresistive strain sensor characteristics of conductive polymer composites by using polymer blends as matrix
- 72 Embedment of quantum dots and biomolecules in a dipeptide hydrogel formed *in situ* using microfluidics
- 74 Entwicklung des generativen *TFPprint*-Verfahrens zur Herstellung von duromeren Multi-Matrix-Faserkunststoffverbunden
- 76 Prozesskontrollierte Keimbildung und Kristallisation von Polylactiden
- 78 Flow-induced phase transitions and aquamelts: Insights from atomistic simulations



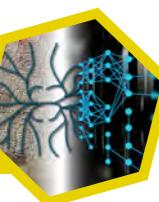
48 Funktionsmaterialien und Systemintegration

- 50 Nachweis von SARS-CoV-2-Antigenen und Antikörpern mittels polymerbasierter OFET-Biosensoren
- 52 Entwicklung einer mechanisch gesteuerten Logikschaltung
- 54 Chirale Metaoberflächen: Durchstimmbare Polarisatoren und ultrasensitive Detektion
- 56 New generation of flexible optical sensors
- 58 Herstellung flüssigkeitsdichter ABS-Teile durch 3D-Druck und deren chemische Vernickelung
- 60 Self-powered tactile sensing and energy harvesting from commercial rubbers
- 62 Transverse anisotropy in magneto-active elastomers
- 64 Regulating the translocation of DNA through nanopores



80 Datenwissenschaftsbasierte Materialforschung

- 82 Vorhersage elastischer Eigenschaften von kurzfaser verstärkten Kunststoffen mittels neuronaler Netzwerke
- 84 Trans-Encoder als neues Konzept für maschinell erlernte Sequenz-Eigenschafts-Beziehungen



86 Nachhaltigkeit und Umweltschutz

- 88 Polyesters with bio-based monomers for multifunctional materials with improved sustainability
- 90 Towards the catalytic degradation of polymer composites using transition metal layered double hydroxides(LDH)
- 92 PA-PTFE-Öl-cb-Compounds für den Einsatz als Opferelement in Schneckengetrieben
- 94 Mesoporöse Poly(melamin-co-formaldehyd)-Partikel-Herstellung: Charakterisierung und Anwendung

- 96 Ergebnisse in Zahlen
- 97 Publikationen
- 126 Preise und Auszeichnungen
- 129 Graduiierungsarbeiten
- 132 Wissenschaftleraustausch
- 136 Veranstaltungen
- 139 Lehrtätigkeit
- 142 Impressum

VORWORT PREFACE

Liebe Leserinnen und Leser,
liebe Institutsangehörige, liebe Partner,
Freunde und Förderer,

wer hätte geahnt, dass wir im Jahresbericht 2021 nochmals über ein Jahr berichten, dass ganz maßgeblich durch die Corona-Pandemie gekennzeichnet war?

Im Interesse der Gesundheit unserer Mitarbeiter und der Eindämmung der Infektionen insgesamt galten über das ganze Jahr die mit dem Betriebsrat vereinbarten Regeln zur Vertrauensarbeitszeit sowie Hygiene- und Abstandsregeln. Die im Jahre 2020 etablierten und erlernten neuen Techniken für Home Office und Online-Kommunikation erlaubten zusammen mit dem verantwortungsvollen Handeln aller Mitarbeiter erneut eine sehr erfolgreiche Arbeit.

Eine Zahl, die das eindrucksvoll belegt, ist das Drittmittaufkommen. 14 Mio. EUR bewilligter Drittmittel für 2021 stellen eine Erhöhung um 4 Mio. EUR gegenüber dem Vorjahr und eine Verdopplung des Wertes von 2014 dar!

Enthalten sind dabei u. a. Mittel der Sächsischen Aufbaubank für das Projekt PolyDigMa zur Einrichtung einer digitalisierten Werkstofffabrik. Die ehemaligen Räume der Werkstatt der Forschungstechnik des IPF werden derzeit mit hohem Aufwand für dieses Vorhaben umgebaut, und im Frühjahr 2022 soll die neue technische Infrastruktur in Betrieb genommen werden. Sie ist Teil einer ganzen Reihe von Aktivitäten zum neuen Schwerpunktthema „Datenwissenschaftsbasierte Materialforschung“ und zur allgemeinen Digitalisierungsinitiative. Auch die Testung und Einführung von elektronischen Laborbuch-Systemen gehören dazu.

Für weitere zukunftsträchtige Forschungsaktivitäten wurden Weichen gestellt bzw. strategische Planungen auf den Weg gebracht. Am weitesten gediehen ist dies in Bezug auf die Etablierung der gemeinsamen Professur „Electronic Tissue Technologies“ mit der Technischen Universität Dresden und dem Else Kröner Fresenius Zentrum für Digitale Gesundheit, die aller Voraussicht nach im Herbst 2022 besetzt sein wird.

Grundlage aller Zukunftsplanungen ist die erfolgreiche Evaluierung des Instituts im Jahr 2022, und die Vorbereitung einer überzeugenden Darstellung sowohl der geleisteten Arbeit als auch der Visionen und Potenziale war wichtige Aufgabe für alle Bereiche des Instituts über das ganze Jahr 2021.

Geleistet wurde all diese Arbeit – daran sei hier auch für künftige Leser nochmals erinnert – unter den Bedingungen der Pandemie: Mit Abstand, Mund-Nase-Bedeckungen, Tests, Zutrittsregeln 3G ... bis hin zu Impfaktionen am Institut, organisiert von der Verwaltung und durchgeführt von der Betriebsärztin. Der Vorstand dankt allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des IPF für die engagierte und erfolgreiche Arbeit auch im Jahr 2021!

Gleichermaßen danken wir den Zuwendungsgebern, Förderern und Partnern des IPF für die erneut sehr gute Zusammenarbeit. ■

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



Dear readers, dear coworkers,
partners, and friends

Who would have guessed that in the Annual Report 2021 we would once again be reporting on a year that was significantly marked by the Corona pandemic?

In the interest of the health of our employees and the containment of infections overall, the rules on trust-based working hours agreed with the Works Council as well as hygiene and distance rules applied throughout the year. The new home office and online communication techniques established and learned in 2020, together with the responsible actions of all employees, once again allowed us to work very successfully.

One figure that impressively demonstrates this is the volume of third-party funding. The acquisition of EUR 14 million of projects funds in 2021 means an increase by EUR 4 million as compared to the previous year and a doubling of the volume of 2014!

The figure includes funds from the Sächsische Aufbaubank (Development Bank of Saxony, SAB) for the PolyDigMa project to set up a digitalized materials factory. The former rooms of the IPF's research technology workshop are currently being converted for this project, and in spring 2022 the new technical infrastructure shall be put into operation. It is part of a whole series of activities relating to the new strategic topic "Data science-based materials research" and to the general digitalization initiative. The testing and introduction of electronic lab book systems are also part of this.

Further promising research activities have been initiated and are being prepared strategically. Close to implementation is the establishment of a joint professorship "Electronic Tissue Technologies" with the Technical University of Dresden and the Else Kröner Fresenius Center for Digital Health. We expect that the future professor will take office in the fall of 2022.

The basis for all future planning is the successful evaluation of the institute in 2022, and the preparation of a convincing presentation of both the work done and the visions and potentials was an important task for staff in all structural units of the institute throughout 2021.

All of this work was carried out - and we would like to remind future readers of this here - under the conditions of the pandemic: with distance, face masks, tests, 3G access rules ... up to vaccination campaigns at the institute, organized by the administration and carried out by the company doctor.

The Board of Directors thanks all employees of the IPF for their dedicated and successful work also in 2021!

We would also like to thank the sponsors, supporters and partners of the IPF for the very good cooperation. ■

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

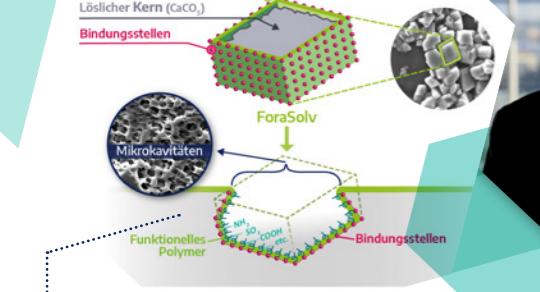
- Prof. Daniela Lössner baut mit ERC Consolidator Grant am IPF Arbeitsgruppe auf.

Entwicklung von 3D-Zellkulturplattformen für die Forschung an neuen Therapien für Bauchspeicheldrüsenkrebs

Prof. Daniela Lössner joined the IPF with an ERC Consolidator Grant to establish a research group for the development of 3D cell culture platforms for research on new therapies for pancreatic cancer.



- MaterialVital-Preis für Dr. Silvia Moreno Pinilla MaterialVital Award for Dr. Silvia Moreno Pinilla



Transferprojekt im Leibniz-Wettbewerb Leibniz transfer project

Multiphasic hydrogels for high-throughput screening compatible human in vitro tissue and disease models
Koordinator/ Coordinator: Prof. Carsten Werner

VIP+-Transferprojekt „NoChrom2“

Überführung eines umweltfreundlichen Galvanikverfahren in die industrielle Anwendung
Koordinator: Dr. Jürgen Nagel

VIP+ transfer project “NoChrom2”

Transfer of an environmentally friendly electroplating process into industrial application
Coordinator: Dr. Jürgen Nagel

- Dr. Muhamad Al Aiti erhält Röchling-Preis des WAK für seine Dissertation “On the morphology and structure formation of lignin-based carbon fibers”.

Dr. Muhamad Al Aiti receives the Röchling Prize of the WAK for his dissertation “On the morphology and structure formation of lignin-based carbon fibers”.

SCHLAGLICHTER HIGHLIGHTS

Einige Präsenztagung des Jahres

17th Dresden Polymer Discussion „Adaptive Polymer Synthesis Methodologies“, außerdem Online-Tagungen „Symposium on Field- and Flow-Based Separations 2021“ und „Polymer Brushes“

One face-to-face conference

17th Dresden Polymer Discussion “Adaptive Polymer Synthesis Methodologies”; online meetings “Symposium on Field- and Flow-Based Separations 2021” and “Polymer Brushes”



Leibniz-Forschungsnetzwerke New Leibniz Research Networks

Leibniz-Forschungsverbund Advanced Materials Safety Ko-Sprecher/ Co-speaker: Prof. Andreas Fery

Leibniz-Forschungsnetzwerk Stammzellen und Organoide

Leibniz Research Network Stem Cells and Organoids



DFG-Graduiertenkolleg (GRK 2767) bewilligt „Suprakolloidale Strukturen: Von Materialien

zu optischen und elektronischen Bauteilen“
Sprecher: Prof. Andreas Fery

DFG Research Training Group (GRK 2767) approved “Supracolloidal Structures:

From Materials to Optical and Electronic Devices”
Speaker: Prof. Andreas Fery

- Berufungen für Nachwuchswissenschaftler des IPF

Dr. Elisha Krieg TUD Young Investigator in der Fakultät Chemie und Lebensmittelchemie der TU Dresden, Dr. Axel Spickenheuer Honorarprofessor Fakultät Design der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Appointments for young scientists of the IPF

Dr. Elisha Krieg TUD Young Investigator in the Faculty of Chemistry and Food Chemistry of the TU Dresden

Dr. Axel Spickenheuer Honorary Professor in the Faculty of Design of the Dresden University of Applied Sciences.

IPF erneut als Ausgezeichneter Ausbildungsbetrieb geehrt –

zum sechsten Mal seit 2014 IPF again honored as Excellent Training Company, for the sixth time since 2014.



New M-ERA.Net projects Neue M-ERA.Net-Projekte

LaSensA

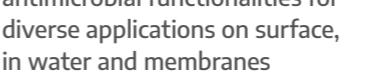
2D regular nanostructures for lasing and sensing applications

3D4D2

3D polymer matrix device for dual drug delivery and simultaneous treatment of acute malaria and malaria transmission

Ca-Fe-Ox

Earth abundant Ca-Fe-oxide-based materials with tailored antimicrobial functionalities for diverse applications on surface, in water and membranes



- Öffentlichkeitsarbeit trotz Corona, verlagert in den digitalen Raum

Neue Formate entwickelt und genutzt u. a. für Dresden Lange Nacht der Wissenschaften, Girls Day, Virtual Lab Day und im neuen YouTube-Kanal des IPF

Public relations despite Corona, shifted to the digital space:

New formats developed and used e.g. for Dresden Science Night, Girls Day, Virtual Lab Day and in the new YouTube channel of the IPF.



Abschluss der Rekonstruktion und Wiederinbetriebnahme der Kunstinstallation „Androgyn-Mobil“ von Sándor Dóró

Completion of the reconstruction of the installation art project “Androgyn Mobil” by Sándor Dóró

Ausgründung 2021

DermaPurge vermarktet nano-ex – das erste effektive Erste-Hilfe-Produkt für Entfernung von Nanoteilchen von der Haut – und bekommt dafür den Wiley Analytical Science Award.

Spin-off 2021

DermaPurge launches nano-ex, the first effective first-aid product for the removal of nanoparticles from the skin, and receives the Wiley Analytical Science Award.

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 1.01.2021 zwölf stimmberechtigte Mitglieder und zwei Mitglieder ohne Stimmrecht an. Der Freistaat Sachsen ist als juristische Person Mitglied des Vereins.

Das **Kuratorium** hatte 2021 folgende Mitglieder:

- Freistaat Sachsen – vertreten durch das Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus, vertreten durch Axel Bergmann, Dresden, Vorsitzender
- Bundesrepublik Deutschland – vertreten durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, vertreten durch Dr. Peter Schroth (bis 06/2021) bzw. Herrn Ingo Hölein, Bonn, stellvertretender Vorsitzender
- Prof. Dr. Ursula Staudinger, 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 **Kaufmännische Direktorin**:

Dr. Lilla Farkas

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, Freie Universität Berlin,
- Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten, Universität Stuttgart,
- Prof. Dr. Aránzazu del Campo, Leibniz-Institut für Neue Materialien, Saarbrücken, (ab 09/2021)
- Prof. Claudia Fischbach-Teschl, Cornell University, USA,
- Prof. Dr. Katharina Landfester, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz,
- Prof. Dr. Matthias Lütolf, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Schweiz, (bis 08/2021)
- Prof. Dr. Wolfgang Paul, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
- Dr. Georges Thielen, Goodyear Innovation Center, Luxemburg,
- Dr. Matthias Ullrich, Evonik Resource Efficiency GmbH, Marl,
- Dr. Bernhard von Vacano, BASF SE, Ludwigshafen,
- 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 und den Leiter des Forschungsbereichs Elastomere 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 24 Firmen und Institutionen sowie 19 Privatpersonen an. (Mitgliederliste im Internet unter „Organisation“) ■



Personal

Im Institut arbeiteten zum 31.12.2021 485 Mitarbeiter; davon waren 241 Wissenschaftler. Zum Stichtag am Jahresende verzeichnet die Statistik 95 Doktoranden und 33 Postdoktoranden.

334 Mitarbeiter wurden aus institutionellen Mitteln und 151 Mitarbeiter aus Drittmitteln finanziert. Der Anteil weiblicher Mitarbeiter lag bei 48,5 % aller Beschäftigten, der von Beschäftigten mit ausländischer Staatsangehörigkeit bei 23,5 %.

Über das Jahr waren insgesamt 167 Gastwissenschaftler und -studenten für kürzere (20) oder längere (147) Zeiträume* im Rahmen von Gastaufenthalten am IPF tätig. Außerdem beschäftigte das Institut im Jahr 2021 insgesamt 111 studentische Hilfskräfte und Praktikanten.

Zum Stichtag 31.12.2021 hatten 23 Auszubildende einen Ausbildungsvertrag mit dem Institut: 12 Chemielaboranten, 9 Biotechnikstudenten und 2 Verfahrensmechaniker.

Das Institut ist nach dem audit berufundfamilie als familienfreundliche Einrichtung zertifiziert.

Mitarbeiter nach Beschäftigungsgruppen

Stand 31.12.2021

Auszubildende und Berufsakademiestudenten

 23

Interner Service

 29

Administration

 51

Wissenschaftlich-technisches Personal

 77

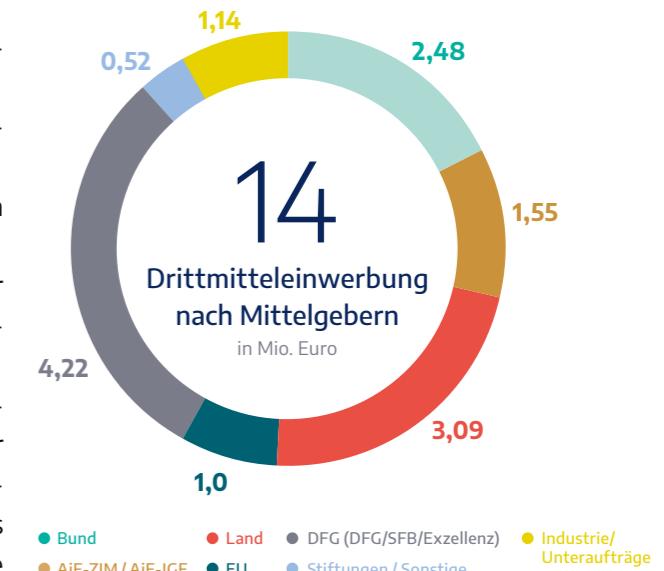
Studenten

 64

Wissenschaftler

 241

PERSONAL UND FINANZEN



Finanzen

Im Haushaltsjahr 2021 erhielt das IPF für laufende Maßnahmen eine institutionelle Förderung in Höhe von 27,3 Mio. EUR. Diese Mittel wurden zu 58 % für Personal, zu 31,1 % für sächliche und Verwaltungsausgaben und zu 10,9 % für Investitionen verwendet.

Aus öffentlich geförderten Projekten und Industrieverträgen im Drittmittelbereich konnten 14 Mio. EUR eingeworben werden. Damit erreichten die Drittmittel einen Anteil von 36 % am Gesamtetat.

12,9 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 1,1 Mio. EUR eingenommen. ■

ORGANIGRAMM

Stand: 31.12.2021

MITGLIEDERVERSAMMLUNG

KURATORIUM

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT

VORSTAND

Wissenschaftliche Direktorin	Kaufmännische Direktorin
Prof. Dr. Brigitte Voit	Dr. Lilla Farkas



Prof. Dr. Brigitte Voit

Institut
Makromolekulare
Chemie

Abteilung
Polymerstrukturen
Prof. Dr. Brigitte Voit

Abteilung
**Bioaktive und
responsive Polymere**
Dr. Dietmar Appelhans

Abteilung
**Funktionale
Nanokomposite
und Blends**
Dr.-Ing. Petra Pötschke

Zentrum
**Makromolekulare
Strukturanalyse**
Prof. Dr. Albena Lederer



Prof. Dr. Andreas Fery

Institut
Physikalische Chemie
und Physik der Polymere

Abteilung
**Funktionale Kolloidale
Materialien**
Prof. Dr. Andreas Fery

Abteilung
Polymergrenzflächen
Dr. Günter Auernhammer

Abteilung
**Nanostrukturierte
Materialien**
Dr. Petra Uhlmann

Zentrum
**Multi-Skalen-
Charakterisierung**
Dr. Ulrich Scheler



Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel

Institut
Polymerwerkstoffe

Abteilung
Verarbeitungstechnik
Dr.-Ing. Ines Kühnert

Abteilung
Werkstofftechnik
Prof. Dr.-Ing. Udo Wagenknecht

Forschungsbereich
Elastomere
Prof. Dr.-Ing. Sven Wießner

LEITUNGSSTAB

Forschungsplanung / -koordinierung	Öffentlichkeitsarbeit	Compliance und Governance	Controlling
Antonio Reguero	Kerstin Wustrack	Sandra Mansour	Jeanette Boschke



Prof. Dr. Carsten Werner

Institut
Biofunktionelle
Polymermaterialien

Bio-Grenzflächen
Prof. Dr. Carsten Werner

**Matrix & Tissue
Engineering**
Dr.-Ing. 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. Lilla Farkas

Zentrale Servicebereiche
und Administration

**Bereich
Forschungstechnik**
Dr. Michael Wilms

**Verwaltung und
Technische Dienste**
Dr. Agnes Schausberger

1

GRUNDLEGENDE KONZEpte DER WEICHEN MATERIE



Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden



Prof. Dr. Andreas Fery

Prof. Dr. Jens-Uwe Sommer

Prof. Dr. Brigitte Voit

Prof. Dr. Carsten Werner

Im Fokus des strategischen Themas Grundlegende Konzepte der weichen Materie stehen die Erforschung der Eigenschaften, insbesondere des Phasenverhaltens und der Dynamik in mehrkomponentigen, komplexen Polymer- und Kolloidsystemen, die Weiterentwicklung von Konzepten der Polymerphysik in biologischen und biomimetischen Systemen, sowie energiedissipative, aktive Systeme und Nichtgleichgewichtsprozesse. Dafür gilt es, chemische und physikalische Ansätze sowie theoretische Modelle weiterzuentwickeln und anzuwenden und Theorie und Simulation eng mit Experiment, Synthese, Verarbeitung und Analytik von Polymeren und Kolloiden zu verbinden. Dieserverständnisbasierte Ansatz ergänzt und vertieft themenübergreifend die vielfältige anwendungsbezogene Forschung innerhalb der anderen strategischen Themen. Neue Zugänge eröffnen sich so auch zum Nachvollziehen der Anpassungs- und Regulationsprozesse lebender Materie sowie zur Realisierung von Metamaterialansätzen, welche die Basis für völlig neue Funktionsmaterialien bilden.

Schaltbare Polymerbürsten wurden durch Integration von Fluoreszenzmarkern so modifiziert, dass Änderungen der physikalischen Eigenschaften der Polymerschicht erstmals mikroskopisch mit hoher Auflösung nachgewiesen werden konnten. Hierbei ist es gelungen, die optischen Methoden mit Hilfe von Molekulardynamik-Simulationen in einen quantitativen Zusammenhang mit den Konformationsänderungen der Polymere zu bringen. Das ermöglicht unter anderem die Detektion von Flüssigkeitszusammensetzung auf derartigen Oberflächen. Bei der Benetzung von nanoporösen Oberflächen konnte der Zusammenhang von makroskopischen Benetzungeigenschaften und nanoskopischen Eigenschaften der Flüssigkeit-Luft-Grenzflächen in den einzelnen

Nanoporen nachgewiesen werden (*Angewandte Chemie* 2021, 133, 16736).

Rotaxane eröffnen die Möglichkeit Polymernetzwerke zu synthetisieren, die neuartige und steuerbare Elastizitäts- und Quelleigenschaften aufweisen. Aufbauend auf einem Modell für ein Birotaxan, ein „Tendomer“, wurden die Quelleigenschaften von Netzwerken, das aus Tendomeren besteht, mit Hilfe von Skalenargumenten und numerischen Berechnungen, sowie in Monte-Carlo-Simulationen analysiert (*Macromolecules* 2021, 54, 4601).

Exosome und ihre Hybride mit DNA-Copolymeren sind von großem Interesse in der Biomedizin. Zum ersten Mal ist es gelungen, die Zusammensetzung und Konformation von Exosom-dsDNA-Polymer-Hybriden mittels der Feldflussfraktionierung mit Multidetektor-Analyse zu entschlüsseln (*PNAS* 2021, e2020241118).

Aktive Bewegung ermöglicht lebenden Systemen die gezielte Suche nach Nahrungs- und Energiequellen. Auf der Suche nach den einfachsten Prinzipien, die einer solchen Chemotaxis zugrunde liegen, wurde ein Modell aktiver Brownscher Teilchen in einem Gradienten der Aktivität theoretisch untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass allein die Kopplung solcher Teilchen zu einem aktiven Polymer zu einem stationären chemotaktischen Verhalten führt, ohne dass Informationsverarbeitung oder ein Steuerungsmechanismus nötig ist (*Physical Review Letters* 2021, 126, 208102).

Den Innovationspreis des IPF erhielt im Jahr 2021 ein Gemeinschaftsprojekt aus der Makromolekularen Chemie und der Theorie der Polymere für die Aufklärung der Verzweigungseigenschaften von Polyolefinen, die durch chain-walking-Katalysatoren entstanden sind. ■

Characterisation of a mussel-inspired hydrogel film coating for biosensors

Eva Bittrich, Anja Caspari, Kathrin Pöschel,
Astrid Drechsler, Uwe Freudenberg, Doris Pospiech

The presence of toxins in dairy products is of concern to human health, and maximum permissible levels have to be ascertained (e.g. 50 ng L⁻¹ of aflatoxin M1 [1]). There is increasing need for low cost, portable devices with sufficient sensitivity to detect toxins like aflatoxins produced by fungi on agricultural products [2,3]. An alternative approach to enzyme-linked immunosorbent assays (ELISA) for toxin detection is to immobilise antibodies on a surface and pass the analyte directly over the array. Such a device would require facile and versatile antibody immobilization, which can be achieved using bio-inspired surface coatings. A common example of such a bioinspired coating approach is the use of the catechol functional group (e.g. in dopamine), inspired by the adhesion mechanism of mussels [4].

We utilised a novel terpolymer comprising dopamine methacrylamide (DMA), in order to produce surface coatings capable of acting as biosensors for toxins [5]. DMA was copolymerised with 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) and glycidyl methacrylate (GMA) using free radical polymerization at Durham University, randomly incorporating three repeating units that enable tuneable hydrophilicity, antibody binding and substrate binding into a single polymer (Figure 1).

The copolymers were deposited as thin films on silicon wafer substrates or glass by spin-coating. Streaming potential and contact angle measurements demonstrated

that the films containing DMA were hydrophilic and relatively stable (Figure 2b). A significant contact angle hysteresis suggested chain mobility around the three-phase contact line [5]. Clear hydrogel swelling was measured by *in situ* spectroscopic ellipsometry and the stability was assured for DMA-containing films (Figure 2a). A significant polymer desorption observed in the absence of DMA highlighted the crucial role played by the catechol group in providing surface adhesion and cohesion to the polymer [5].

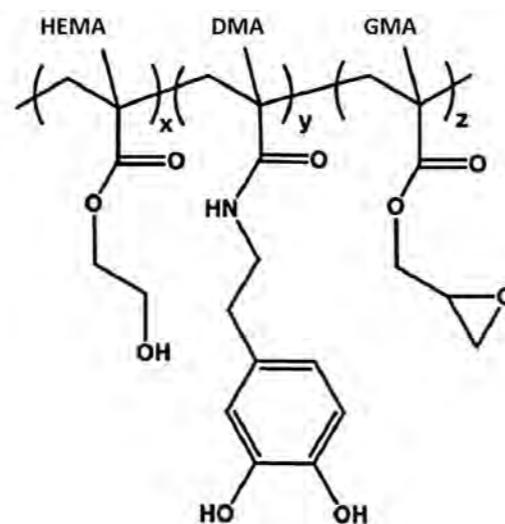


Fig. 1 Molecular structure of dopamine methacrylamide (DMA), glycidyl methacrylate (GMA), and 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA)-containing terpolymers.

An IgG antibody (AB) was immobilised on the surface of a film of the terpolymer HGD-80/10/10, as demonstrated by an increase of film thickness measured by both spectroscopic ellipsometry and quartz crystal microbalance with dissipation (QCMD) monitoring (Figure 2c). The antibody immobilisation proved stable after washing of the surface with physiological buffer solution, showing the potential of the terpolymer coating for biosensing devices. ■

Sponsor

- UK Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC), Centre for Doctoral Training in Soft Matter and Functional Interfaces (grant no. EP/L015536/1)

Cooperations

- Dr. J. M. Millican (first author), Macromolecular Chemistry II, University Bayreuth
- Dr. T. G. Ryan, Epigem Ltd., Redcar, UK
- Prof. L. R. Hutchings, Dr. R. L. Thompson, Department of Chemistry, Durham University, UK

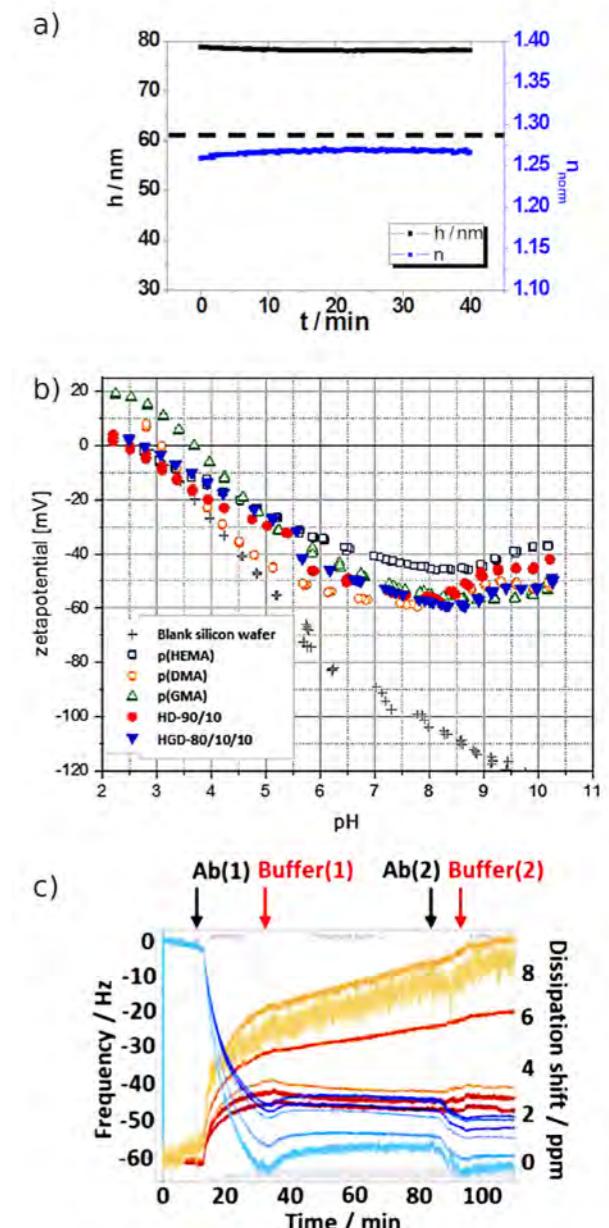


Fig. 2 (a) Film thickness (h, black) and refractive index normalized to the refractive index of the dry film (n_{norm} , blue) vs time for *in situ* spectroscopic ellipsometry measurements of the terpolymer HGD-80/10/10; (b) Zeta potential of the spin-coated films of terpolymer HGD-80/10/10 and copolymer HD-90/10 compared to the respective homopolymers and a blank silicon wafer; (c) QCMD data for immobilisation of 0.025 mg mL⁻¹ antibody for aflatoxin M1 to a film of HGD-80/10/10 for two immersion/rinse cycles. A modeling of the frequency shifts Δf by a Sauerbrey model leads to a thickness increase of 7 nm after antibody immobilisation.

[1] Commission Regulation (EC) No 1881/2006, European Commission, 2006

[2] A. Karczmarczyk, M. Dubiak-Szepietowska, M. Vorobii, C. Rodriguez-Emmenegger, J. Dostalek, K.H. Feller: Biosens. Bioelectron. 81 (2016) 159–165

[3] N.W. Turner, H. Bramhmbhatt, M. Szabo-Vezse, A. Poma, R. Coker, S.A. Pilatsky: Anal. Chim. Acta 901 (2015) 12–33

[4] H. Lee, J. Rho, P.B. Messersmith: Adv. Mater. 21 (4) (2009) 431–434

[5] J. M. Millican, E. Bittrich, A. Caspari, K. Pöschel, A. Drechsler, U. Freudenberg, T. G. Ryan, R. L. Thompson, D. Pospiech, L. R. Hutchings: Europ. Polym. J. 153 (2021) 110503

Correlation of conformational dynamics with the degree of hybridization of exosomes

Upenyu L. Muza, Susanne Boye, Albena Lederer

In pursuit of developing “smart” biomedical technologies for application in clinical diagnostics and therapeutics, the engineering and hybridization of synthetic or biological vesicles has tremendous potential: (1) as biomarkers, and (2) in designing targeted-drug-delivery systems. However, these complex nanostructures have inherent heterogeneities regarding size, microstructure, stability

and composition. Accordingly, hollow fiber flow field-flow fractionation (HF5) with multiple detectors (multidetector HF5) is a robust, prerequisite state-of-the-art analytical technique for elucidating detailed and reliable microstructural information in order to understand the underlying property-application correlations and the molecular design protocols thereof.^[1]

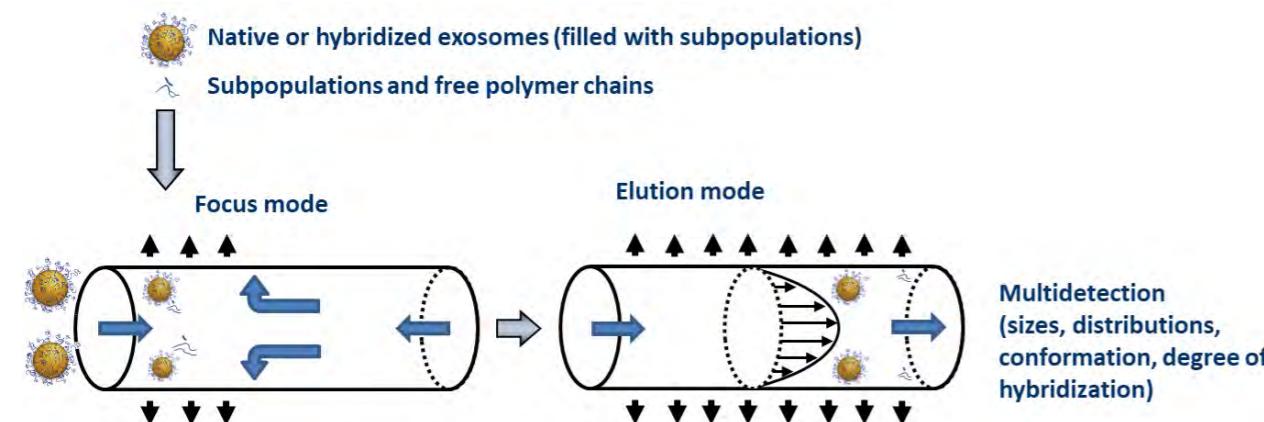


Fig. 1 An overview of the working principles of multidetector HF5 for advanced characterization of engineered exosome-polymer hybrids fabricated from photo-ATRP.

Exosomes are complex and heterogeneous biological vesicles produced by all leaving cells, and are loaded with miniaturized portions of genetic information, proteins and lipids from the parent cells. Furthermore, exosomes are responsible for specific intercellular communication, and thus viable as diagnostic and therapeutic probes. However, as with all biological molecules, there are strong factors hindering their clinical translation, such as poor stability outside their physiological niche, and rapid metabolic degradation.

In collaboration with Prof. K. Matyjaszewski (CMU, Pittsburgh, USA) we affirmed the practicality of grafting well-defined and non-cytotoxic polymer chains from the exosome surfaces.^[2] This modification is expected to enhance stability and blood-circulation time for effective drug loading and targeted-delivery to tumorous tissue. Using multidetection HF5 we can effectively separate these fragile structures, verify their modification, and analyze their complex composition to identify individual species.

The quantification of the optimum grafting densities was derived from HF5 data by normalizing UV-Vis absorbency frequencies of specific polymer and exosome moieties, respectively. Moreover, the consideration of conformational properties by light scattering data helps

to understand the higher heterogeneity with increasing hybridization. With increasing targeted polymer loading we verify the formation of long antennae-like polymer chains with very dense segments using conformational analysis.

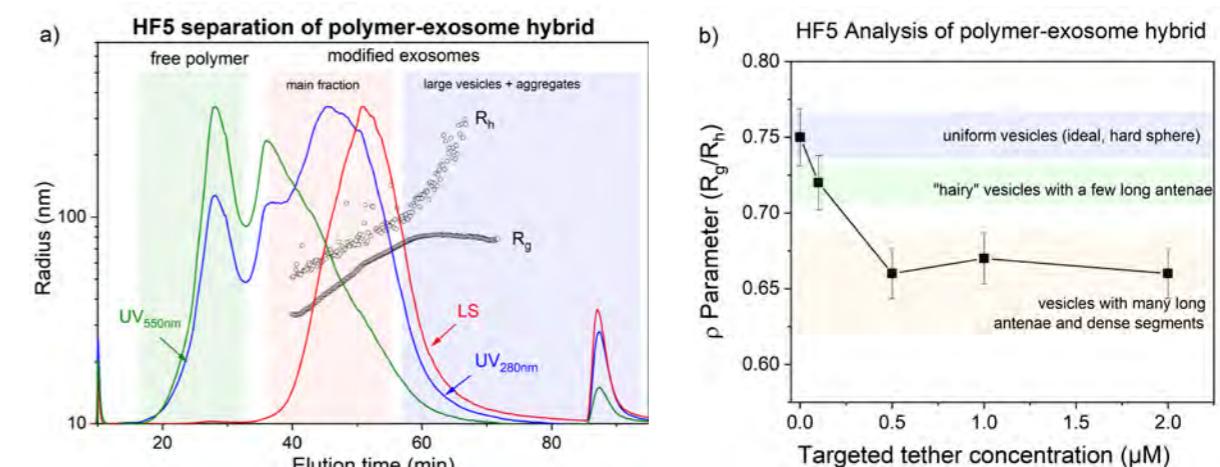


Fig. 2 Demonstration of the utility of HF5 with light scattering detection: a) separation and identification of different species in one exosome-hybrid sample and b) in correlating conformational dynamics with the degree of polymer hybridization of exosomes.^[2]

HF5 and light scattering were critical in establishing the correlations between the degree of hybridization and the evolutions in shape, size, and stability as a function of polymer-grafting density, for exosome-polymer hybrids relative to the pure exosomes. Complementary analysis with small angle neutron scattering (SANS) constitutes our future work in the frame of the recent USOME project (MSCA-IF action) for unravelling further intricate information on microstructure. ■

Sponsor

- Marie Skłodowska-Curie Actions, Horizon 2020, European Commission
- Institute Laue-Langevin, France

Cooperations

- Prof. K. Matyjaszewski, Carnegie Mellon University, USA
 - Dr. S. Lathwal, Massachusetts Institute of Technology, USA
- [1] U.L. Muza, S. Boye, A. Lederer: Analytical Science Advances 2 (2021) 95-108
[2] S. Lathwal, S.S. Yerneni, S. Boye, U.L. Muza, S. Takahashi, N. Sugimoto, A. Lederer, S.R. Das, P.G. Campbell, K. Matyjaszewski: Proceedings of the National Academy of Sciences 118 (2021) e2020241118

New surface-based sensors of liquid mixture compositions: Coupling polymer brush conformation to fluorescence colour

Quinn A. Besford, Huiasong Yong, Holger Merlitz, Andrew J. Christofferson, Jens-Uwe Sommer, Petra Uhlmann, Andreas Fery

Touch sensitive surfaces are omnipresent in today's world, where spatially localising touch has led to incredible advancements in the digital revolution. These concepts generally exploit capacitive sensing, which depends on the electrical properties of a user's fingertips to then localise the "electrical touch" into sections of a grid. This is a macroscopic sensing of a fingertip on a surface. In our work, we aimed to push towards new concepts in surface-based sensing, which can lead to nanoscopic- or molecular-based sensing of phenomena on a surface. Such surfaces have the potential to lead to new therapeutic sensing devices, as example.

Our work utilises the extraordinary sensitivity of polymer brushes towards various stimuli. Polymer brushes consist of densely end-tethered polymer chains to a surface, similar to that of bristles in a hairbrush. The high grafting density means that the conformation (i.e., stretched or collapsed) of a single polymer chain is strongly dependent on that of its neighbouring chains. This leads to rapid and communal switching of polymer conformation under stimuli that cause phase transitions in the individual polymer chains. These brushes offer a basis to readily sense surface pressures and stimuli, if a meaningful macroscopic signal can be transduced from changes in polymer conformation.

Towards this goal, we integrated Förster resonance energy transfer (FRET) chemistry into polymer brushes composed of poly(N-isopropylacrylamide) (PNIPAM) (Figure 1A). The basis of the FRET chemistry is that when the chains are extended, the FRET fluorophores are separated by a distance that is greater than that needed for fluorescence energy transfer to occur. Conversely, when the chains are collapsed, the fluorophores then become coupled for energy transfer. This means that when the fluorophores are excited with blue light (~450 nm), the polymer brush surfaces then emit either green (~520 nm) or red light (~580 nm), for extended or collapsed polymer chains, respectively.

We used these surfaces to sense liquid mixture compositions in bulk solvation situations (i.e., a surface immersed in a single aqueous liquid mixture) (Figure 1B and C), and across complex liquid-liquid interfaces (i.e., oil and water interface) (Figure 1D). The sensing capabilities resulted from the stimuli-induced phase transitions of PNIPAM in aqueous mixtures, and from the solubility of PNIPAM in water compared to oil. Importantly, our methods revealed new details on the wetting of polymer brush layers at complex interfaces, where water was able to solvate the surface across a region spanning ~50 µm underneath the oil phase. In summary, the use of FRET allowed us to extrapolate sensing information from the conformational

transitions of the PNIPAM polymer brushes, which has a strong dependency on the nature of the liquid mixture, thereby providing optical sensing of the solvating liquid compositions. Our FRET-integrated surfaces have the capacity to allow for greater in-liquid

surface-based sensing capabilities to be realised, especially around complex interfaces. ■

Sponsor

Alexander von Humboldt foundation (Q.A.B.)

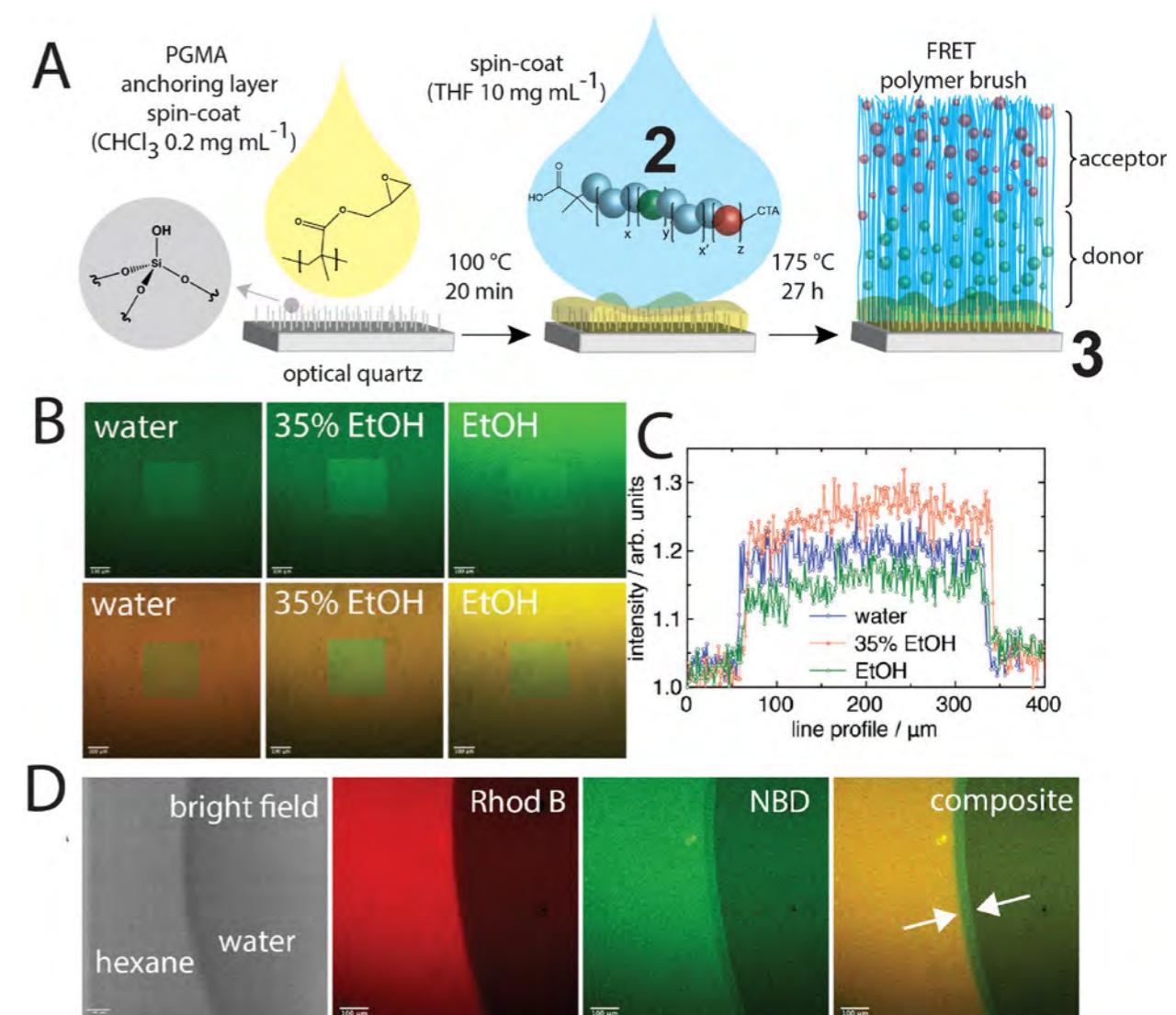


Fig. 1 A) Schematic describing the assembly of FRET-integrated polymer brushes, B) confocal images of the changes in the fluorescence colour depending on solvent composition along with C) line profile analysis, and confocal images across the hexane-water interface.

[1] Q. A. Besford, H. Yong, H. Merlitz, A. J. Christofferson, J.-U. Sommer, P. Uhlmann, A. Fery: Angewandte Chemie International Edition 60 (2021) 16600-16606

Microscopic surface/interface properties determine macroscopic wetting behavior

Binyu Zhao, Günter K. Auernhammer

Solid surfaces with excellent nonwetting ability (i.e., superhydrophobicity) have drawn significant interest from interfacial scientists and engineers. They found practical applications in self-cleaning textiles, anti-icing or anti-fogging coatings, drag reduction, and heat-transfer enhancement. The superhydrophobicity of a solid surface is attributed to its hydrophobic

micro-, nano- or hierarchical structures. A liquid droplet sitting on a superhydrophobic surface is supported by solid tips with air in between, called the plastron. This plastron reduces the actual contact area between the liquid and the solid, leading to large apparent contact angles. Obviously, liquid-air interfaces (i.e., menisci) are formed in the surface cavities under the droplet, **Fig. 1**.

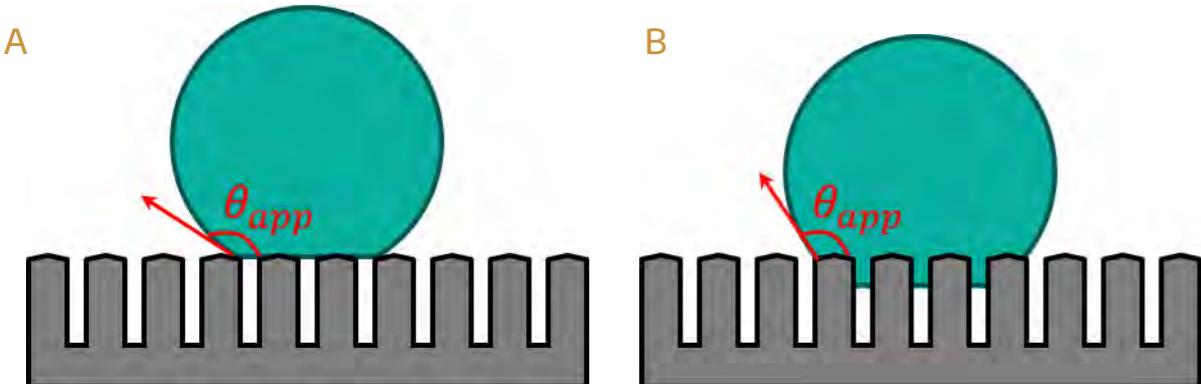


Fig. 1 Sketch showing a water droplet sitting on a superhydrophobic surface is partially supported by air without (A) and with (B) liquid penetration into the surface cavities, forming menisci.

The properties of the menisci are crucial for the stability of the plastron and superhydrophobic state. For example, if the menisci are no longer pinned to the tips of the surface structure, liquid penetrates into the surface cavities. Such liquid penetration increases the actual contact area between the liquid and the solid, thus alters the wetting state. In the past, attention was paid only to the surface structure instead of directly to the menisci.

Recently, using atomic force microscopy, we have directly characterized not only the microscopic morphology but

also the mechanical properties of the menisci on diverse nonwetting nanoporous surfaces. Detailed three-dimensional imaging of the droplet-surface contact region reveals that water only slightly penetrates into the nanopores (**Fig. 2A, B**). The apparent penetration depth of the liquid into the nanopores depends on the applied force. Apparently reversible and irreversible displacement of the menisci in nanopores were observed at small and large forces, respectively. The menisci show apparent elastic deformation and size-dependent effective stiffness at small forces (**Fig. 2C**).

On the macroscopic scale, the stability of the menisci can be examined by performing droplet impact tests at different impact velocities. Below a threshold velocity, the droplet bounces off the nanoporous surface, **Fig. 2D**. Faster droplets impacting the surface only rebound partially, leaving a daughter droplet on the surface, **Fig. 2E**. The partial rebound means that the menisci were forced to penetrate into the nanopores during the impact, and were pinned deeper in the nanopores.

From the diameter and effective stiffness of the menisci in the nanopores, we determine a characteristic velocity, which is required for the liquid hammer pressure to induce a deformation of the meniscus equal to its diameter. The transition from complete to partial rebound of impinging droplets correlates to this characteristic velocity but diverges on nanoporous surfaces with small pores because of their large contact angle hysteresis, **Fig. 2F**.

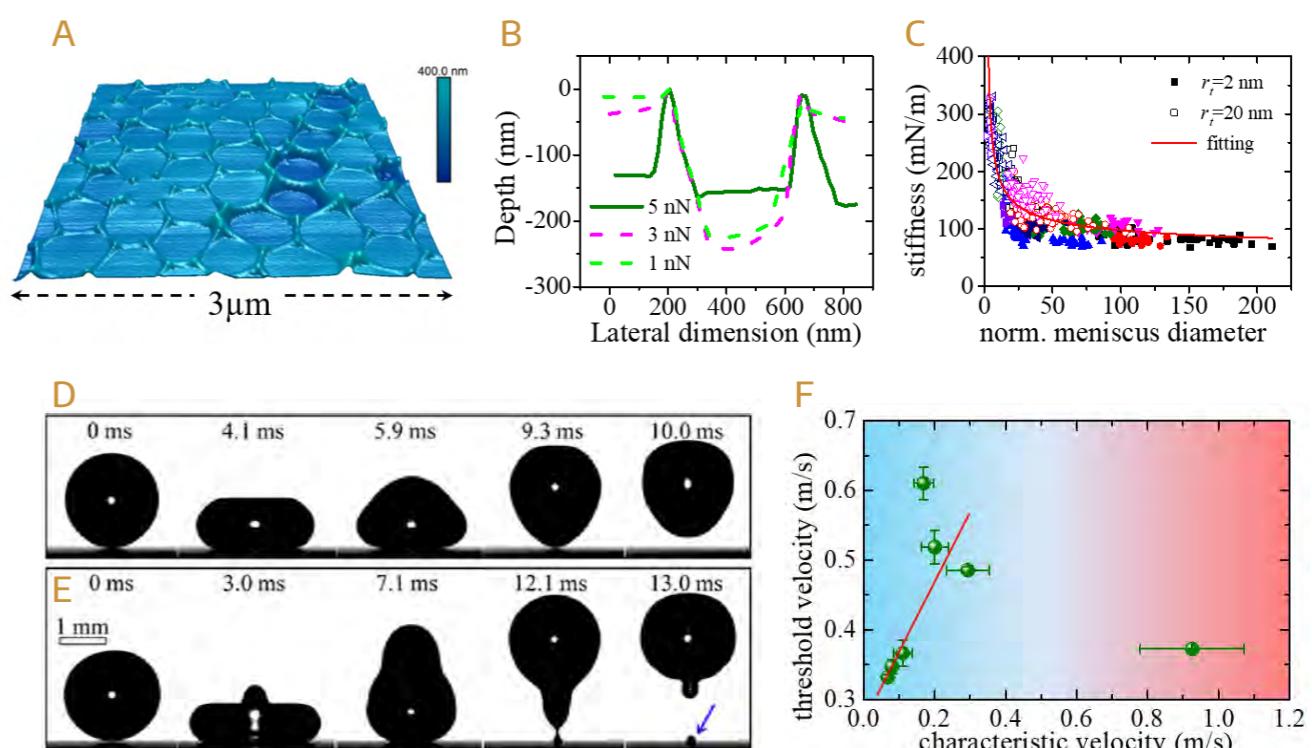


Fig. 2 (A) Microscopic morphology of a nonwetting nanoporous surface under a water droplet. (B) Cross-sectional profiles obtained at different forces show irreversible displacement of the menisci in a nanopore. (C) Size dependence of the effective stiffness of the menisci versus their normalized diameter. (D,E) Snapshots of complete (D) and partial (E) rebound of impinging water droplets on a nonwetting nanoporous surface at different impact velocities. (F) The threshold velocity for transition from complete to partial rebound versus the characteristic velocity. (Images adapted with permission from ACS Applied Materials & Interfaces 2021, 13, 6897-6905. Copyright 2021 American Chemical Society.)

In conclusion, water only slightly penetrates into the nanopores on nonwetting nanoporous surfaces. The properties of the menisci are crucial for the stability of

the superhydrophobic state, i.e., the plastron, and thus determine the macroscopic wetting behavior. ■

[1] B. Zhao, Y. Jia, Y. Xu, E. Bonacurso, X. Deng, G.K. Auernhammer, L. Chen: ACS Applied Materials & Interfaces, 13 (2021) 6897-6905

Swelling of tendomer networks

Toni Müller, Jens-Uwe Sommer, Michael Lang

Interlocked molecules (IM) have gained increasing attention in recent years culminating in the 2016 Nobel Prize of chemistry for molecular machines made of IM. IM are also interesting for designing polymer networks and gels with novel properties, since the entropy of the system is not only defined by the elasticity of individual strands and entanglements as IM carry additional degrees of freedom. One particularly interesting example are slide ring gels [1]. Here, a large number of poly-rotaxane molecules is linked to a gel.

These molecules have a long polymer chain as backbone on which many small ring shaped molecules are threaded. Diffusion of these rings occurs only along the chain contour as stopper molecules at the chain ends prevent a detachment of the rings. For harvesting the entropy of the slide rings, networks are prepared by linking pairs of rings together. These slide ring gels show remarkable volume swelling ratios of up to 24000 times and deformation ratios at break of up to 24 [2].

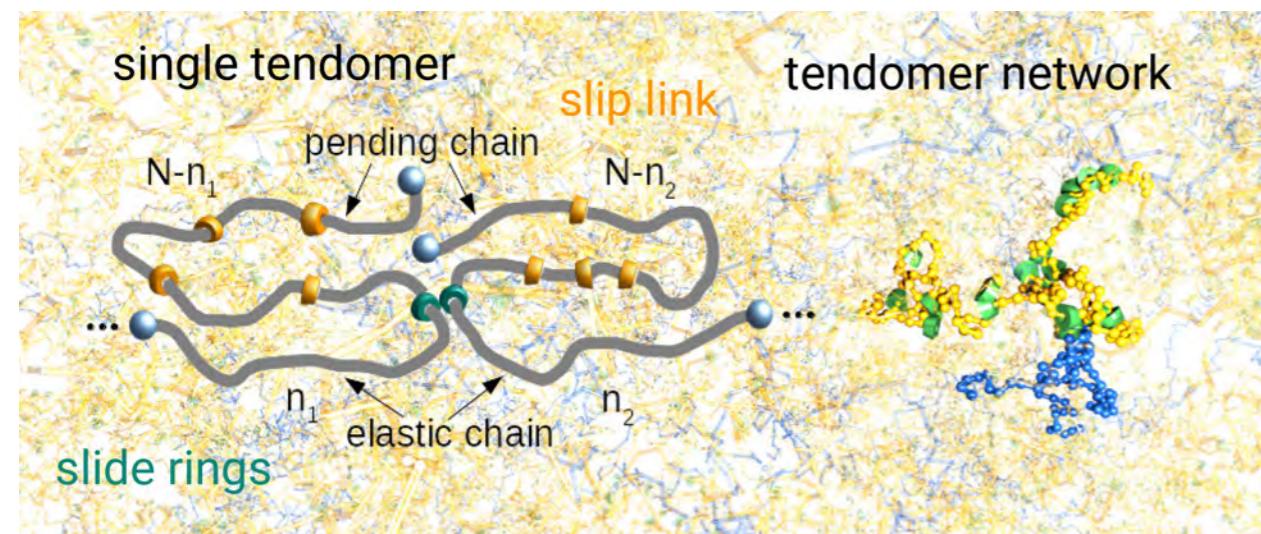


Fig. 1 Left: Sketch of a single tendomer (TM) consisting of two polymer strands connected through a slip link (green). Additional slide rings are on the pending chains where a stopper (blue bulb) prevents detachment. The elastic chains are connected to a network by cross-linker molecules. Background: snapshot of a TM network in the simulations. Highlighted on the right is a single TM of the snapshot showing pending chains (yellow), elastic chains (blue) and slide rings (green).

Recently, we have considered „tendomers“ (TMs) as a model for a slide ring gel that maximizes the impact of the free slide rings on the deformation behavior of the gel [3,4]. TMs are pairs of rotaxanes linked through the first slide ring respectively, which forms then a “slip-link”.

These TMs are linked to networks by cross-linking the stopper molecules next to the slip-links. The slip-links divide the backbone chains into a pending and an elastic part, see Figure 1. The pending part acts as a reservoir of chain segments that are released once a force pulling

on the chain is large enough to squeeze the one-dimensional slide ring gas on the pending chains. This competition leads to a molecular switch: the stiff and short elastic strands at low applied force turn into long and soft strands at a threshold force, which is very appealing for constructing novel responsive gels.

In a recent work [4], we have analyzed swelling properties of TM gels with computer simulations. Key for understanding is the force-extension relation of a single TM

that is converted into a force-swelling curve in Figure 2. The universal scaling of the x-axis in Figure 2 shows that swelling is highly sensitive for small changes in the solvent-slide ring interactions. This provides a perfect trigger to drive huge volume changes of the gels. We have developed an optimum design of TM gels [4] that could be used in future experimental studies, see Figure 3. This design may provide a new class of gels that materialized from theory guided by computer simulations. ■

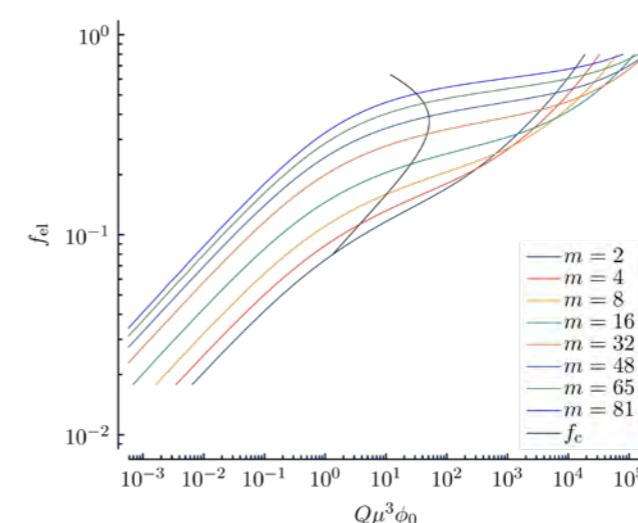


Fig. 2 Average elastic force, f_{el} , per TM as a function of the swelling ratio, Q , a prestrain factor, μ , that accounts for changes in the slide ring solvent quality during swelling, and the polymer volume fraction at preparation conditions, ϕ_0 , for tendomers with a varying number of slide rings, $m = 2, \dots, 81$. The intersecting line marks the threshold force, f_c , between the linear (at low forces) and non-linear deformation regime of a single TM. The upturn of the curves on the very right shows the finite extensibility of the polymer backbone.

- [1] Y. Okumura, K. Ito: Advanced Materials 13 (2001) 485-487
- [2] K. Ito: Polymer Journal 39 (2007) 489-499

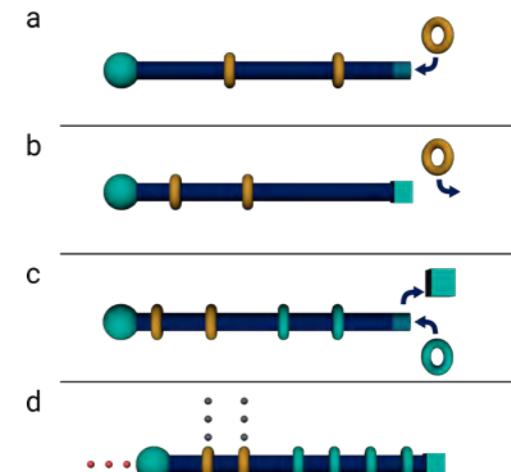


Fig. 3 a) The functionalized ring compound (yellow rings) thread on the backbone with a stopper (green sphere) on only one end. b) A cleavable group (green square) prevents the detachment of the functionalized rings when removing the non-threaded rings. c) After cleaving this group, a high concentration of inert rings (green rings) thread on the backbone. d) a second stopper ends the threading process. TM networks are constructed by linking the functionalized slide rings with slide rings (gray dots) and the first stoppers through g-functional cross-linkers (red dots).

- [3] T. Müller, J.-U. Sommer, M. Lang: Soft Matter 15 (2019) 3671-3679
- [4] T. Müller, J.-U. Sommer, M. Lang: Macromolecules 54 (2021) 4601-4614

Chemotaxis of cargo carrying active particles and active chains

Abhinav Sharma, Hidde Vuijk, Michael Lang,
Holger Merlitz, Jens-Uwe Sommer

Escherichia coli is able to steer toward sources of nutrients by altering its tumble rate. While searching, it performs temporal comparisons of nutrient concentrations along its trajectory, and as the concentration increases, the swimmer lowers its tumble rate to move

up the concentration gradient of nutrients, phenomenon known as chemotaxis. It requires a delicate apparatus for chemical sensing, information processing and a corresponding motoric response, available only to advanced organisms.

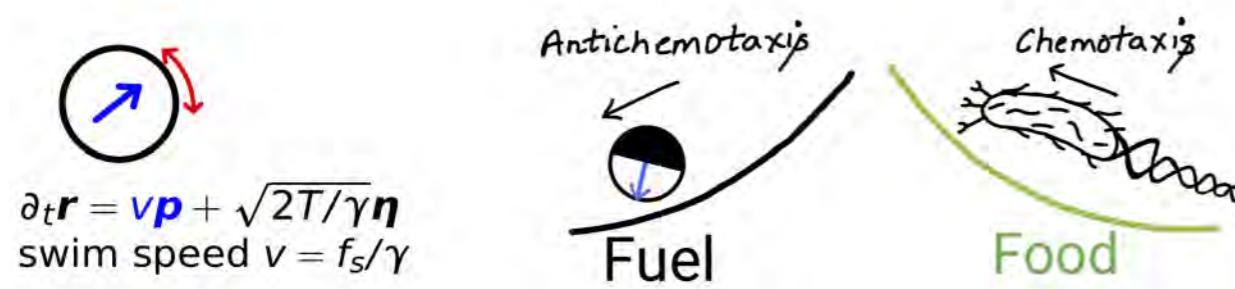


Fig. 1 Active particle propels itself in the direction of the orientation vector p that performs rotational diffusion. The speed of propulsion along the orientation is proportional to the local fuel concentration. In a fuel gradient, active particles accumulate in regions where the fuel concentration is low (antichemotaxis). In contrast, E. Coli swims up the food gradient and accumulates in the regions where the concentration is high (chemotaxis).

Much simpler are self-propelled particles, which merely adjust their speed in response to the local fuel concentration. Synthetic Janus particles, an example for this class of swimmers, are driven by catalytic reactions in the presence of e.g. hydrogen peroxide or hydrazine. Instead of intentional tumble movements, these particles change direction randomly through rotational Brownian motion. With swim speed positively correlated with the concentration of fuel, one can show that in presence of a fuel gradient such active Brownian particles (ABPs) accumulate in regions where the fuel concentration is low, known as anti-chemotactic behaviour. This corresponds virtually to all everyday

experience that physical bodies accumulate in regions where they are less agitated or moved. Although ABPs can display interesting transient behaviour in fuel gradients, called pseudo-chemotaxis, activity does not lead to an advantage in the search for fuel sources as compared to passive diffusion on long time scales. These observations have led to the general belief that chemotaxis, a prominent feature of living systems, cannot be reflected by uninformed moving objects, in particular not by ABPs. We recently demonstrated that, on the contrary, ABPs can indeed show chemotactic behaviour in activity gradients when they are bound to a passive cargo particle [1]. Our model

system consists of an ABP permanently attached to a passive cargo by a stiff bond, thus forming a dimer. The friction coefficient of the ABP is γ and that of the cargo is γ_q . When cargo is small, the dimer is equivalent to an ABP with slightly increased friction and thus

accumulates in low activity regions. However, when the cargo is large, it remains almost static as the ABP probes its neighbourhood, sensing the activity gradient which results in an effective force on the cargo towards higher activity resulting in chemotaxis.

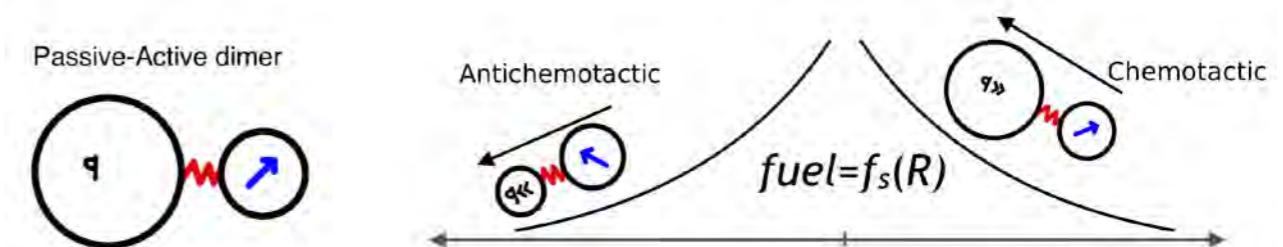


Fig. 2 Active particle bound to a passive cargo particle. There is a load governed crossover from anti-chemotactic to chemotactic behaviour of dimers. The threshold value of q at which the crossover occurs depends on the spatial dimensionality and is independent of the activity profile.

We also showed that an explicit distinction between cargo and active particles is not fundamental to our proposed mechanism and can self-emerge in an active

system. We demonstrated this in a system of ABPs connected in a chain: with increasing chain length there is a crossover from anti-chemotaxis to chemotaxis.

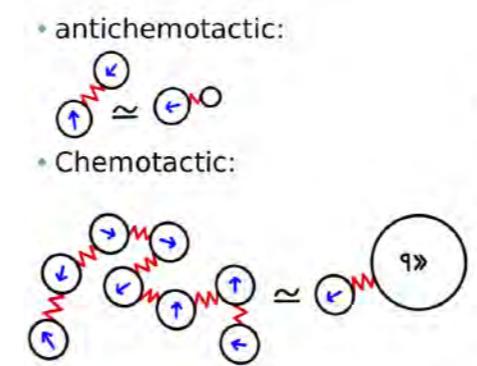


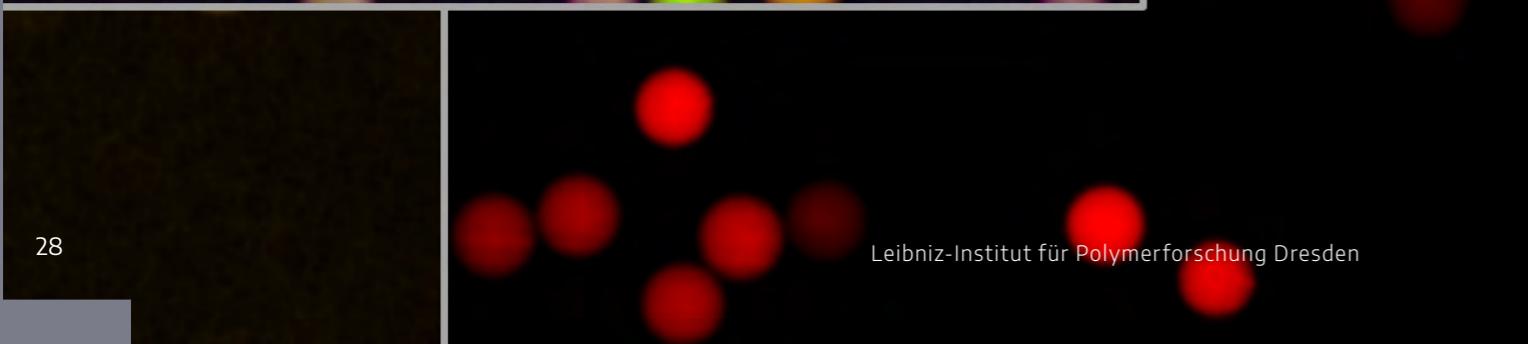
Fig. 3 The mono and dimers are anti-chemotactic and are driven out of the region of high activity. The quadromer is distributed uniformly. Longer polymers ($N > 4$) are chemotactic and accumulate in the region of high fuel concentration.

An interesting outlook is the development of artificial nanomachines that can locate origins of fuel gradients based on the design principle of coupling ABPs to passive cargo without a complex sensing and steering system. ■

[1] H. D. Vuijk, H. Merlitz, M. Lang, A. Sharma, J. U. Sommer: Physical Review Letters 126 (2021) 208102



2 BIOINSPIRIERTE MATERIALIEN



Prof. Dr. Carsten Werner

Prof. Dr. Brigitte Voit

Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel

Prof. Dr. Andreas Fery

Die Biomaterialforschung des IPF umfasste 2021 ein breites Spektrum an Aktivitäten, an denen nahezu alle wissenschaftlichen Organisationseinheiten des Instituts beteiligt waren. Übergreifendes Ziel ist es, neue bioinspirierte Materialien und Systeme zu entwickeln, die innovative Therapien ermöglichen, Medizinprodukte effektiver und sicherer machen sowie bessere diagnostische Möglichkeiten schaffen. Dabei werden der Erkenntnisfortschritt der Lebenswissenschaften sowie Anknüpfungspunkte zu anderen strategischen Themen des IPF genutzt. Gleichzeitig werden Beiträge zur Erkundung mechanistischer Zusammenhänge zwischen Struktur und Funktionalität lebender Materie geleistet und die Translation von innovativen Biomaterial-Technologien in Anwendungen und Produkte verfolgt.

Nachwuchsgruppenleiter *Lars Renner* konnte mit Partnern am MIT eine innovative Methodik entwickeln, die es erlaubt, durch Antibiotika verursachte physikalische Prozesse der Zellwand-Lyse von Bakterien zu untersuchen (*Nat. Comm.* 2021, 12, 2321). Mit mathematischen Transportmodellen und experimentellen Analysen wurde die Freisetzung von Signalproteinen aus makroporösen Kryogelen aufgeklärt, und die Ergebnisse wurden zur Steuerung der neuronalen Differenzierung von Zellen angewandt (*Biomaterials* 2021, 278, 5121170).

Eine Plattformtechnologie zur adsorptiven Biofunktionalisierung von Materialoberflächen durch amphiphile Polymerkonjugate wurde etabliert und gemeinsam mit der BASF-Ausgründung faCellitate für die Kultur von induziert pluripotenten Stammzellen herangezogen. Das Konzept ermöglicht die kombinatorische Hochdurchsatz-Funktionalisierung von Zellkulturträgern in bisher nicht erreichter Komplexität (*Adv. Mater.* 2021, 33, 2102489). Durch Synthese von Poly(2-alkyl-2-oxazolin)-Glykosaminoglykan-Hydrogelen konnte der physikalisch-

chemische Parameterraum von zellinstruktiven Biohybridmaterialien um Systeme mit stimuli-responsive Komponenten erweitert werden, was wertvolle Vorteile für die Anwendung der Materialien bietet (*Adv. Healthc. Mater.* 2021, 10, 2101327).

Bei der Entwicklung künstlicher Organellen konnten die oszillierende pH-Regulierung eines binären Enzym-Polymersomen-Systems realisiert (*Chem. Mater.* 2021, 33, 6692) und Diffusions- und Dockingprozesse erfasst werden (*Adv. Sci.* 2021, 8, 2004263).

In einer tierexperimentellen Studie mit der Universität Heidelberg wurde gezeigt, dass glykosaminoglykan-basierte Hydrogele Stammzellen *in vivo* zur Bildung von stabilem Knorpelgewebe stimulieren können, was neue Optionen für regenerative Therapien eröffnet (*Adv. Funct. Mater.* 2021, 2109176).

Zwei neue Gruppenleiter verstärken mit ihren Teams seit 2021 die Arbeiten zu ST2: *Daniela Lössner*, die auf Basis ihres ERC Consolidator Grants am IPF neue *in vitro* Modelle für Pankreas-Tumore entwickelt und gleichzeitig eine Professur an der Monash University, Melbourne, hält und *Christoph Tondra*, der in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Physik und Photonische Materialien der TU Dresden eine Nachwuchsgruppe *Bioelektronische Materialien und Systeme* etabliert, die im SMWK-Programm *Spitzenforschung* gefördert wird.

Die Ausgründung eines weiteren biomedizinischen Technologieunternehmens aus dem IPF wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit einem EXIST-Forschungstransferprojekt gefördert. Im Fokus stehen dabei innovative therapeutische Technologien zur Eindämmung chronischer Entzündungen (ResCure). Das Vorhaben umfasst eine klinische *first-in-human* Pilotstudie zur Anwendung von neuartigen Wundaflagen. ■

Protocells for the detection of subtle extracellular glucose changes

Dishi Wang, Silvia Moreno, Susanne Boye, Dietmar Appelhans

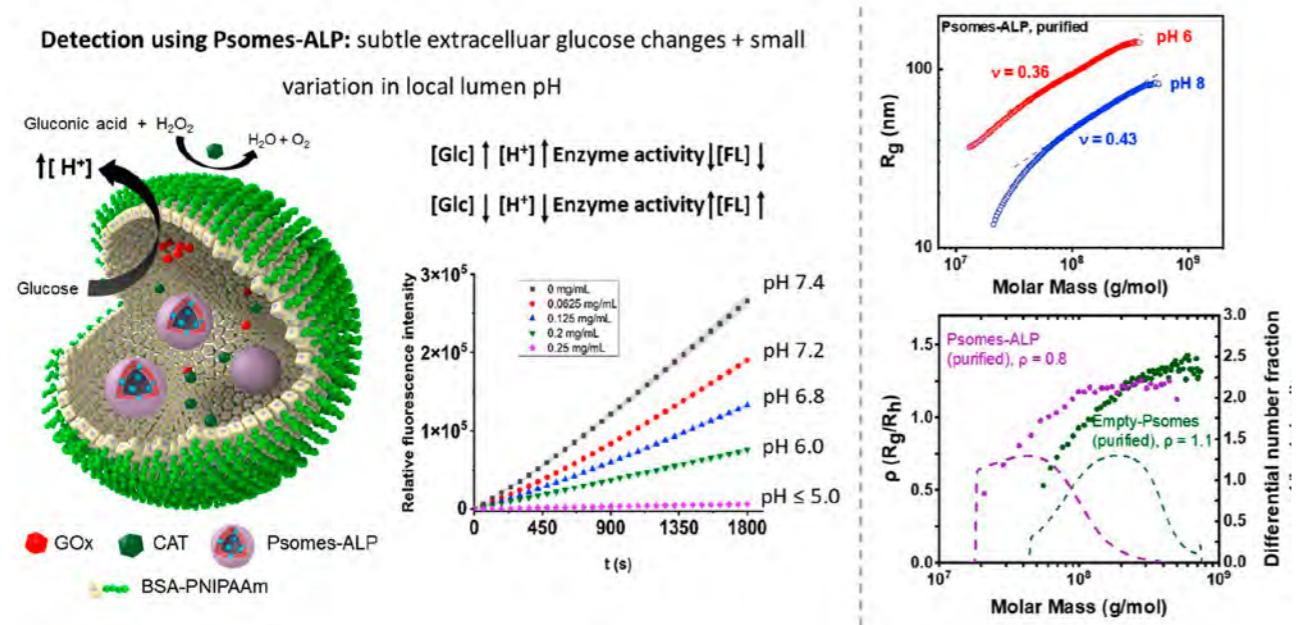


Fig. 1 (Left) 3D representation of BEC based on PsomesP. Detecting subtle extracellular glucose concentration changes ($\leq 0.5 \text{ mg/mL}$), by an enzymatic cascade reaction associated with GOx and Psomes-ALP, through final detection of pH by fluorescence intensity. (Right) Dependences of R_g and $p(R_g/R_h)$ parameter on the molar mass of Psomes-ALP, compared with Empty-Psomes, evaluated by AF4-LS at pH 8 and pH 6.

The artificial replication of cellular biochemical processes in artificial protocells has been explored in the recent years due to its great potential in synthetic biology and bioengineering. For instance, to mimic in protocells a controlled detection of subtle changes in extracellular biomolecules is needed.

The goal of this study was to detect small alterations in extracellular glucose mimicking subtle changes in the extracellular environment of biomimetic eukaryotic

cells (BEC). BEC with polymersomes-in-proteinosome structures (PsomesP) with semipermeable and robust outer proteinaceous membrane were established. Alkaline phosphatase-loaded polymersomes (Psomes-ALP) together with free enzymes glucose oxidase (GOx) and catalase (CAT) were encapsulated into proteinosomes. Each biological component has a specific function: GOx, responsible for the conversion of glucose into gluconic acid, which induces a pH drop in the lumen of BEC; Psomes-ALP are pH-dependently active that ALP

hydrolyses the fluorescein diphosphate (FDP, non-fluorescent) into fluorescein (F, fluorescent); CAT minimizes adverse effects of H_2O_2 retaining the enzyme activity (Fig. 1, left). Moreover, the proteinosomes were constructed by the assembly of BSA-PNIPAAm bio-conjugates via the Pickering emulsion method.^[1]

Our well-known pH-responsive and crosslinked polymersomes were chosen for the establishment of Psomes-ALP by *in situ* loading. The vesicular structure, high loading efficiency and insertion of ALP in Psomes-ALP were deeply studied by cryo-TEM and fluorescence spectroscopy. Asymmetrical flow field flow fractionation in combination with light scattering detection (AF4-LS) was also performed at pH 8 and 6, the scaling parameters confirm a conformation close to a spherical shape at both pH ($v_{\text{theor.}} = 0.33$ for hard sphere) and bigger radius of gyration (R_g) at pH 6 proving the swollen state due to pH responsiveness. Secondly, $p(R_g/R_h) = 0.8$ (Psomes-ALP) describes a filled sphere conformation ($p = 0.79$) while 1.1 (Empty-Psomes in Fig. 1) is close to a hollow sphere conformation ($p = 1.0$). Therefore, a compact confirmation and well-ordered polymeric vesicles were confirmed for Psomes-ALP (Fig. 1).

The structural characterization and the presence of each component in PsomesP were carried out by confocal laser scanning microscopy and transmission electronic microscopy. Next, the acidification of BEC lumen as response to GOx-converted glucose using different glucose concentration was validated. Due to the pH responsiveness of ALP in FDP assay, different levels of the ALP activity result in a time-dependent change

in fluorescence. By changing the stepwise glucose concentration from 0.25 mg/mL to 0.0 mg/mL (lower limit of detection = 0.0625 mg/mL , pH 7.2), the rate of pH drops decreases in a gradual manner and ends at higher pH points. Thus, it smoothly reflects the correlation of very low glucose concentration with high ALP activity. Thus, Psomes-ALP as artificial organelles are suited to differentiate very reproducibly subtle changes in amounts of invading glucose.

In conclusion, a versatile method for the construction of BEC was validated, the hierarchically organized compartments provide a strategy for the spatial organization of sequential and parallel enzymatic reactions, whereby functional biomacromolecules can be separated into different discrete regions without interference. Psomes-ALP can retain their structural and functional integrity in BEC, providing a protective and gating environment for ALP, and it can be used as multifunctional biological unit for the detection of changes in pH in BEC. ■

Cooperations

- Dr D. Tang, Max-Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics
- Prof. A. Lederer, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.
- Dr. P. Formanek, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.

[1] D. Wang, S. Moreno, S. Boye, B. Voit, D. Appelhans: Chemical Communications 57 (2021) 8019-8022

Wundermaterial Spinnenseide: Sekundärstruktur und Orientierung von dünnen Filmen aus rekombinant hergestellten Spinnenseidenproteinen

Mirjam Hofmaier, Birgit Urban, Andreas Fery, Martin Müller

Spinnenseide ist eines der faszinierendsten, natürlich vorkommenden Materialien. Eine hohe Biokompatibilität, Bioabbaubarkeit und geringe Immunoreaktivität prädestinieren Spinnenseide für Anwendungen im medizinischen Bereich.^[1] Daneben besitzt Spinnenseide eine hohe Zug- und Reißfestigkeit kombiniert mit hoher Elastizität. Dieses Eigenschaftsprofil macht Spinnenseide einzigartig und verspricht eine Vielzahl möglicher Anwendungen sowohl im medizinischen Bereich, als auch in der Lebensmittel-, Textil- oder Baustoffindustrie.^[2] Die außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften sind hauptsächlich auf die in Spinnenseide enthaltenen Spinnenseidenproteine, die sogenannten Spinnen-Fibroine, zurückzuführen.

Biotechnologische Verfahren ermöglichen die selektive, rekombinante Herstellung definierter Proteine.^[3] So konnte von unserem Kooperationspartner (AK Prof.

Scheibel, Universität Bayreuth, Fiber Lab) auch das Fibroin 4 (F4) der europäischen Gartenkreuzspinne *Araneus Diadematus* (AD) und rekombinant hergestellt werden.^[3] Das erzeugte Protein eADF4(C16) besteht aus 16 sogenannten C-Modulen, die eine definierte Aminosäuresequenz besitzen. Diese teilt sich in einen kristallinen, hydrophoben Teil auf, der geordnete Sekundärstrukturen, wie β -Faltblätter bilden kann, und einen hydrophilen, amorphen Teil, der ungeordnete und α -helikale Strukturen ausbilden kann. Diese Primär- und Sekundärstruktur machen das Spinnenseidenprotein eADF4(C16) vergleichbar mit Block-Copolymeren, die, je nach Zusammensetzung, verschiedene phasenseparierte Strukturen ausbilden können.^[4, 5, 6, 7]

Trotz grundlegender Forschung hinsichtlich Sekundärstruktur und resultierender Oberflächen- und Volumeneigenschaften von Spinnenseiden und -proteinen, gibt

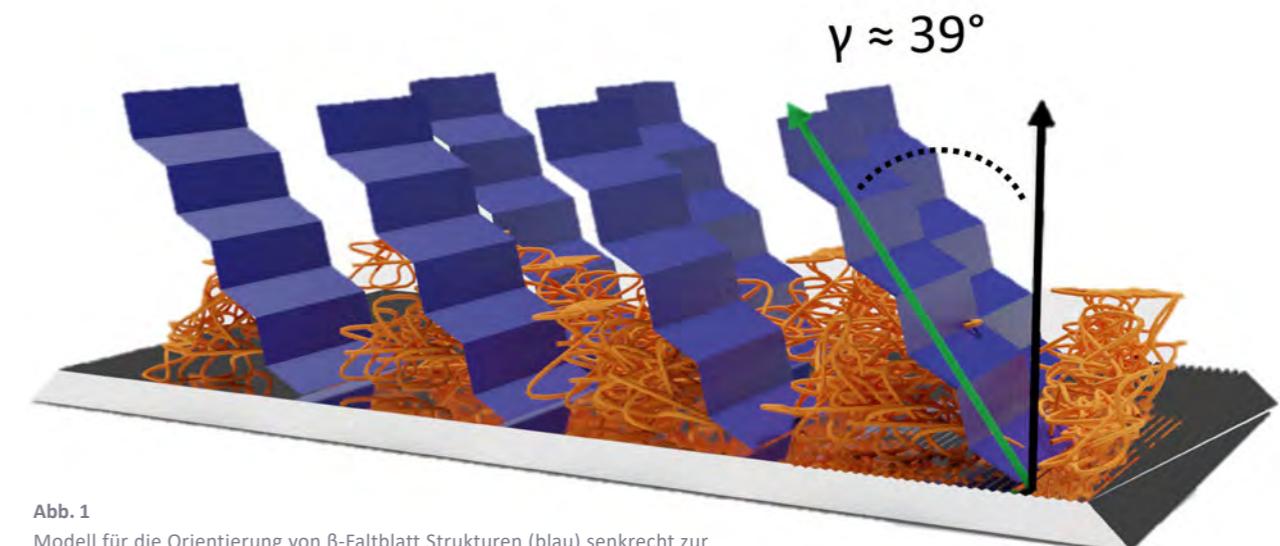


Abb. 1

Modell für die Orientierung von β -Faltblatt Strukturen (blau) senkrecht zur Oberfläche, eingebettet in einer amorphen Matrix (orange) nach der Behandlung mit MeOH Dampf.

es noch offene Fragen, vor allem zur Bedeutung der Orientierung der identifizierten Sekundärstrukturen. Für die Analyse des Orientierungs- und Faltungsverhalten von Spinnenseidenproteinen, wurden dünne Filme des Proteins eADF4(C16) hergestellt und mittels dichroitischer FTIR-Spektroskopie untersucht. Nachweislich zeigen frisch aufgetragene eADF4(C16) Filme nur einen geringen β -Faltblatt-Anteil, der erhöht werden kann, indem man die Filme mit MeOH dampft behandelt. Dabei faltet sich der kristalline Teil des Proteins zu β -Faltblättern, die sich senkrecht zur Substrat-Oberfläche anordnen (Abbildung).^[8] Weitere Untersuchungen von verschiedenen Spinnenseidenprotein-Filmen auf chemisch und

topografisch unterschiedlichen Oberflächen sollen weitere Erkenntnisse über das Faltungs- und Orientierungsverhalten und dessen Einfluss auf die Oberflächen- und mechanischen Eigenschaften erbringen. ■

Kooperationspartner

- M. Sc. S. Lentz, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Biomaterialien
- C. B. Borkner, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Biomaterialien
- Prof. Dr. T. Scheibel, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Biomaterialien

[1] K. Spiess, A. Lammel, T. Scheibel: Macromolecular Bioscience 10 (2010) 998-1007

[2] J. M. Gosline et al.: J. Exp. Biol. 202 (1999) 3295

[3] D. Huemmerich et al.: Biochemistry 43 (2004) 13604-13612

[4] C.B. Borkner, S. Lentz, M. Müller, A. Fery, T. Scheibel: ACS Appl. Polym. Mater 1 (2019) 3366-3374

[5] O. S. Rabotyagova, P. Cebe, D. L. Kaplan: Macromolecular Bioscience 10 (2010) 49-59

[6] A. Heidebrecht, T. Scheibel: Adv. Appl. Microbiol 82 (2013) 115-153

[7] F. Vollrath, D. Porter: Appl. Phys. A: Solid Surf. 82 (2006) 205-212

[8] M. Hofmaier et al.: Journal of Physical Chemistry B 125 (2021) 1061-1071

Bioinspired layered interphase structures for reinforcing fibers in concrete composites

Toni Utech, Christina Scheffler

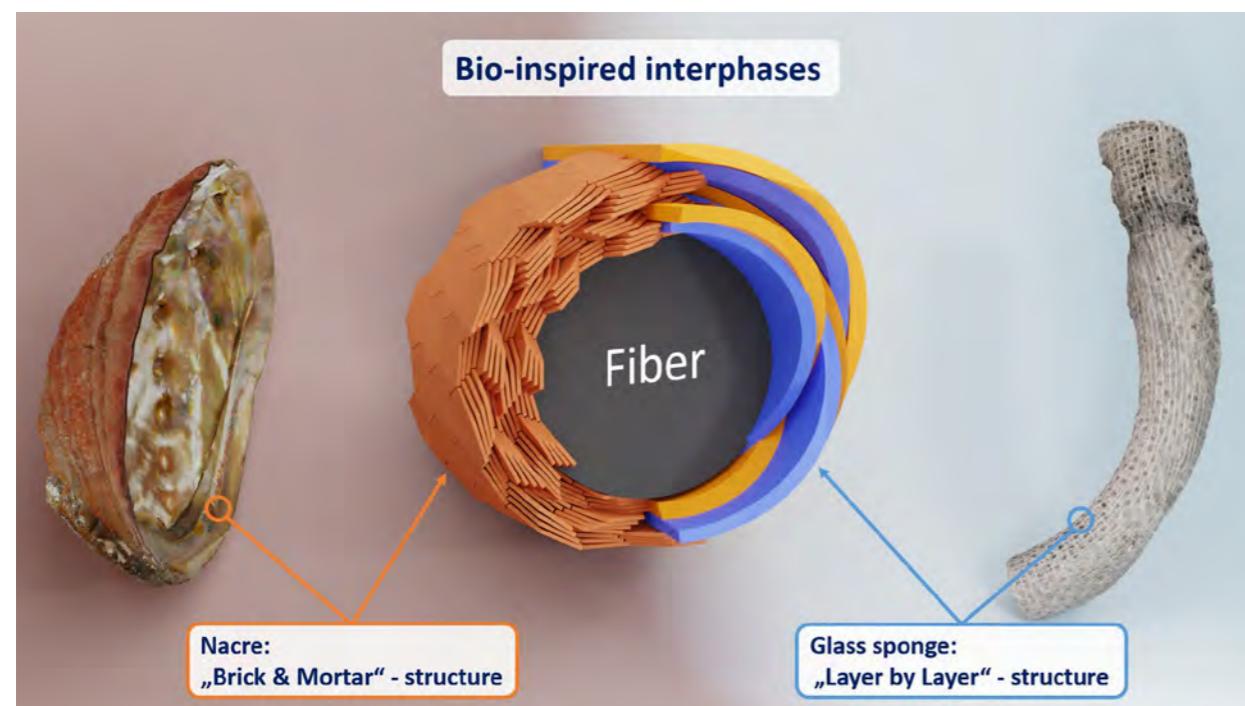


Fig. 1 Schematic drawing of bio-inspired interphase structures based on organic/inorganic multilayers.

Nature offers excellent concepts to combine inorganic and organic materials to design high-performance composites with efficient use of materials. Examples are the structures of nacre or those of the glass sponge (Fig. 1). Nacre is composed of inorganic aragonite platelets that are held together by thin organic layers of proteins and polysaccharides. The 3D skeletal structure of glass sponges is the result of a circularly arranged and highly complex interplay of different, mainly brittle filamentary components, which are interconnected by thin organic components.

The particular strength of both bio-inspired models described is their response to mechanical loads. If a crack develops due to load transfer, it is specifically directed through the organic phase and reflects off the inorganic phase. Consequently, the crack is directed in a targeted manner, its path is extended and as a result, the crack energy is used up. This effect is intended to be used specifically in the interphase of fiber-matrix bond zone of brittle carbon fiber reinforced concrete composites, which will result in an increased fracture toughness by controlled stress-slip-behavior.

Two approaches are followed to transfer this fundamental knowledge to applied research: (i) polymer coatings containing nanoclay particles are developed to form brick-and-mortar structures; (ii) also, alternating layers of silicate (water glass) solutions and polymers are applied on carbon fibers to mimic the layered structures found in the glass sponge (Fig. 1).

Plate-like montmorillonite is the most common nanoclay used in different materials applications. Montmorillonite consists of ~ 1 nm thick aluminosilicate layers that are stacked in ~ 10 μm -sized multilayers, where the challenge lies in their dispersion. The first results show the successful introduction of high amounts of nanoclay particles (montmorillonite MMT) in different types of waterbased polymer dispersions that are self-assembling during drying to the aimed brick-and-mortar structure in polymer coatings (Fig. 2). As a next step, these coatings are applied to carbon fiber surfaces and interphases in concrete composites in order to increase the fiber-matrix interaction and failure toughness. ■

Sponsors

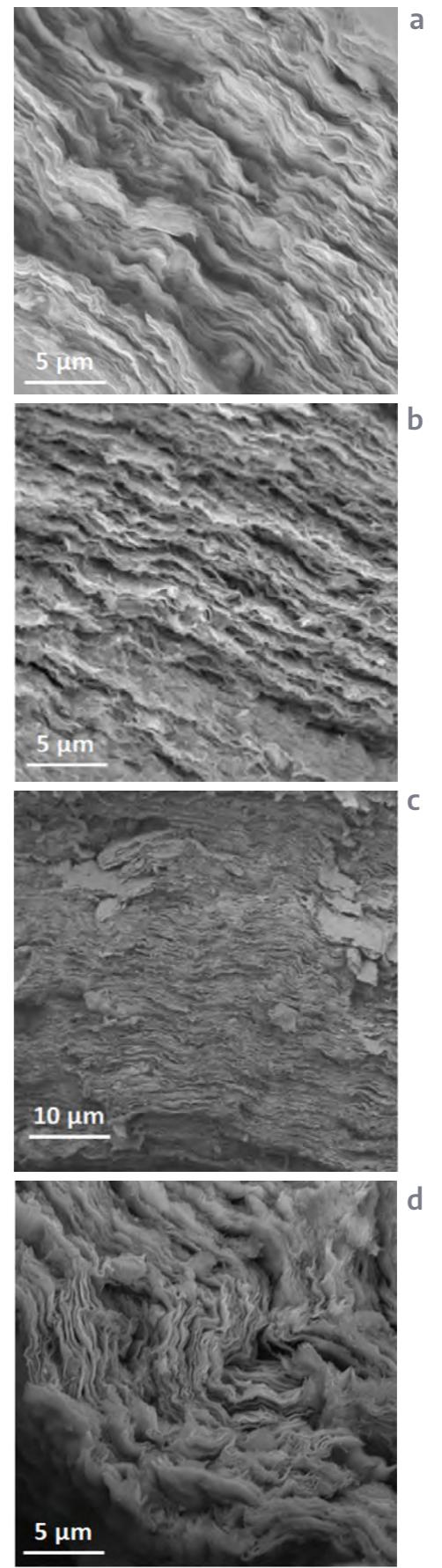
The authors greatly acknowledge the funding by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) in the framework of the Collaborative Research Centre SFB-TRR280 "Design Strategies for Material-Minimized Carbon Reinforced Concrete Structures – Principles of a New Approach to Construction" project ID 417002380

Cooperations

- Technische Universität Dresden
- RWTH Aachen University

[1] F. Bompadre, C. Scheffler, T. Utech, J. Donnini: Applied Sciences 11 (2021) 5484

Fig. 2
Scanning electron microscopic images of multi-layered structures in polymer films containing montmorillonites assembled in dispersions based on a) styrene-butadiene-rubber, b) chitosan, c) acrylate, d) epoxy.



Cytoplasmic condensation induced by membrane damage is associated with antibiotic lethality

Lars David Renner, Jens Friedrichs

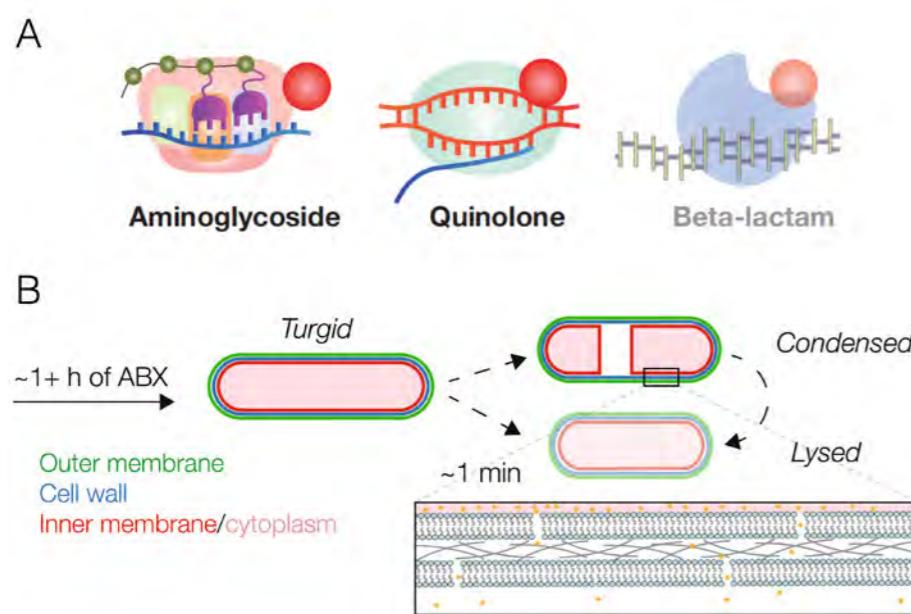


Fig. 1 The mechanics of lysis. (A) Classes of antibiotics studied in this work. (B) Schematic of cytoplasmic condensation and lysis in *E. coli* treated with kanamycin and ciprofloxacin.

Antibiotics are our last line of defense against pathogenic bacteria. Although antibiotics have been in clinical use for more than 75 years, the physical understanding of the processes leading to lysis or cell death remains lacking. Membrane lysis—or rupture—is a cell death pathway in bacteria that is frequently caused by cell-wall targeting antibiotics. The lysis process has been observed as soon as penicillin had become available [1,2] and single cell studies have recently shed more light on the process [3]. The understanding of the underlying physical processes of cell wall lysis will enable us to not only entangle the mechanisms of action,

cellular physiology and regulation, but also how cells at the single cell and bulk level will be affected. Here, we investigated the single cell dynamics of how rod-shaped *Escherichia coli* respond to the presence of various antibiotics, using biophysical and biochemical tools. In this work, we studied the effects of two antibiotics: kanamycin (aminoglycoside) and ciprofloxacin (quinolone) (Figure 1 A) on *E. coli*. We found that both antibiotics induce cytoplasmic condensation through membrane damage and cytoplasmic leakage as part of their lethal action (Figure 2). Progressively over time, the majority of the cells become either condensed or

lyse, with a stronger tendency for lysis when *E. coli* is treated with Kanamycin. In combination with biochemical analysis of the total lipid content, we found that antibiotic interactions lead to the formation of cell wall defects and the generation of reactive metabolic by-products, that react promiscuously with nucleic acids, proteins and membrane lipids inducing loss of membrane integrity that leads to cytoplasmic condensation and finally cell death [4]. We believe that we can exploit cell lysis as a probe for probing bacterial cellular physiology to study the physical effects of antibiotics at the single cell level. ■

Sponsor
VolkswagenStiftung (Life?)

Cooperations

- Dr. F. Wong, Prof. Dr. J. J. Collins, MIT Massachusetts Institute of Technology
- Dr. S. Penkov, Technische Universität Dresden

- [1] F. E. Hahn, J. Ciak: Science 125 (1957) 119
- [2] J. Lederberg, J. St. Clair: Journal of Bacteriology 75 (1958) 143
- [3] Wong et al.: Frontiers in Microbiology 12 (2021) 712007
- [4] Wong et al.: Nature Communications 12 (2021) 2321

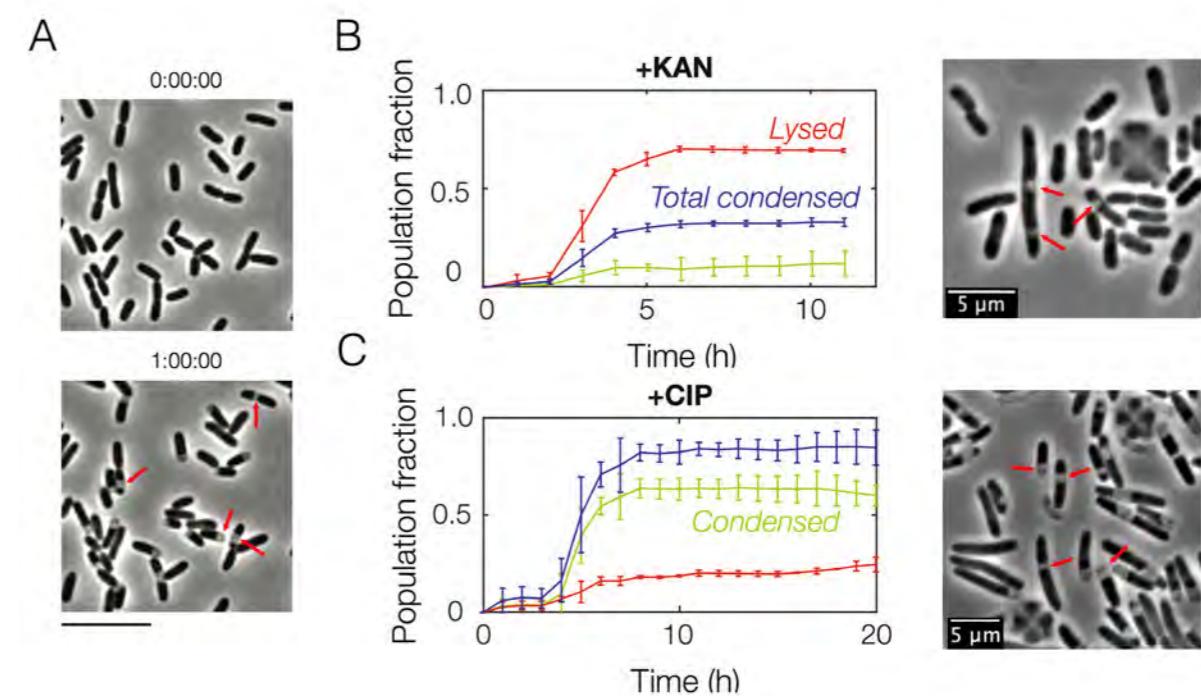


Fig. 2 The mechanics of lysis. (A) Example of a beginning cytoplasmic condensation within *E. coli* cells after 1 hour of treatment with Ciprofloxacin. (B,C) Fractions of all cells that are condensed or lysed during continuous treatment with Kanamycin (KAN) and Ciprofloxacin (CIP) and representative microscopy images from a microfluidic measurement. Cytoplasmic condensation is indicated by a red arrow. Some cells may condense and lyse within the same hour.

Amphiphilic copolymers for versatile, facile, and *in situ* tunable surface biofunctionalization

André Ruland, Saskia Schenker, Lucas Schirmer, Jens Friedrichs, Andrea Meinhardt, William MacDonald, Tina Helmecke, Melissa K. L. N. Sikosana, Juliane Valtin, Dominik Hahn, Lars D. Renner, Carsten Werner, Uwe Freudenberg

Precision surface engineering is key to advanced materials for biomedical technologies. However, controlling and combining various biofunctional surface features and molecular signals in robust and easily applicable coatings of bulk materials remains challenging. Moreover, modular and easy-to-use approaches are needed to facilitate translation by reducing economic and regulatory barriers.

We therefore developed a new polymer coating approach based on a platform of PEGylated styrene-maleic acid copolymers suitable for adsorptive surface biofunctionalization. Balanced amphiphilicity renders the copolymers water-soluble but strongly affine for surfaces (Fig. 1).

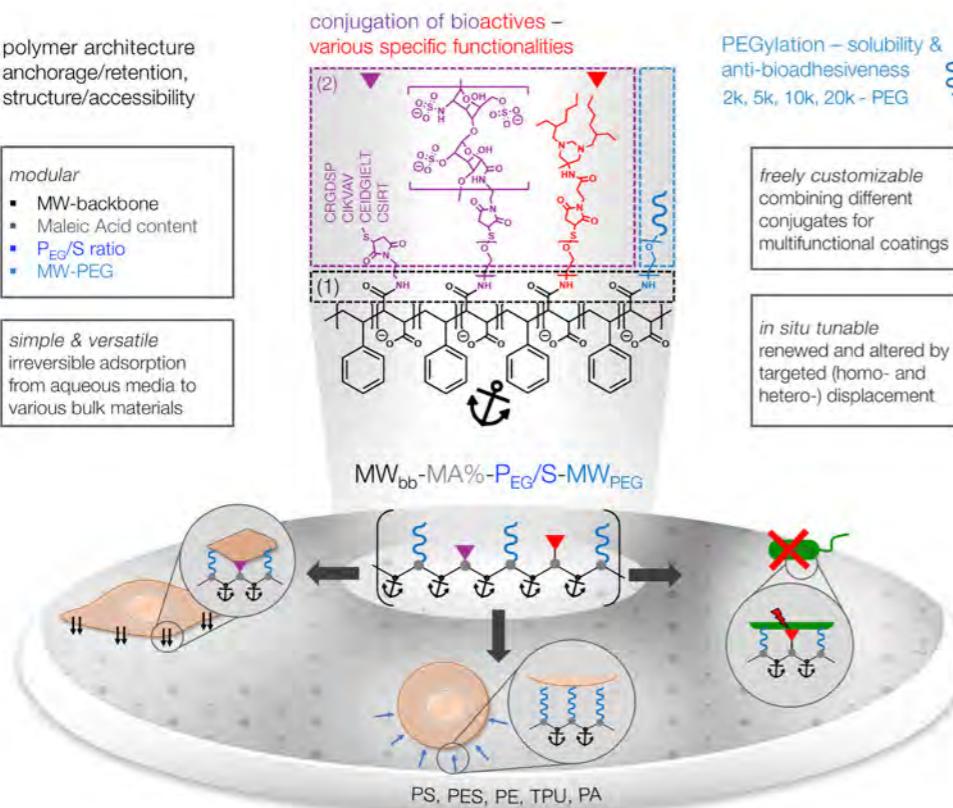


Fig. 1 Display of compositional and functional features of the anchor polymer coating platform. Center shows the anchor polymer nomenclature: MW_{bb}-MA%-P_{EG}/S-MW_{PEG}, including the molecular weight of the backbone (MW_{bb} in kDa), the percentage of maleic acid groups (MA in %), the number of PEG monomer units per number of styrene monomer units (P_{EG}/S) and the molecular weight of the PEG chain (MW_{PEG}). [1]

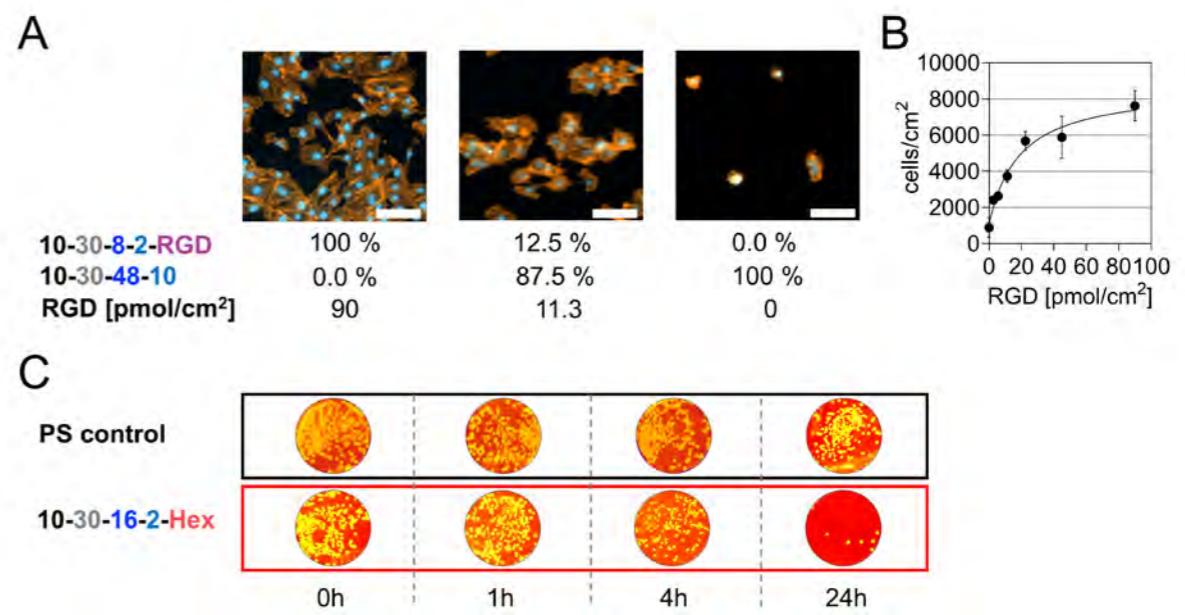


Fig. 2 A) Representative confocal microscopy images of HUVECs cultured on AP coatings using AP mixtures with variable RGD (cell-instructive peptide) ligand densities; scale bar: 100 µm. B) Quantification of cell number versus ligand density. C) *S. aureus* solutions directly applied to the substrates and the number of colony-forming units (CFU) after pressing the substrates directly on agar plates (false-colored photographic images of CFUs for better visualization; black: control surface, red: 10-30-16-2-Hex). Adapted from [1].

Fine-tuning of the copolymer architecture provides control over adsorptive anchorage onto specific materials - which is why they are referred to as "anchor polymers" (APs) - and over structural characteristics of the adsorbed layers. Conjugatable with an array of bioactives (such as cytokine-complexing glycosaminoglycans, cell-adhesion-mediated peptides and antimicrobials) APs can be customized for demanding biotechnologies in uniquely versatile, simple, and robust ways. AP coatings are readily obtained via simple adsorption from aqueous solutions to arbitrary hydrophobic surfaces. Mixing solutions of distinctly functionalized APs allows for an unprecedented and uniquely simple combination of various molecular functions and physicochemical features in adsorbed layers. Targeted *in situ* alterations of the layer composition (by homo- and heterodisplacement using APs of accordingly adjusted characteristics) and lateral patterning (across scales, starting at molecular level spacing) further expand the arsenal of applications.

To illustrate this powerful novel concept, we performed proof-of-concept studies with cell-instructive and antimicrobial AP coatings to support the cultivation of human umbilical vein endothelial cells (HUVECs) and induced

pluripotent stem cells (hiPSCs), and to prevent bacterial settlement on coated surfaces, respectively. Our new, versatile AP technology will facilitate combinatorial high-throughput surface engineering approaches of previously unrealizable complexity, paving the way for further advanced biomaterials with multimodal features. ■

Sponsors

- BMBF-Verbundvorhaben RESPONSE: „Zwanzig20 Partnerschaft für Innovation“ (FV11, FV12, and FV17); „Verbundprojekt Materialien für einen niedrigthrombogenen Blutkreislauf (LTBC), Teilvorhaben: Biofunktionalisierung mittels Ankerpolymeren“ 13XP5075C
- VolkswagenStiftung (LDR)
- BASF SE

Cooperations

- Dr. V. B. Schwartz, faCellitate – A venture of Chemovator GmbH, Mannheim
- Dr. N. Kaiser, Dr. R. Konradi, BASF SE, Ludwigshafen am Rhein

[1] Ruland et al.: Adv. Mater. (2021) 2102489, DOI 10.1002/adma.202102489

Poly(2-alkyl-2-oxazoline)-heparin hydrogels - Expanding the physicochemical parameter space of biohybrid materials

Dominik Hahn, Manfred F. Maitz, Uwe Freudenberg, Carsten Werner

Biohybrid poly(ethylene glycol) (PEG)-glycosaminoglycan (GAG) hydrogel networks were established as very versatile biomaterials.^{1,2} Applications include tissue engineering and feedback-controlled drug delivery. While recent work modified the GAG component of the network using desulfation there has been no modification yet of the PEG component. Concern was raised against the widespread use of PEG, potentially resulting in recognition by and - in rare cases - activation of the immune system. The potential hydrolytic cleavage in biological ambiance by the presence of metal ions additionally motivates the search for alternative polymer systems.

We, therefore, explored these alternative synthetic polymer units of variable physicochemical properties instead of the PEG units in the design of GAG-containing biohybrid hydrogels. Poly(2-alkyl-2-oxazolines) (POx) were used as an alternative synthetic gel component with methyl-, ethyl-, iso-propyl-, and n-propyl-2-oxazoline alkyl side chains (P(MeOx), P(EtOx), P(iPrOx), and P(nPrOx), respectively) providing graded and temperature-responsive hydrophilicity.³ Binary hydrogels of PEG or POx and Heparin were synthesized by Michael-type addition of thiol-terminated PEG or POx to maleimide-functionalized heparin (Fig. 1).

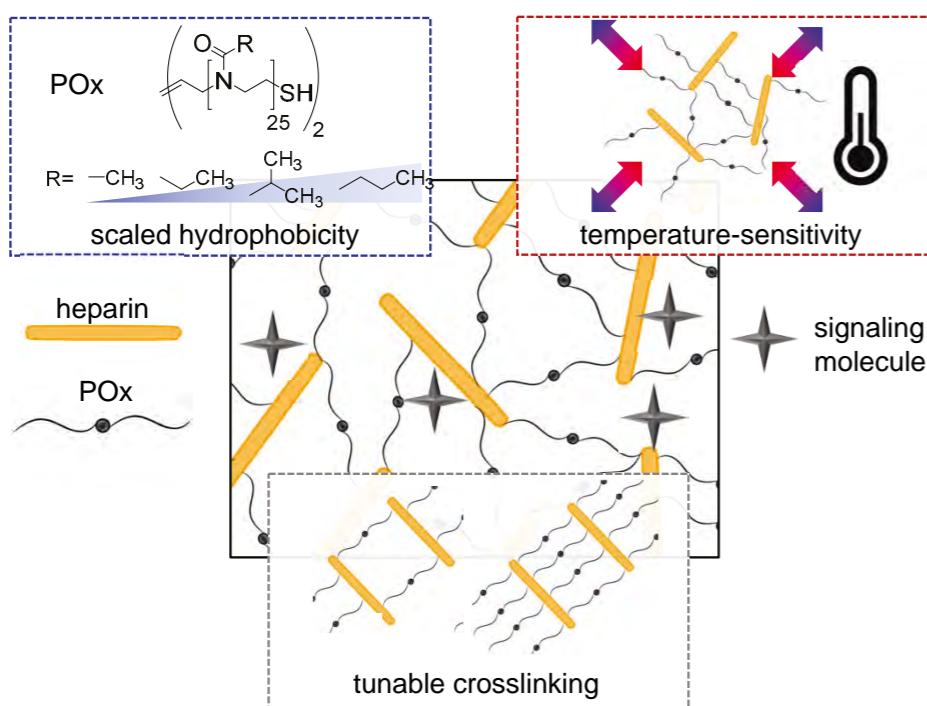


Fig. 1 Scheme of the poly(2-alkyl-2-oxazoline) (POx)-heparin hydrogel. The side chains of the POx provide different hydrophilicity and thermo-responsiveness of the gel, affecting the release of signaling molecules. The overall properties can be controlled by the crosslinking degree of the gel.

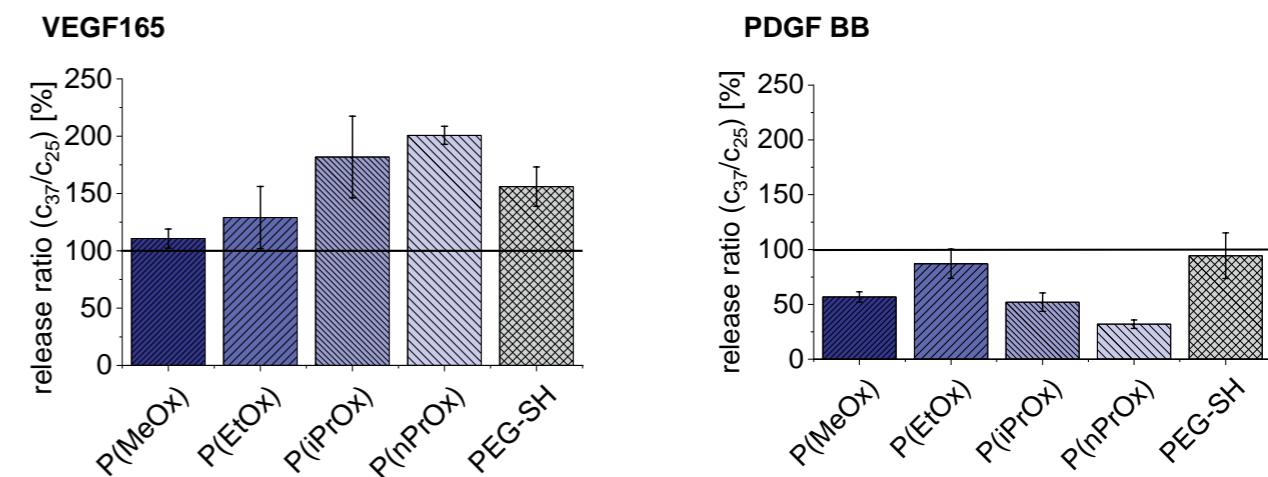


Fig. 2 Ratio of VEGF165 and PDGF BB release at 37 °C rated to the release at room temperature in percent.

Since the maleimide-thiol-reaction is nearly quantitative, the number of reactive maleimide moieties determines the crosslinking degree of the hydrogels, observed in the storage moduli (G') and swelling degrees, previously established for PEG-HEP gels. The different POx based hydrogels generally showed an increase in the stiffness with increasing side chain length and resulting hydrophobicity of the POx (from P(MeOx) to P(iPrOx)).

Exemplary bioanalytical experiments showed that the adsorption of fibronectin, the growth of fibroblasts and the bacterial adhesion at the novel materials scaled with the hydrophobicity of the gel-incorporated POx. *In vitro* hemocompatibility tests with freshly drawn human whole blood showed advantages of POx-based gels compared to the PEG-based reference materials.

Hydrogels containing the thermo-responsive P(iPrOx) and P(nPrOx) at the highest crosslinking degree showed shrinkage to 80 % and 60 %, respectively, when the temperature increased from room temperature to 38 °C, associated with a temperature-responsiveness toughening. The shrinkage significantly influenced the release profile of loaded growth factors. The release of vascular endothelial

growth factor (VEGF165) was enhanced by about 200 % for the thermo-responsive hydrogels containing P(iPrOx) and P(nPrOx). In contrast, the release of platelet-derived growth factor (PDGF-BB) was reduced from these gels at increased temperature. It is assumed that the hydrophilic VEGF is squeezed out from the hydrogel when it collapses at elevated temperature, whereas the more hydrophobic PDGF-BB was retained in the hydrogel by the POx side chains with enhanced hydrophobicity.

In conclusion, biohybrid POx hydrogels can be expected to enable biomedical technologies requiring GAG-based materials with customized and switchable physicochemical characteristics. ■

Sponsor

Center for Bioactive Interfaces and Materials by the German Research Foundation and the Excellence Initiative of the German Federal and State Governments

Cooperations

- Dr. J. M. Sonntag, Dr. S. Lück, Prof. Dr. R. Jordan, Technische Universität Dresden

- [1] U. Freudenberg, A. Hermann, P.B. Welzel, K. Stirl, S. C. Schwarz, M. Grimmer, et al.: Biomaterials 30 (2009) 5049-5060
[2] U. Freudenberg, J.-U. Sommer, K. R. Levental, P. B. Welzel, A. Zieris, K. Chwalek, et al.: Adv. Funct. Mater. 22 (2012) 1391-1398
[3] D. Hahn, J. M. Sonntag, S. Lück, M. F. Maitz, U. Freudenberg, R. Jordan R., et al.: Adv. Healthc. Mater. 10 (2021) 2101327

Customizing biohybrid cryogels to serve as ready-to-use delivery systems of signaling proteins

Jana Sievers, Ralf Zimmermann, Jens Friedrichs, Dagmar Pette, Yanuar Dwi Putra Limasale, Carsten Werner, Petra Birgit Welzel

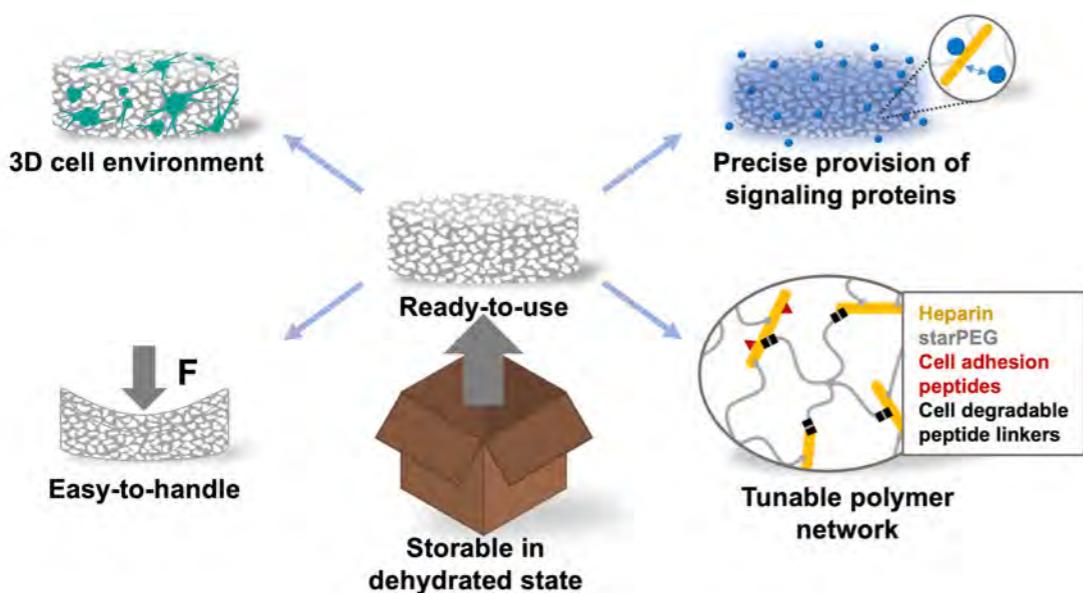


Fig. 1 Schematic illustration of the ready-to-use cell-instructive starPEG-heparin cryogel system with highly tunable physicochemical and biomolecular properties. Reprinted from reference [2] with permission from Elsevier.

The precise and spatiotemporally controlled delivery of signaling proteins, such as growth factors and cytokines, is crucial to effectively direct cell growth, migration, and differentiation in a variety of biomedical applications. Despite of recent advances, the design of carrier materials that enable the sustained administration of signaling proteins at the targeted site, while

maintaining the biological activity of the released proteins remains challenging. In addition, there is an increasing demand for the development of easily transportable and protein pre-loaded delivery systems that are applicable with minimal pre-treatment, particularly with regards to clinical and high-throughput applications.

In the presented work, a new set of ready-to-use cryogels for the highly tunable and long-term delivery of various signaling proteins was developed. The underlying hydrogel network consists of multi-armed polyethylene glycol (starPEG) and the protein-affine glycosaminoglycan component heparin analogous to a previously in our lab developed starPEG-heparin cryogel system [1]. The interconnected macroporous architecture of cryogels enables rapid ingrowth and expansion of seeded cells, as well as fast exchange of oxygen, nutrients, and metabolic waste products. Together with their exceptional sponge-like elastic properties, allowing a full shape recovery after exposure to high compressive forces, these unique features make cryogels highly appealing for signaling protein delivery applications. Therefore, the starPEG-heparin original cryogel system was significantly extended by preparing ready-to-use protein-loaded scaffolds that can be stored in the dehydrated state for later usage without loss of bioactivity, as well as optionally can be functionalized with cell adhesive peptides or rendered cell-degradable [2]. Most importantly, the heparin concentration of the polymer network was made adjustable enabling the fine-tuning of the protein release properties, while maintaining structural and mechanical properties of the cryogels. We show that the here introduced modular starPEG-heparin cryogel

platform overcomes otherwise reported limitations of cryogels, i.e., too-rapid release, limited loading capacity, and insufficient control over the release properties. By combining experimental and mathematical modeling techniques, an in-depth assessment of the signaling protein release was performed, including a detailed investigation of the influence of the unique macroporous architecture of cryogels on their release properties. For the first time, this approach allowed us to reveal local differences in the concentration of signaling protein released into the macropores and the surrounding solution. Our findings are truly relevant to the application scenario, as they suggest that a signaling protein concentration gradient is formed around the cryogel scaffold, whereas cells colonizing the macropores are exposed to a constant and rather high protein concentration. As a proof-of-concept, cryogel scaffolds pre-loaded with nerve growth factor were shown to induce neuronal differentiation in a cell culture study, thus demonstrating the maintenance of the bioactivity of the incorporated signaling protein even after prolonged storage of the pre-loaded ready-to-use scaffolds. Overall, the elaborated study is expected to pave the way for the translation of macroporous cryogel scaffolds into the clinic as easy-to-apply therapeutic protein delivery systems with highly tunable release characteristics. ■

- [1] P. B. Welzel, M. Grimmer, C. Renneberg, L. Naujox, S. Zschoche, U. Freudenberg, C. Werner: Biomacromolecules, 13 (2012) 2349-2358
[2] J. Sievers, R. Zimmermann, J. Friedrichs, D. Pette, Y. D. P. Limasale, C. Werner, P. B. Welzel: Biomaterials, 278 (2021) 121170

Sulfonated cryogel scaffolds for focal delivery in *ex vivo* brain tissue cultures

Dimitri Eigel, Petra B. Welzel, Max J. Männel, Julian Thiele, Carsten Werner

The human brain has unique features and its development is rather complex and far less understood than that of commonly used animal models, e.g. [1]. It is known that highly localized genetic changes contribute to the developmental malformations seen in neurodevelopmental and psychiatric disorders. *Ex vivo* techniques such as human primary brain tissue culture systems are fantastic tools furthering our understanding of brain development and function, and for producing new therapies. However, methods that allow focal manipulation of human fetal neocortex brain tissue in culture to model such spatial effects are very limited. Currently available techniques usually suffer from being “global” in nature, i.e. the whole tissue sample is affected by the intervention being tested.

Here [2], we developed a novel cryogel tool to enable easy and targeted delivery of fluorescent dyes and pharmacological agents to specific regions of brain explant and slice cultures in a reproducible manner. Line-shaped microscale cryogels with precise dimensions were synthesized in poly(dimethylsiloxane) PDMS templates from an aqueous precursor solution containing poly(ethylene glycol) diacrylate (PEGDA) and the sulfonated monomer 3-sulfopropyl acrylate (SPA) as well as 2-hydroxy-2-methylpropiophenone (HMPP) as a photoinitiator at a subzero processing temperature (-20 °C) based on a free radical photopolymerization reaction. Customized PDMS templates

featuring line-shaped cavities with a length of 10 mm and cross-section dimensions of 150 x 160 µm, 250 x 300 µm, or 450 x 260 µm, respectively, were molded with high reproducibility from micron-sized master structures fabricated by means of micro-stereolithography 3D printing. The mechanically robust sponge-like nature of the PEGDA-co-SPA cryogels allowed them to be easily removed from the line-shaped cavities.

The dyes BODIPY and Dil were used as model cargos and successfully loaded (compare Scheme 1) to the macroporous cryogels via strong electrostatic attraction between the fluorophores and the sulfonated scaffolds. Placement of these dye-loaded cryogel scaffolds onto brain tissue in culture resulted in controlled delivery and labelling of specific regions without tissue damage. Due to their flexibility and toughness line-shaped cryogels easily adapt and fit to the contour of tissue samples and also enabled the focal delivery of the sodium channel blocker tetrodotoxin which locally inhibited neuronal function in a reversible manner. As the cryogel tools can be easily applied and removed from the tissue multiple times, they also allow for temporal control of a manipulation.

The presented approach has a great potential to enable the visualization and tracking of individual cells and more complex manipulations of *ex vivo* tissue. ■

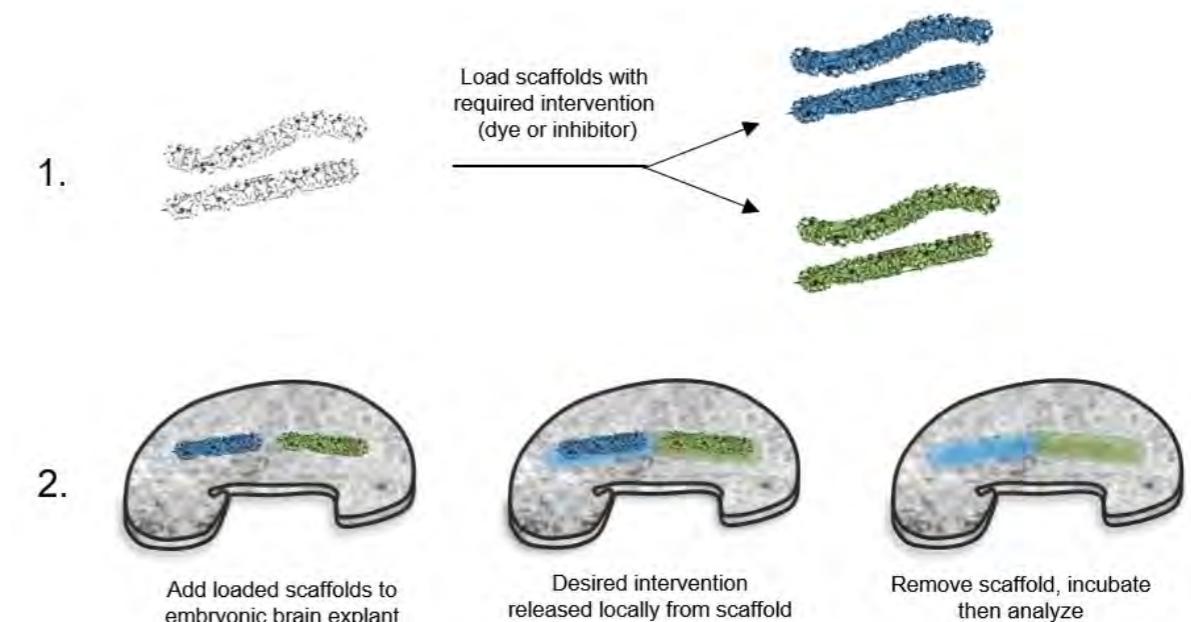


Fig. 1 Experimental design of loading soft but robust microscale cryogel scaffolds with dye or inhibitor (1.) and using them for (2.) site-specific manipulation of human brain tissue in culture.

Sponsors

- Deutsche Forschungsgemeinschaft, 320041273
- European Research Council, European Union’s Horizon 2020 research, Innovation Program, 852065
- Wellcome Trust (Sir Henry Wellcome Postdoctoral Fellowship B. Newland)
- Medical Research Council (MRC), MR/S025065/1
- UK Medical Research Council, 1934998
- MRC Doctoral Training Partnership in Biomedical Sciences (King’s College London)
- Human Development Biology Resource, provided by Joint MRC/Wellcome Trust, #99175/Z/12/Z

Cooperations

- Dr. B. Newland, National University of Ireland, Cardiff University
- Dr. K. R. Long, Max-Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics Dresden and King’s College London
- Prof. W. B. Huttner, R. Schuster, Max Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics Dresden
- Dr. L. C. Andreae, M. J. Panasiuk, King’s College London
- Prof. A. Brancale, Dr. C. Varricchio, Cardiff University

[1] Z. Molnár, G.J. Clowry, N. Šestan, A. Alzu’bi, T. Bakken, R.F. Hevner, P.S. Hüppi, I. Kostović, P. Rakic, E.S. Anton, D. Edwards, P. Garcez, A. Hoerder-Suhedissen, A. Kriegstein: *J. Anat.* 235 (2019) 432-451

[2] D. Eigel, R. Schuster, M. J. Männel, J. Thiele, M. J. Panasiuk, L. C. Andreae, C. Varricchio, A. Brancale, P. B. Welzel, W. B. Huttner, C. Werner, B. Newland, K. R. Long: *Biomaterials* 271 (2021) 120712

Sulfation of glycosaminoglycan hydrogels instructs cell fate and chondral versus endochondral lineage decision of skeletal stem cells *in vivo*

Passant Atallah, Carsten Werner

The degeneration of articular cartilage is a major debilitating medical condition and previous approaches to cartilage regeneration by stem cells remained unable to create long-term non-mineralized neocartilage. Glycosaminoglycans (GAGs), a key component of the extracellular matrix, can control the presentation of signaling molecules. In the current study, the role of the GAG sulfation pattern on the stem cell lineage choice was systematically studied. Injectable GAG-PEG hydrogels with either highly sulfated heparin (H-PEG hydrogel) or selectively 6-O-N-desulfated heparin (DH-PEG) were subcutaneously implanted into the back of SCID mice *in vivo*. Hydrogel implants were loaded with mesenchymal stem cells (MSCs) and TGF β , an essential driver

of MSC chondrogenesis and cartilage morphogenesis. Highly sulfated heparin hydrogels displayed prolonged TGF β -retention (Figure 1 A) guiding stem cells into chondrogenesis as evident by the silencing of the prohypertrophic Hedgehog-, BMP-, and WNT-pathways resulting in neocartilage rich in collagen II (Figure 1B) and aggrecan (Figure 2B) with long-term resistance to calcification and bone formation (Figure 2C,D). Conversely, low sulfated heparin implants caused a decrease in TGF β retention and enhanced Hedgehog/BMP/WNT-signaling *in vivo*, switching lineage commitment into endochondral differentiation with strong expression hypertrophic markers (collagen X, MEF2C, COL10A1, and ALPL) as well as osteogenic marker (RUNX3, IBSP, and

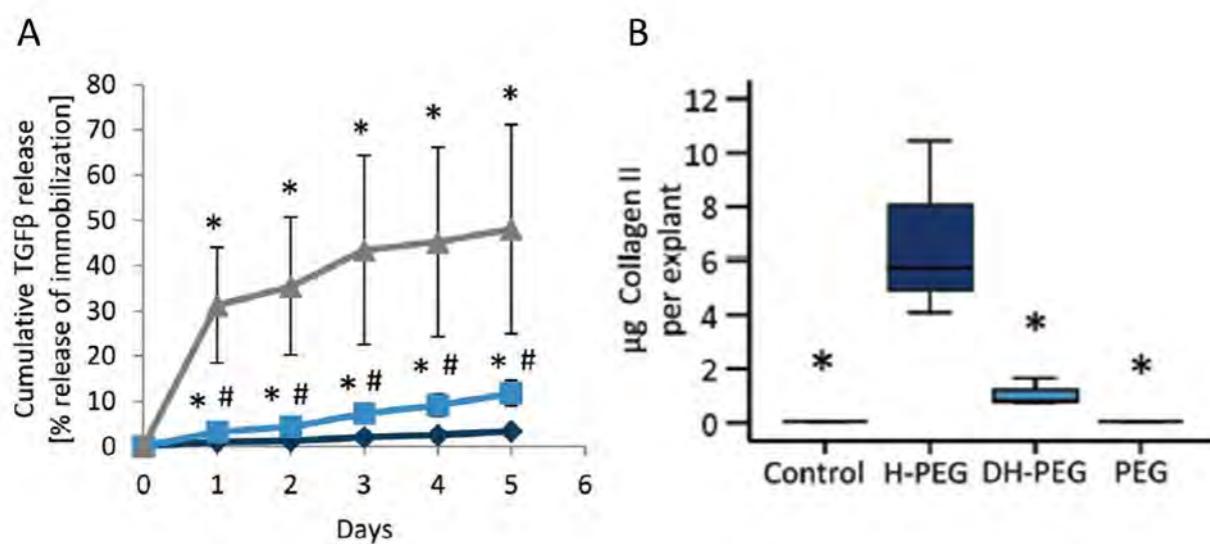


Fig. 1 A) Cumulative TGF β release from Heparin-PEG hydrogel (H-PEG), 6-O-N desulfated heparin-PEG hydrogel (DH-PEG), or PEG hydrogel (PEG) loaded with 120 ng TGF β into the supernatant quantified over 5 days depicted as mean \pm standard deviation. B) Quantitation of collagen type II protein deposition per explant by ELISA ($n = 3$ MSC donors per group). Control: hydrogels with cells but without local TGF β .

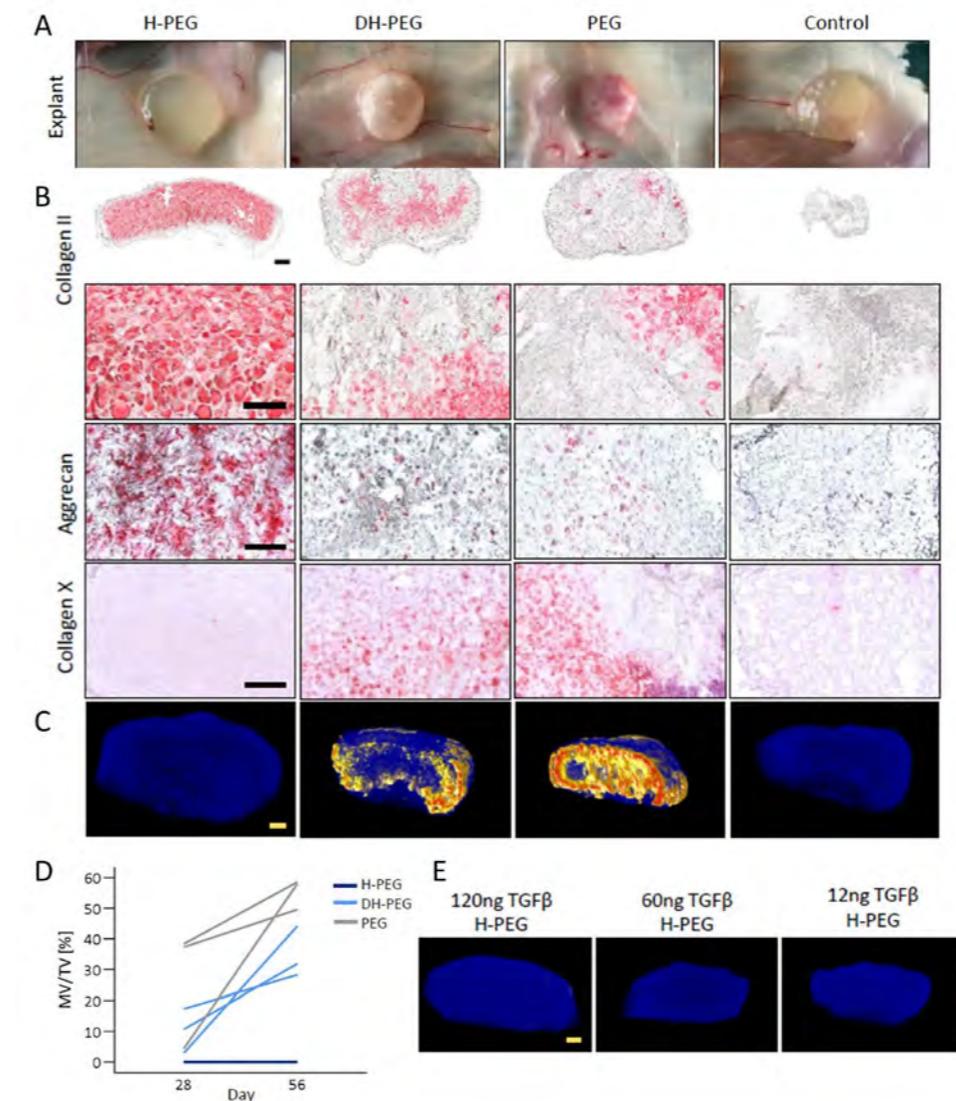


Fig. 2 Unmineralized nonhypertrophic cartilage after prolonged *in vivo* maturation. H-PEG, DH-PEG, and PEG hydrogels containing 1.2×10^6 hMSC and 120 ng local TGF β sample were implanted subcutaneously into the back of SCID mice and harvested on day 28 and 56. A) Macroscopic view at day 28. B) Representative immunohistochemical staining from one of two MSC donors, counterstained with haematoxylin at day 56. Control: PEG hydrogel without local TGF β . Scale bars represent 500 μ m in the overviews and 200 μ m in the magnifications. C) μ CT images of representative day 56 explants ($n = 3$ per group). D) Quantitation of the mineralized volume (MV) versus total volume (TV) in explants by μ CT analysis at day 28 and day 56. E) μ CT reconstruction of H-PEG hydrogel explants shows no mineralization at decreasing local TGF β content.

SPP1) with tissue calcification. The reduction of the TGF β load in H-PEG, to mimic less TGF β retention in the implants analogous to low sulfated DH-PEG hydrogels, resulted in weaker collagen type II deposition while the hypertrophic collagen X was undetectable (Figure 2E). Thus, GAG sulfation rather than the mere TGF β availability is crucial in MSC lineage commitment. The reported findings illustrate the capability of biomaterials to guide stem cells to form long-term stable unmineralized neocartilage *in vivo* and open up new avenues for the regeneration of damaged cartilage¹. ■

Sponsor

European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2013-2017) HydroZONES under grant agreement no. 309962

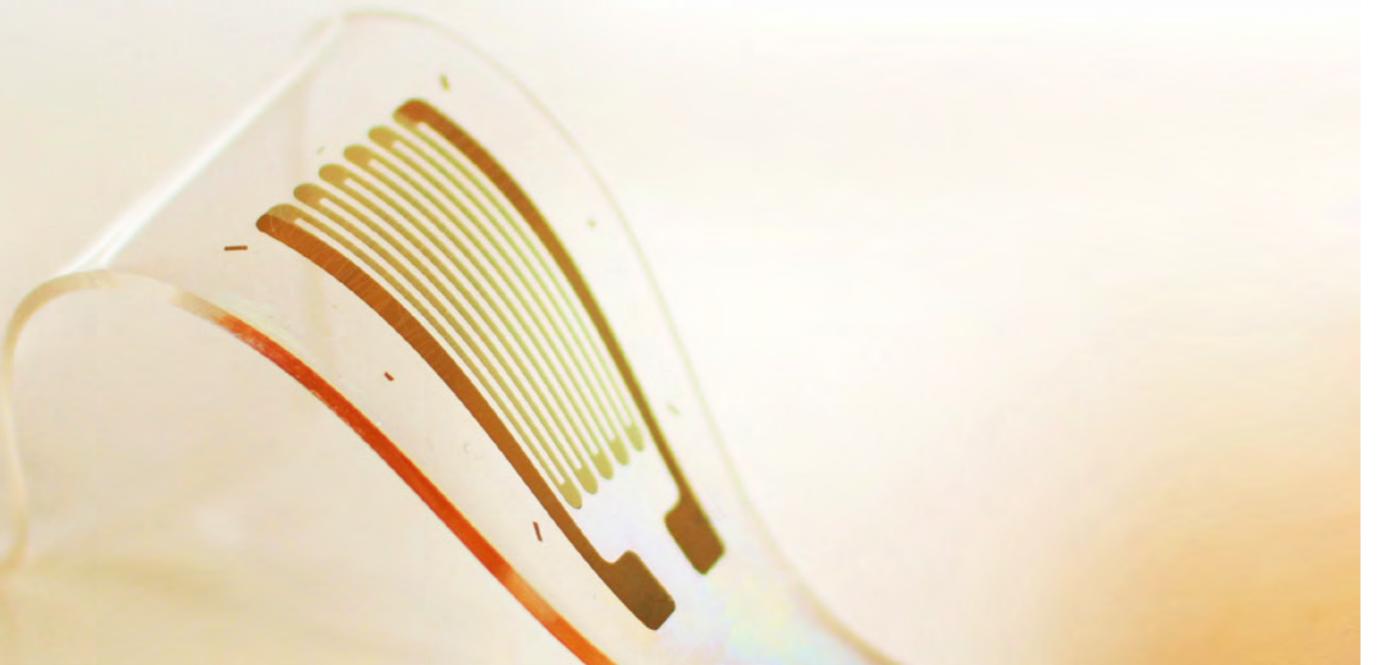
Cooperations

- S. Chasan, Dr. E. Hesse, M. Gerstner, PD Dr. S. Diederichs, Dr. A. Schenker, Prof. Dr. W. Richter, Heidelberg University Hospital
- Prof. K. Grobe, Cells-in-Motion Cluster of Excellence, University of Münster

[1] S. Chasan, E. Hesse, P. Atallah, M. Gerstner, S. Diederichs, A. Schenker, K. Grobe, C. Werner, W. Richter: Adv. Funct. Mater. 2109176 (2021)

3

FUNKTIONS MATERIALIEN UND SYSTEMINTEGRATION



Prof. Dr. Brigitte Voit

Prof. Dr. Andreas Fery

Prof. Dr. Carsten Werner

Prof. Dr.-Ing. Sven Wießner

Moderne Technologien und Systemlösungen erfordern multifunktionelle Materialien, die mit zukunftsorientierten Fertigungstechniken kompatibel und individuell konfigurierbar sind. Am IPF werden daher zunehmend Material- und Systementwicklung als ein ganzheitlicher Prozess betrachtet, bei dem Materialsynthese, Assembly von Materialbausteinen, Bauteil- und Systemintegration sowie Herstellungs- bzw. Verarbeitungstechnologie eng verschärkt sind.

Ein aktuelles Beispiel ist die Entwicklung dehnbarer polymerer Halbleiter für die Integration in tragbare Sensoren. Durch die gezielte Synthese eines Triblock-Copolymers konnten halbleitende Eigenschaften sowie ein niedriger Elastizitätsmodul für hohe Dehnbarkeit und die Modifizierbarkeit der Oberfläche zur Anbindung von Rezeptoren in das Material integriert werden (*Adv. Mater.* 2021, 33, 2005416, Kooperation mit PB2 und cfaed). In Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) wurden daraus Sensoren fabriziert, welche eine Detektion von SarsCov-2-Antikörpern als auch von Antigenen erlauben (*ACS Biomater. Sci. Eng.* 2021, doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00727). Ebenfalls mit dem HZDR wurden Polymer/Metall-Hybrid-Beschichtungen entwickelt, deren Leitfähigkeitsänderung bei Dehnung zwischen Leitfähigkeitszunahme, dehnungsunabhängiger Leitfähigkeit und Leitfähigkeitsabnahme eingestellt werden kann. Durch Kombination dieser Elemente lassen sich dehnungsgesteuerte logische Schaltelemente realisieren (*Adv. Mater.* 2021, doi.org/10.1002/adma.202104769). Neue Konzepte für deformationsstabile optische (plasmonische) Sensoren werden zusammen mit der TU Dresden entwickelt. Sie bieten sich für eine Integration in flexible Elektroniksysteme an (*Adv. Funct. Mater.* 2021, doi.org/10.1002/adfm.202101959). Polymer-Metall-Hybridstrukturen eröffnen Zugänge zu optischen Sensoren, deren Sensitivität mechanisch durchstimmbare ist.

So konnten deformierbare Metamaterialien erzeugt werden, die einen besonders hohen Zirkulardichroismus aufweisen und für die enantioselektive Detektion von Biomolekülen geeignet sind (*Nature Materials* 2021, 20, 1024).

In Mechanik und Funktion optimierte responsive Hydrogele bieten in der Mikrofluidik neue Ansätze für redox-basierte sowie reversible Proteinspeicherung und Freisetzung (*Polymers* 2022, 14, 267). Außerdem konnten mit Hydrogelen und biomimetischen Konzepten Beschichtungen für Sensoren realisiert werden (*Europ. Polymer J.* 2021, 153, 110503). Unter Ausnutzung des Co-Nonsolvency-Effekts wurden polymerbeschichtete Nanoporen hergestellt, deren Radius sich unter Zugabe von Ethanol in wässriger Lösung steuern lässt. Dieser Effekt konnte mit Hilfe der Translokation von DNA nachgewiesen werden (*Macromolecules* 2021, 54, 4432).

Zudem wurden polymerbasierte Materialien entwickelt für thermoelektrische Generatoren und Superkondensatoren, die in Kombination zur Erzeugung und Speicherung von elektrischer Energie geeignet sind und z. B. den autarken Betrieb von Sensoren und Kommunikation im Internet of Things (IoT) ermöglichen (*Nanomaterials* 2021, 11, 1146, *J. Appl. Polym. Sci.* 2021, 138, e50663). Hochdehnfähige triboelektrische Nanogeneratoren (TENG) mit hoher Leistungsdichte wurden durch Kombination von Oberflächenmikrostrukturierung und laserinduzierter Graphenbildung in Fluorelastomerenerzeugt. Hochsensitive TENG-Sensoren aus mikrostrukturierten dielektrischen Elastomerschichten bieten zusammen mit ultraweichen piezoresistiven Naturkautschukelastomeren aussichtsreiche Möglichkeiten für die Systemintegration von energie-autarken Deformations- und Berührungsensoren z. B. in hochflexible Soft-Robotik-Segmente oder Mensch-Maschine-Schnittstellen (*Appl. Mater. Today* 2021, 25, 101219). ■

Nachweis von SARS-CoV-2-Antigenen und Antikörpern mittels polymerbasierter OFET-Biosensoren

Kristina Ditte, Oliver Ditzer, Soosang Chae, Franziska Lissel

In der anhaltenden COVID-19 Pandemie brauchen wir adaptive Lösungen, welche das schnelle und einfache Testen des Immunisierungs- und Infektionsstatus großer Gruppen (z. B. Passagiere oder Schüler) ermöglichen. Papierbasierte Immunsensoren und PCR Tests sind zwar sehr zuverlässig, können jedoch meist nur statio-när und durch geschultes Personal verwendet werden. Tragbare Testplattformen wie in Kleidung integrierte Sensoren könnten eine Point-of-Care Diagnostik zur

Eindämmung des Pandemieverlaufs darstellen. Beson-ders transistorbasierte Biosensoren sind aufgrund ihrer extrem niedrigen Detektionsgrenzen und schnellen De-tektionszeiten interessant. Derzeit bekannte transistor-basierte Biosensoren zum Nachweis von SARS-CoV-2-Antigenen (AG) und Antikörpern (AK) benötigen jedoch Elektrolytlösungen, welche eine Integration in Kleidung erschwert und keine Flexibilität und Dehnbarkeit des Sensors zulässt.

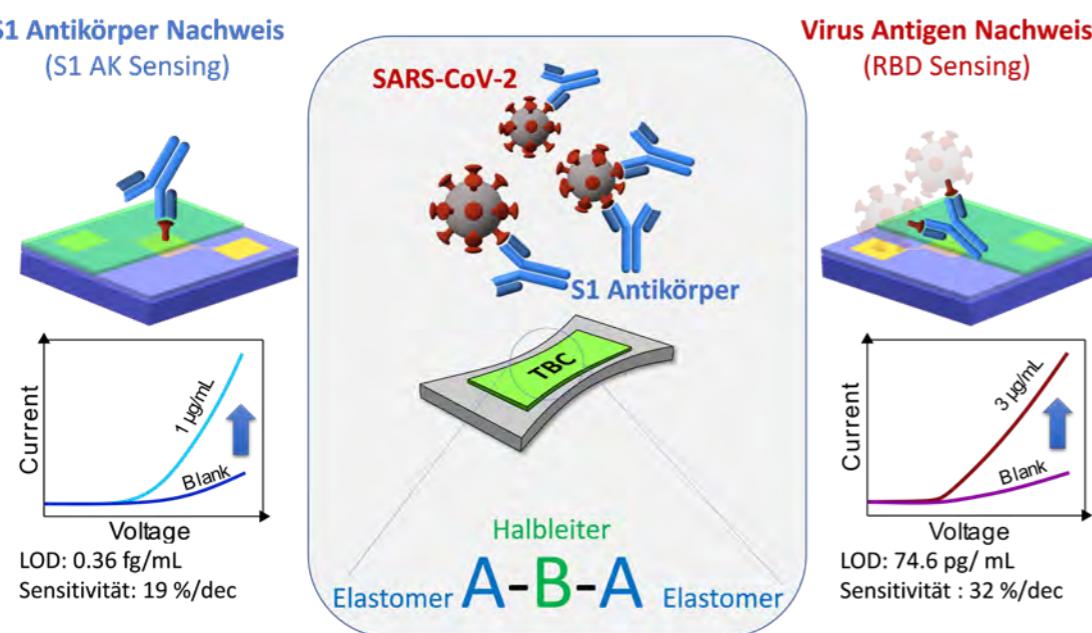


Abb. 1 Schema des OFET Biosensors und der S1 Antikörper und RBD Detektion.

Hier setzt die Arbeit von Dr. Franziska Lissel und ihrer Gruppe *Funktionelle Elektronische Materialien* (FEM) am Institut für Makromolekulare Chemie (IMC) des IPF an. In Kooperation mit Dr. Soosang Chae (Humboldt-Fellow am IPC) und Dr. Larysa Barban und ihrer Gruppe

Nano-Mikrosysteme für Biowissenschaften am Institut für Radioimmunologie des HZDR, wurde ein Biosensor realisiert, der auf einem dehnbaren, halbleitenden Polymer beruht, um eine spätere Nutzung der Technologie in dehnbaren Sensoren zu gestatten.

Der auf organischen Feldeffekttransistor (OFET) beru-hende Biosensor detektiert sowohl SARS-CoV-2-AG, genauer das S1 Spike-Protein, sowie den Antikörper S1-AK und erlaubt so den Nachweis der Immunisierung wie auch des Virus.

Hierfür wurde ein von Kristina Ditte im Rahmen ihrer

Doktorarbeit entwickeltes Block Copolymer verwendet, welches exzellenten Ladungstransport mit hoher Dehn-barkeit kombiniert. Auf dieses wurde entweder der S1-AK zur Detektion der Rezeptor-Bindungs-Domäne (RBD) des S1 Spike-Protein oder das RBD-Protein zur Detektion der entsprechenden S1-AK adsorbiert.

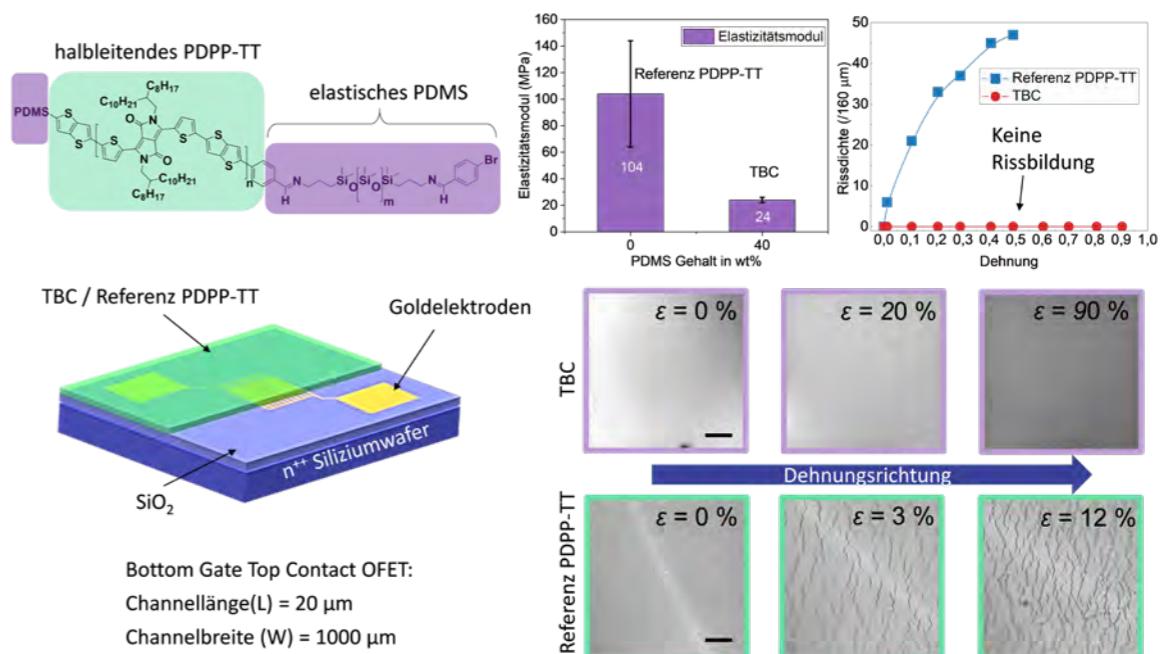


Abb. 2 Oben Links: Chemische Struktur des Block Copolymers (TBC); Oben Rechts: Elastizitätsmodul und Rissbildung von Referenzhalbleiter PDPP-TT & TBC; Unten Links: Schematische Darstellung der Transistorarchitektur; Unten Rechts: Mikroskopiebilder der Filme unter Dehnung.

Die hergestellten OFET Biosensoren zeigten hohe Sensi-tivität in einem breiten Bereich von AK- und AG-Konzen-trationen mit Detektionslimits im Bereich von fg/mL bzw. pg/mL für AK- bzw. RBD-Nachweis und einer Detektionszeit von 20 Minuten. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass das aktive Material auf die doppelte Länge gedehnt kann, ohne dass sich Risse bilden. Mit einem Transfer des so erbrachten Proof-of-Concept von adsorption-basierten OFET Biosensoren auf ein flexibles und dehnbares Substrat, liefert das erarbeitete Konzept die Mög-llichkeit dehnbare Biosensoren herzustellen, welche in Zukunft in Textilien, wie bspw. Masken, eingearbei-tet werden könnten und letztendlich einen einfachen und non-invasiven Nachweis des Immunisierungs- und

Infektionsstatus erlauben um sie die Ausbreitung von SARS-CoV-2 einzudämmen. ■

Gefördert durch

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projekt Nr. 436376809 & 413655771
- Fonds der Chemischen Industrie (FCI)
- Sächsische AufbauBank (SAB) – Projekt Nr. 5044119002
- Alexander von Humboldt-Stiftung

Kooperationspartner

- T. A. Nguyen Le, I. Sandoval Bojorquez, M. Bachmann, L. Baraban, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

[1] K. Ditte, T.A. Nguyen Le, O. Ditzer, D. I. Sandoval Bojorquez, S. Chae, M. Bachmann, L. Baraban, F. Lissel: ACS Biomater. Sci. Eng. (2021) (DOI: 10.1021/acsbiomaterials.1c00727)

[2] K. Ditte, J. Perez, S. Chae, M. Hambsch, M. Al-Hussein, H. Komber, P. Formanek, S. Mannsfeld, A. Fery, A. Kiriy, und F. Lissel: Adv. Mater. 33 (2021) 2005416 (DOI: 10.1002/adma.202005416)

Entwicklung einer mechanisch gesteuerten Logikschaltung

Soosang Chae, Eva Bittrich, Petra Uhlmann, Andreas Fery

Die präzise Erfassung und Verarbeitung kleinsten menschlichen Bewegungen hat ein großes Potenzial für zukünftige intelligente Technologien, z. B. Mensch-Maschinen-Schnittstellen (MMS), das taktile Internet, das Internet der Dinge (IoT), Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Extended Reality (XR)*. Durch die Entwicklung dünner, weicher, dehnbarer und

langlebiger elektronischer Geräte, welche auch in den menschlichen Körper integriert werden können, ergeben sich viel versprechende Möglichkeiten für Methoden zur hochauflösenden Erfassung von Dehnungs-/ Bewegungsabläufen direkt auf der Haut, alternativ zu den aktuell verwendeten optisch-basierten Motion- Tracking-Technologien.

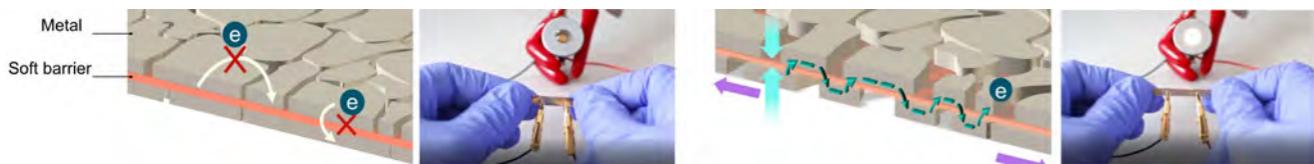


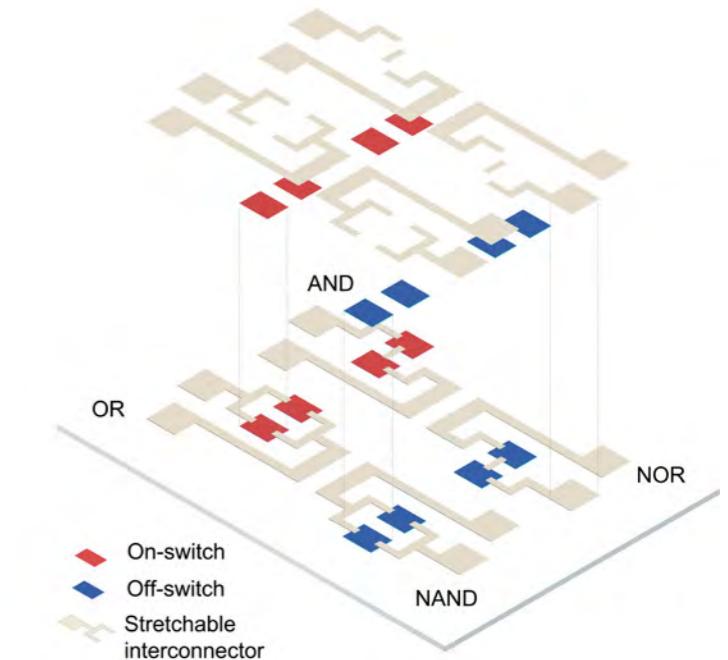
Abb. 1 Durch die zunehmende Dehnung zeigte das Bauteil einen deutlichen Übergang von isolierend zu leitend („Schalter Ein“).

Um hochauflösende Dehnungserfassung realisieren und eine aufgebrachte mechanische Dehnung anstelle elektrischer Signale als Eingangssignal verarbeiten zu können, braucht es mechanische dehnungsgesteuerte Schalter und deren Implementierung in integrierte Logikschaltungen. Dazu wurden von Dr. Chae und seinen Kollegen elastische Leiterbahnen, die überwiegend dehnungsunabhängige Leitungseigenschaft aufweisen – also bei Veränderung der Dehnung keine kontinuierliche Änderung der elektrischen Leitfähigkeit zeigen – mit einem Materialsystem kombiniert, welches stattdessen zwei diskrete Schaltzustände ermöglicht. Bei Belastung soll

der Stromkreis entweder geschlossen oder offen sein. Geschlossen heißt: Übergang von einem isolierenden in einen leitenden Zustand = Funktion „Schalter ein“; Offen: Übergang von einem leitenden in einen isolierenden Zustand = Funktion „Schalter aus“. Der Schlüssel zu einer dehnungsbasierten Logikschaltung ist eine dehnungssensitive elektrische Schaltmöglichkeit als „Einschalter“. Dieses komplementäre Funktionselement zeigt bei Zugbelastung einen Übergang vom isolierenden in den leitfähigen Zustand und funktioniert analog wie ein Transistor in einer herkömmlichen elektronischen Schaltung.



Abb. 2 Hergestellte Sandwichschicht aus Metalldünnschichten mit einer weichen Sperrschiicht dazwischen – Grundprinzip für dehbare mechanosensitive elektrische Komponenten zur Herstellung von Dünnschicht-Logikschaltungen.



Dem Team von Dr. Chae gelang die Herstellung eines dehnungsgesteuerten Schalters, der aus einer Sandwichstruktur besteht, in der zwischen zwei dünnen Metallfilmen eine ultradünne 12 nm dicke elastomere Isolatorschicht eingelagert ist. Der Schlüssel war dabei der Einsatz des ultradünnen Elastomers als Barriere gegen den Tunneleffekt zwischen den zwei elektrisch leitfähigen Metallfilmen. Diese quantenmechanische Barriere kann durch Kompression der elastomeren Schicht, z. B. konkret durch die Querkontraktion infolge des Anlegens einer mechanischen Zugspannung, von den Leitungselektronen überwunden werden (vgl. Abb. 1).

Die Modifikation des Materialsystems durch Variation der Dicke sowohl der Metallfilme als auch der weichen Isolatorschicht ermöglicht die Herstellung aller drei Funktionselemente einer mechanischen dehnungsgesteuerten Logikschaltung: die binären Ein- und Ausschalter und die dehnungsresistenten Leiterbahnen. Durch die Kombination dieser Elemente hat das Team in der Veröffentlichung vier dehbare und dehnungsgesteuerte Logikschaltungen vorstellen können. (Abb. 2).

Damit hat die Technologie großes Potenzial für den

Einsatz in den zukunftsträchtigen Anwendungen der Soft-Elektronik und Soft-Robotik, einschließlich hautverträglicher Elektronik für interaktive Mensch-Maschine-Schnittstellen, sowie in medizinischen Anwendungen wie tragbaren und implantierbaren Monitoringsystemen. ■

Gefördert durch

- Alexander von Humboldt Postdoktoranden-Stipendium
- Diese Arbeit wurde zum Teil durch Projektmittel der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert: DFG Grants MA 5144/9-1, MA 5144/13-1, MA 5144/28-1
- Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren im Rahmen des Helmholtz-Innovationslagers „FlexiSens“ (HIL-A04)

Kooperationspartner

- I. Fotev, Dr. D. Makarov, Dr. A. Pashkin, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.
- Prof. M. Schubert, University of Nebraska-Lincoln
- Dr. W. Choi, University of Michigan
- Dr. J. Wagner, Technische Universität Dresden

Chirale Meteoberflächen: Durchstimmbare Polarisatoren und ultrasensitive Detektion

Patrick T. Probst, Martin Mayer, Vaibhav Gupta, Anja Maria Steiner, Ziwei Zhou, Günter K. Auernhammer, Tobias A. F. König, Andreas Fery

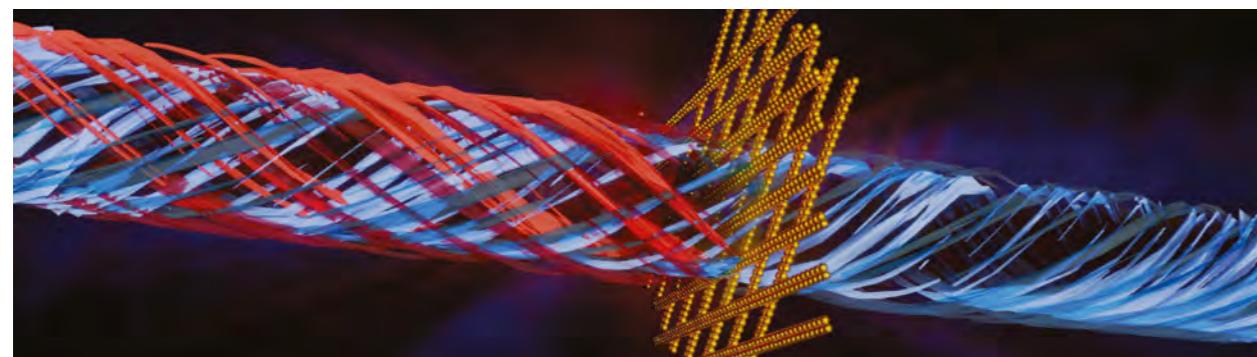


Abb. 1 Chirale Meteoberflächen aus gekreuzten Nanopartikelketten filtern Lichtpolarisationen effizient. Sie lassen nur links-zirkular polarisiertes Licht passieren (blau) und halten rechts-zirkular polarisiertes zurück (rot). © 2021 Martin Mayer.

Die geometrische Eigenschaft der Chiralität bezeichnet die Existenz zweier spiegelbildlicher Objekte, die sich nicht zur Deckung bringen lassen; sich also wie linke und rechte Hand zueinander verhalten. Vor allem die Homochiralität in der Natur fasziniert Menschen seit Jahrhunderten und bringt Weinbergschneckenhäuser sowie Bausteine des Lebens, wie Aminosäuren, mit nur einer Händigkeit hervor. Obwohl ein Paar molekularer Spiegelbilder, der sogenannten Enantiomere, in den meisten ihrer physikalischen Eigenschaften identisch ist (z. B. Schmelzpunkt, Dichte), vermag die charakteristische Wechselwirkung mit Licht, eine Unterscheidung zu treffen. Während ein Enantiomer stärker links-zirkular polarisiertes Licht absorbiert, absorbiert das Spiegelbild

bevorzugt rechts-zirkular polarisiertes (Zirkulardichroismus, CD). Diese Unterscheidung ist in der Pharmakologie von großer Bedeutung, um sicherzustellen, dass nur das Enantiomer mit dem gewünschten Effekt als arzneilicher Wirkstoff verabreicht wird.

In Forschung und Industrie verwendete CD Spektrometer sind aufgrund der zahlreichen rotierbaren Bauteile meist sehr sperrig. Chirale Meteoberflächen, die aus entsprechend angeordneten Metall-Nanopartikeln bestehen, können große optische Aufbauten auf μm -dünne Schichten reduzieren, sofern ihre optischen Eigenschaften kontinuierlich durchgestimmt werden können. Zudem konzentrieren chirale Nanopartikelanordnungen Licht

in ihrer Umgebung und ermöglichen so hochsensitive Detektion von Enantiomeren. Allerdings lassen sich ausgeprägte optische Effekte meist nur durch technologisch aufwendige Nanostrukturierungsverfahren wie der Elektronenstrahlolithographie erzielen.

Wir haben eine Herstellungsmethode entwickelt, um chirale Meteoberflächen kostengünstig und skalierbar herzustellen. Hierzu werden kolloidale Goldnanopartikel in großflächig hergestellten Nanokanälen angeordnet, um parallele Partikelketten zu erzeugen. Durch Stapeln zweier solcher cm^2 -großen Substrate entsteht eine chirale Nanoanordnung gekreuzter Ketten mit links-/rechtshändigem Drehsinn, die selektiv mit zirkular polarisiertem Licht wechselwirken. Dieses System kann wiederholt unter verschiedenen Winkeln gekreuzt und mechanisch komprimiert werden, um alle Einzelheiten des Zirkulardichroismus aktiv zu steuern (Stärke, Vorzeichen und spektrale Position). Dies ermöglicht eine Anwendung als durchstimmbarer Zirkularpolarisator, dessen aktive Schicht nur wenige hundert Nanometer dick ist. Die lokale mechanische Kompression eröffnet einen interessanten Weg zur Erzeugung komplexer spektraler Gradienten, um sie als Filterarray für chipbasierte Spektrometer zu verwenden.

Durch die dichte Anordnung der chiralen Elemente und deren starke plasmonische Kopplung wurde ein Zirkulardichroismus von 11° erreicht, der den anderer kolloidaler Systeme um zwei Größenordnungen übertrifft. Im Gegensatz zu lithographisch erzeugten Meteoberflächen erlaubt das stapelbare Design die Nutzung der besonders in der Zwischenschicht verstärkten superchiralen Felder zur ultrasensitiven Detektion chiraler Moleküle. So konnte in einem Proof-of-concept-Experiment eine 10-fach verstärkte Empfindlichkeit beim Nachweis eines Modellproteins im Vergleich zu herkömmlichen Meteoberflächen erzielt werden. Das erworbene mechanistische Verständnis kann auf andere Systeme ausgeweitet werden und ist der Grundstein für weitere, spannende Neuentwicklungen, die sich nicht auf photonische Anwendungen wie Polarisationselemente oder Sensoren beschränken. ■

Gefördert durch

- DFG: Projektnr. 407193529, 265191195
- Volkswagen Stiftung/Freigeistprojekt
- Elitenetzwerk Bayern
- Alexander von Humboldt-Stiftung

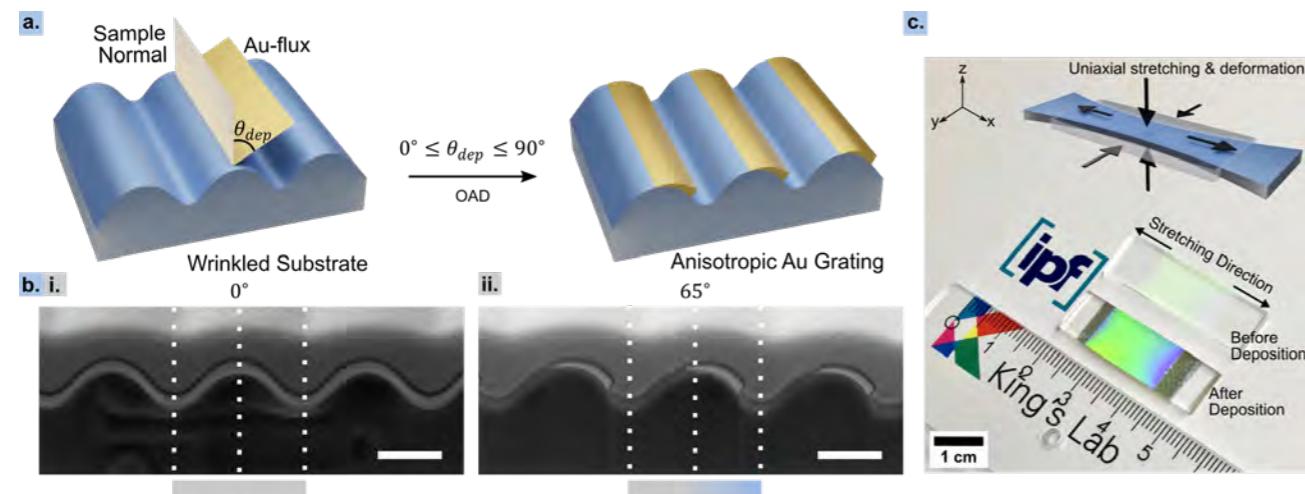
[1] P. T. Probst, M. Mayer, V. Gupta, A. M. Steiner, Z. Zhou, G. K. Auernhammer, T. A. F. König, A. Fery: Nature Materials 20 (2021) 1024-1028

New generation of flexible optical sensors

Anik Kumar Ghosh, Swagato Sarkar, Olha Aftenieva,
Amit Das, Sven Wiesner, Tobias AF König, Andreas Fery

For the next generation of flexible sensors, the key is cost-efficient manufacturing while maintaining the mechanical tunability of optical properties (see figure).¹ Metallic structures can absorb light efficiently or scatter it even more brilliantly. When these structures are fabricated by wrinkling, they acquire new optical properties beyond those of individual nanostructures. For

this purpose, the research groups at IPF uses targeted mechanical instabilities (wrinkling), which enables the fabrication methodology to be viable for large-area production and cost-efficient.^{2,3} The use of wrinkling avoids complex lithographic processes and facilitates the integration of the sensor units into polymer materials.



Grating fabrication employing oblique angle deposition and visualization. (a) The fabrication process of Gold (Au)-grating using oblique angle deposition. (b) Cross-section profile. The gray to light blue gradient bar denotes the area accumulating more and less metal thickness on a single period. The inset scale bars have values of 500 nm. (c) Actual photograph of the sample showing large-scale nanostructuring on PDMS surface, before and after Au deposition (oblique). The in-set picture shows a schematic of stretched PDMS substrate.

Optical sensors require a simple but compact, precise optical detection mechanism based on a laboratory on a chip, where data evaluation can be performed with minimal effort. To accomplish that, we at IPF (The Das, Wiesner, König, and Fery groups) are considering flexible platforms for this purpose using mechanical instabilities and oblique-angle metal evaporation, to the evolving era of "Soft mechanoplasmonics". The substrates consist of centimeter-sized dielectric lattice structures fabricated by plasma oxidation of pre-stressed polydimethylsiloxane (PDMS) film, which gives them inherent flexibility. Subsequently, both continuous and discontinuous 1D metallic gratings were fabricated by vapor deposition of gold at different angles. Optical isotropy (gold surface grating) and anisotropy (gold edge grating) are observed as the difference between forwarding and backward diffraction efficiencies, supported by analytical correlation to the observed orders (see figure). Supported by electromagnetic

modeling, the excitations are experimentally characterized by reflectance and transmittance measurements and their sensing capabilities are demonstrated. The flexible sensor from the IPF is superior to other concepts in terms of sensitivity and creates a new paradigm for cost-effective, large-scale flexible sensors. ■

Sponsors

- DFG Projektnummer 330141, 404818834, SE-600/20-1
640609, 330167-SPP 2100 and 417590517-SFB 1415
- Volkswagen Stiftung/Freigeistprojekt König

Cooperations

- Prof. Dr. O. Sander, Institut für Numerische Mathematik, Technische Universität Dresden
- Prof. Dr. J. Joseph, Photonics Research Lab, Department of Physics, Indian Institute of Technology Delhi, India

- [1] A. K. Ghosh, et al.: Advanced Functional Materials (2021) 2101959
[2] B. A. Glatz, A. Knapp, A. Fery: US 16158386, 2019
[3] Y. Brasse, et al.: Advanced Materials Interfaces 7.5 (2020) 1901678

Herstellung flüssigkeitsdichter ABS-Teile durch 3D-Druck und deren chemische Vernickelung

Philipp Zimmermann, Jürgen Nagel, Christoph Schammel

Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) wird aufgrund der hohen Schlagzähigkeit und der geringen Dichte im Maschinen- und Fahrzeugbau sowie in der Sanitär- und Elektrotechnik eingesetzt. Aus Designgründen und zum Schutz vor Witterungseinflüssen werden ABS-Formteile mit galvanisch abgeschiedenen Metallschichten überzogen. Der etablierte Prozess der Kunststoffgalvanisierung ist praktisch nur ABS zugänglich und basiert wesentlich auf der Beizung der Kunststoffoberfläche mit Chrom-(VI)-Verbindungen (Dichromatverfahren) gefolgt von verschiedenen Metallisierungsbädern. Der Einsatz von Chrom-(VI) ist jedoch durch die REACH-Verordnung seit September 2017 in der EU nur noch mit einer Ausnahmegenehmigung erlaubt. Am IPF wurde bereits 2018 ein alternatives Chrom-(VI)-freies Vorbehandlungsverfahren für die Metallisierung spritzgegossener ABS-Formteile entwickelt [1].

ABS ist auch ein Standardmaterial für das Fused Filament Fabrication (FFF) genannte 3D-Druckverfahren. Ein CAD-Modell des zu druckenden Körpers wird mit

Hilfe einer Slicersoftware in einzelne Schichten, die sogenannten Layer, zerlegt und dann Schicht für Schicht gefertigt. Jeder Layer wird durch Ablage aufgeschmolzener ABS-Stränge gebildet, wobei zwischen Außenwänden und innerer Füllung unterschieden wird. Dieses additive Fertigungsverfahren zeichnet sich durch hohe Freiheiten im Bauteildesign, sowie kostengünstige und schnelle Produktion von Prototypen und Kleinserien aus.

Das am IPF entwickelte Chrom-(VI)-freie Metallisierungsverfahren ist jetzt auf 3D-gedruckte ABS-Prüfkörper erweitert worden. Dazu wird ein Filament aus einem für die Galvanik geeigneten ABS erstellt. Die damit gedruckten Bauteile können erfolgreich mit einer geschlossenen, glänzenden und haftfesten Nickelschicht überzogen werden. Es sind jedoch Fehlstellen im Metallüberzug zu erkennen, welche durch austretende Flüssigkeit aus dem Bauteilinneren verursacht werden. Dadurch kommt es auch zur Verschleppung von Galvaniflüssigkeiten zwischen den Galvanikbädern.

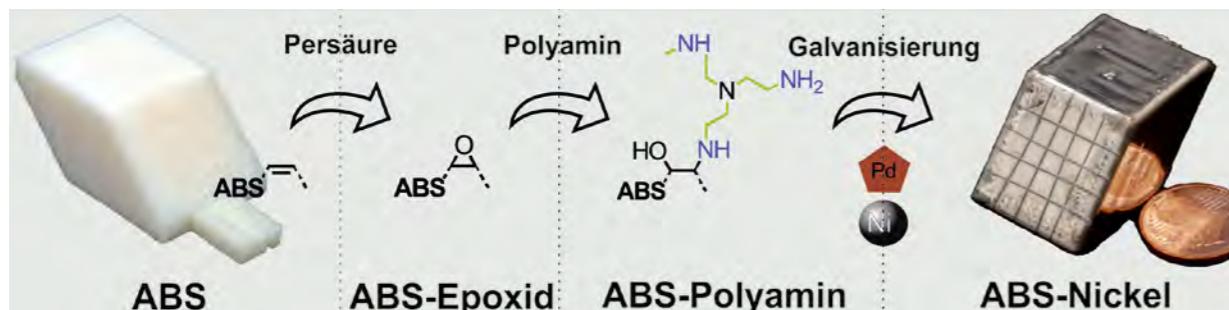


Abb. 1 Schematische Darstellung der Chrom-(VI)-freien Funktionalisierung und Metallisierung eines mittels FFF gefertigten ABS-Prüfkörpers

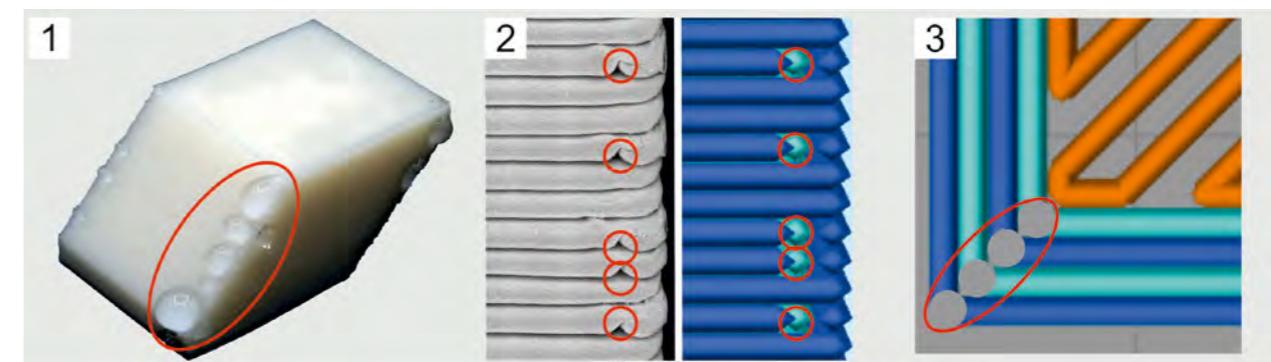


Abb. 2 1) ABS-Prüfkörper mit austretenden Wassertropfen nach der Dichtigkeitsprüfung; 2) ABS-Prüfkörperkante: Links REM-Aufnahme mit Poren (rot), Rechts Slicermodell mit Layerstartpunkten (rot); 3) Slicerdarstellung eines Prüfkörperlayers mit Startpunkten der Layerwände (rot)

Dieses begründet die Herstellung von flüssigkeitsdichten ABS-Formteilen durch die Definition geeigneter Druckparameter.

ergibt, dass die Positionen der Poren an den Bauteilkanten mit den Startpunkten der gedruckten Wände jedes Layers übereinstimmt.

Zur Beurteilung der Flüssigkeitsdichtigkeit werden Bauteile, die für das FFF Verfahren kritische Geometrien wie scharfe Kanten, Schrägen und Überhänge aufweisen, in Wasser getaucht und mit 2 bar Prüfdruck beaufschlagt. Anschließend wird die Masse an eingedrungenem Wasser ermittelt. Es zeigt sich, dass trotz unterschiedlicher Prozessparameter, wie Schmelztemperatur, Druckgeschwindigkeiten und Layerhöhen keine dichten Bauteile erzeugt werden können. Durch Rasterelektronenmikroskopie und Bildanalyseverfahren werden Poren auf den Prüfkörperoberflächen identifiziert, durch welche das Wasser in die Prüfkörper eindringt. Die weitere Optimierung der Prozessparameter führt zu im Wesentlichen dichten Wänden und Kanten. Als kritisch verbleiben aber stets einige Kanten der Prüfkörper. Die Porenanalyse

Eine Layerwand besteht aus mehreren Kunststoffbahnen, wobei jede Bahn einen Startpunkt besitzt. Diese Startpunkte sind zwar über alle Layer hinweg entlang der Bauteilkanten zufällig verteilt, innerhalb eines Layers jedoch für alle Wandbahnen an der gleichen Position. Somit entstehen an den Bahnstartpunkten durchgängige Poren. Durch Anpassungen des gesuchten Prüfkörpermodells ist es schließlich möglich, auch die Startpunkte der Wandbahnen eines Layers zufällig zu verteilen. Damit können erfolgreich flüssigkeitsdichte ABS-Formteile hergestellt werden. ■

Kooperationspartner
Biconex GmbH

[1] D. Lehmann, J. Nagel, P. Zimmermann, K. Schlenstedt: Galvanotechnik (2018) 43-48

Self-powered tactile sensing and energy harvesting from commercial rubbers

Amit Das, Injamamul Arief, Jürgen Nagel, Sven Wiesner

Wearable electronic devices and health monitoring-cum-sensing platforms encountered a sudden boom, triggered by remote working in the midst of global pandemic. For the last few years, much coveted internet of things (IoT) and artificial intelligence (AI) have also contributed tremendously to the development of implantable electronics and e-skin devices. Several alternatives have already sprung up to meet the demand for green, flexible and stable power sources. Triboelectric nanogenerators (TENGs) are most notable in terms of converting ambient mechanical energy to scalable electrical output and have already been regarded as promising alternatives to existing solutions for self-powered tactile and sensing device integration. Originating from contact electrification and

electrostatic induction between dissimilar triboelectric surfaces, TENGs are credited with low cost, easy fabrication, high output power and wide range of materials (stretchable soft elastomers e.g., polydimethyl siloxane (PDMS), natural rubber latex etc.) for the construction of nanogenerators. In this context, commercial rubber based self-powered tactile sensor-based electronic skin derived from triboelectric nanogenerator appears to be one of the most worthwhile alternatives for smart health monitoring appliances in terms of sustainable energy harvesting. Simultaneously, owing to ultra-stretchability (of up to ~200 % for the micropatterned fluoroelastomer-based TENG) and sensitivity of rubber based TENG, it can be suitable for imitating human skin in terms of touch sensing capability.

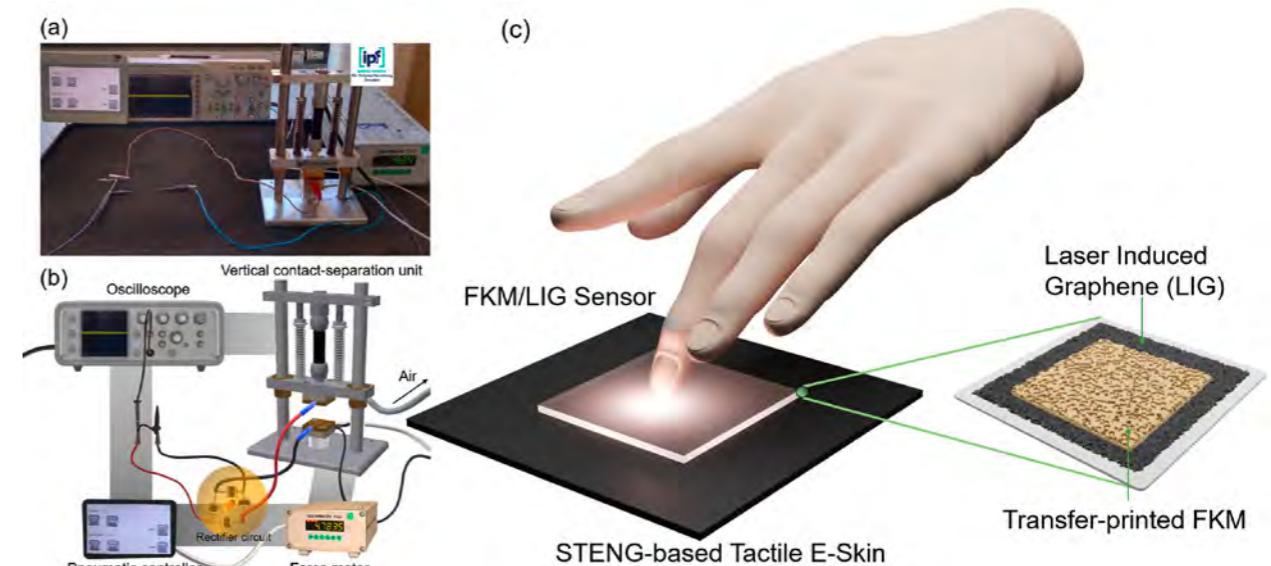


Fig. 1 (a, b) Detailed measurement setup for the triboelectric characterization of the STENG/TENG. (c) Schematic presentation of artificial electronic skin based on transfer-printed micropatterned fluoroelastomer (FKM) film and laser induced graphene electrode

We reported a metal-free single electrode TENG (STENG) comprising of transfer printed micropatterned high fluorine-content fluoroelastomer (FKM) and laser induced graphene (LIG) derived by *in situ* simultaneous curing-cum-embossing method for the first time. The as-fabricated STENG module demonstrates remarkable output in terms of maximum power density of 715 mW/m^2 , open circuit voltage and maximum current of 148 V and $9.6 \mu\text{A}$ respectively for a matching load resistance of $10 \text{ M}\Omega$. Additionally, the wearable STENG sustained high electrical output up to 200 % elongation. Furthermore, a dielectric-to-dielectric TENG-based tactile sensor is also constructed using FKM (negative tribolayer) and TiO_2 deposited micropatterned PDMS (as positive layer). Resulting

tribo-sensor exhibits very high motion and force sensitivity. It is also capable of detecting mild human touch that effectively simulates human skin with high sensitivity and therefore, can be modified for utilizing in potential electronic skin applications in soft robotics and human-machine interfaces. ■

Cooperations

Leibniz Universität Hannover,
Institut für Dynamik und Schwingungen,
Institut für Mechatronische Systeme,
Institut für Montagetechnik

- [1] S. S. Banerjee, I. Arief, R. Berthold, M. Wiese, M. Bartholdt, D. Ganguli, S. Mitra, S. Mandal, J. Wallaschek, A. Raatz, G. Heinrich, A. Das: Applied Materials Today 25 (2021) 101219
- [2] T. S. Natarajan, S. Finger, J. Lacayo-Pineda, E. S. Bhagavatheswaran, S. S. Banerjee, G. Heinrich, A. Das: ACS Applied Electronic Materials, 2 (2020) 12, 4054-4064
- [3] I. Arief, P. Zimmermann, S. Hait, H. Park, A. K. Ghosh, A. Janke, S. Chattopadhyay, J. Nagel, G. Heinrich, S. Wießner, A. Das: Elastomeric Micowell-Based Triboelectric Nanogenerators by *in situ* Simultaneous Transfer-Printing, Accepted for publication in Materials Horizons (DOI: 10.1039/D2MH00074A)

Transverse isotropy in magneto-active elastomers

Sanket Chougale, Dirk Romeis, Marina Saphiannikova

Actuatoric functionalization of elastomers can be implemented in different ways. On the one hand, complex mechanical deformations are achieved in azobenzene-containing liquid-crystalline elastomers irradiated with UV or visible light. On the other hand, the introduction of micrometer-sized ferromagnetic or ferrite particles into the elastomer matrix gives a high level of sensitivity to magnetic fields. For this material class, the conventional term "magneto-active elastomers" (MAE) is gradually being established. The specific composition of an MAE sample ranges from the use of magnetically hard or magnetically soft filler particles to mixtures of both types. Due to the strong magneto-mechanical coupling, MAEs show many different effects, such as magneto-induced rotation, deformation, significant increase in dynamic and in static moduli depending on strength and orientation of the external magnetic field. These properties make MAEs very interesting in a variety of technical implementations. In particular, applications for actuators and sensors, energy harvesting, micro-robots and -pumps, as well as prosthetic and orthotic devices have been proposed.

Semi-analytical microscopic models based on dipole approximation are very promising for modeling the magneto-mechanical behavior of MAEs. Despite their simplifications, these models are in excellent qualitative and quantitative agreement with detailed FEM calculations [1].

Recently, an efficient modular approximation of the magnetization curves for realistic sample shapes and particle distributions has been achieved [2].

Based on these developments, a generalized transversely isotropic material model was worked out and converted into a constitutive equation. In this context, rotation, deformation, uniaxial strain and different shearing geometries of MAE samples in applied field were investigated for isotropic particle distributions [3,4]. Samples with anisotropic particle distributions are currently being studied.

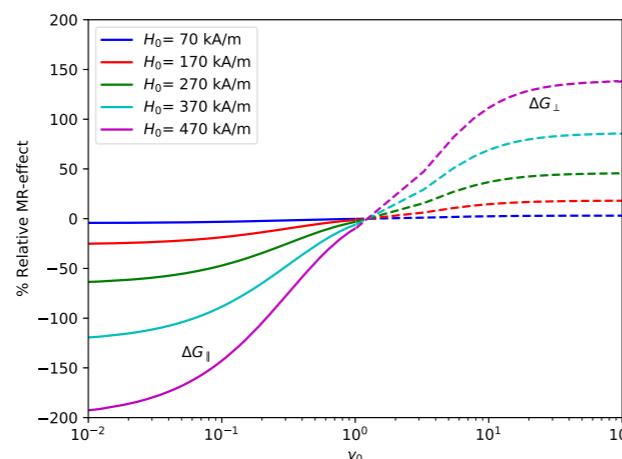


Fig. 1 The magneto-rheological (MR) effect along (solid lines) and perpendicular (dashed lines) to the field direction as a function of the initial aspect ratio γ_0 .

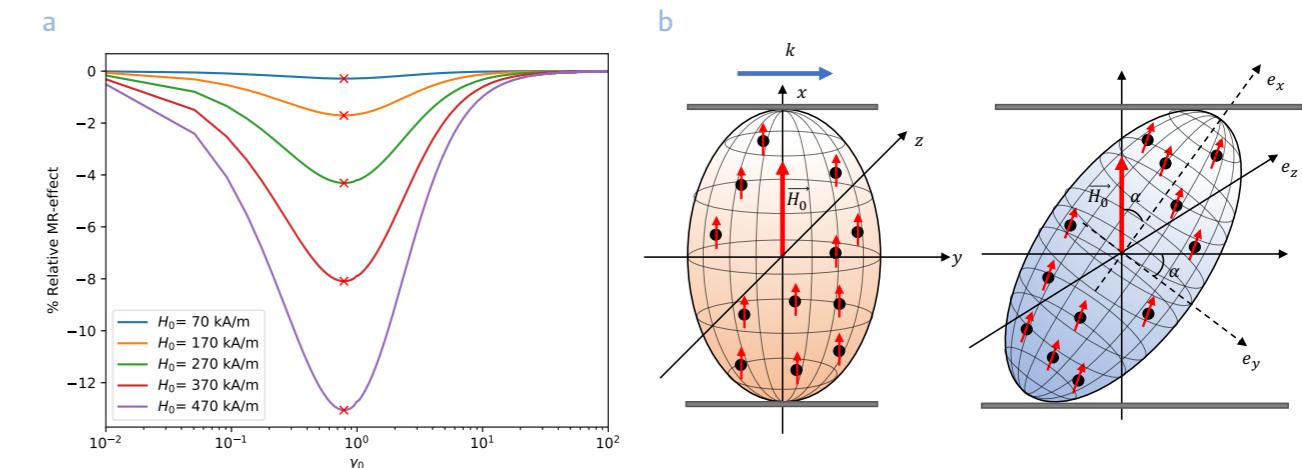


Fig. 2 (a) The MR-effect in the plane perpendicular to the applied magnetic field. (b) Schematics of the shear deformation in the same plane: The applied field, magnetization and main axis of a sheared sample are no longer aligned causing a magnetically induced torque.

First, we could show that MAEs containing isotropic particle distribution exhibit a strong shape effect and pronounced magneto-mechanical anisotropy in elongation [3]. Considering ellipsoidal isotropic MAEs, a material model characterized by shape dependent constitutive parameters is developed [3,4]. The model predicts that a strong magnetorheological (MR) effect can be achieved already at moderate field strengths H_0 over a wide range of different initial shapes, see Fig.1.

The shear deformations are considered in all three relevant geometries with respect to the applied field direction and result in distinct shear moduli. Thus, analogous to classical transversely isotropic materials, ellipsoidal magneto-active elastomers have two different elastic moduli and three distinct shear moduli regarding the orientation of the applied magnetic field [3,4]. The role of the magnetically induced torque (see Fig. 2) on

the symmetry of the Cauchy stress tensor has been addressed, and the modified symmetry conditions have been used to construct the symmetric total stress tensor for isotropic MAEs.

The material model can be implemented in the design and simulation of soft actuators in which ellipsoidal anisotropic MAE inclusions are used for local stiffening purposes. ■

Sponsor

SPP 1713, DFG Graduiertenkolleg 2430

Cooperations

- Prof. M. Kaliske, TU Dresden
- Prof. E. Y. Kramarenko, Lomonosov Moscow State University, Russia

- [1] P. Metsch, D. Romeis, K.A. Kalina, A. Raßloff, M. Saphiannikova, M. Kästner: Materials 14 (2021) 434
- [2] D. Romeis, M. Saphiannikova: Polymers 13 (2021) 1372
- [3] S. Chougale, D. Romeis, M. Saphiannikova: J. Magn. Magn. Mater. 523 (2021) 167597
- [4] S. Chougale, D. Romeis, M. Saphiannikova: Materials 14 (2021) 3958

Regulating the translocation of DNA through nanopores

Jens-Uwe Sommer, Huaisong Yong, Holger Merlitz

Polymers display novel phase transitions in multi-component solvents due to the competition of interactions and the possible ways additional components can modify the liquid-liquid phase transition of a binary solution. A particularly interesting example is co-nonsolvency, which occurs if two good and miscible solvents cause segregation of the polymer phase. The most common example is Poly(N-isopropylacrylamide) (PNiPAAm) in water-alcohol mixtures. A theoretical explanation is based on the preferential solvation of the polymer in alcohol which induces monomer-alcohol-monomer bridges at low alcohol concentrations [1]. This concept has been generalized to brushes and solutions [2]. For brushes the model predicts a non-monotonous behavior of the brush height as a function of the volume fraction of cosolvent with a sharp collapse of the height at low alcohol concentrations, which was confirmed both in simulations and in experiments [3].

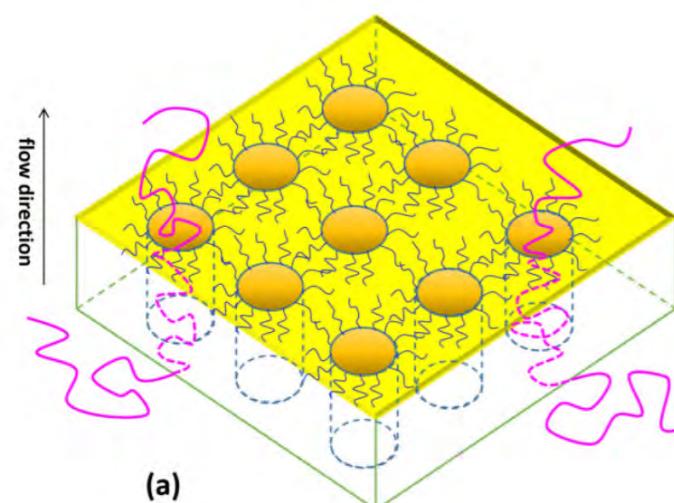
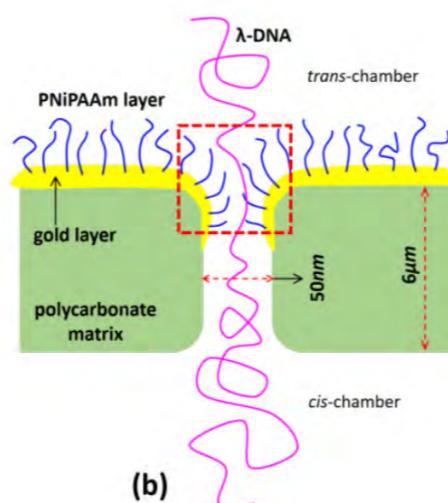


Fig. 1 Sketch of the perforated membrane decorated with a PNiPAAm brush. Adopted from Ref [5]

The interesting question is whether co-nonsolvency can be harnessed for applications where the change of chemical composition causes a switch in other physical properties. Interestingly, Nature provides us with an example for such a mechanism, namely the function of the nuclear pore complex: Here the translocation of bio-macromolecules between the cytoplasm and the nucleus needs to be regulated such that the channel remains closed unless being temporarily gated by exportin/importin proteins. Since the nuclear pore is crowded by a brush-like layer of intrinsically disordered proteins (so-called FG nups) it has been argued that these helper proteins act similar like a cosolvent and can cause a collapse of the brush and thus an opening of the nuclear pore [4]. We note that such a switching as well as other phase transitions in living systems have to take place at constant temperature, highlighting the role of multiple components to induce the transitions.



Together with our project partners from the École Normale Supérieure de Lyon we were able to mimic this function of a nuclear pore complex using a polycarbonate membrane containing nanopores with a size of 50 nm, which was decorated with a PNiPAAm-brush, see Fig.1. As an example for the application of the physio-chemical switch, a pressure-driven translocation of λ-DNA has been used. To induce the switching we have admixed a fraction of ethanol in the buffer solution for the DNA. The translocated and fluorescently labeled DNA

molecules were recorded. As can be seen in Fig.2, the number of translocation events displays a maximum (corresponding to a widening of the channels) at low concentrations of the alcohol only. Since the translocation of a large polymer chain through a nano-channel can be understood by the decrease of conformation entropy in the confined state, we were able to calculate the effective hydrodynamic radius of the brush-decorated pores and compare these results with the height of a corresponding flat brush as measured by ellipsometry.

By optimizing the grafting process and degree of polymerization, such a set-up can be used as a switchable valve for polymers, nanoparticles or proteins in future applications. ■

Sponsor

DFG project SO 277/17

Cooperations

- Dr. F. Montel, Dr. B. Molrette,
Université de Lyon, École Normale Supérieure de Lyon,
Université Claude Bernard, CNRS, France
- Dr. M. Sperling, Fraunhofer-Institut für Angewandte
Polymerforschung, Potsdam-Golm, Germany

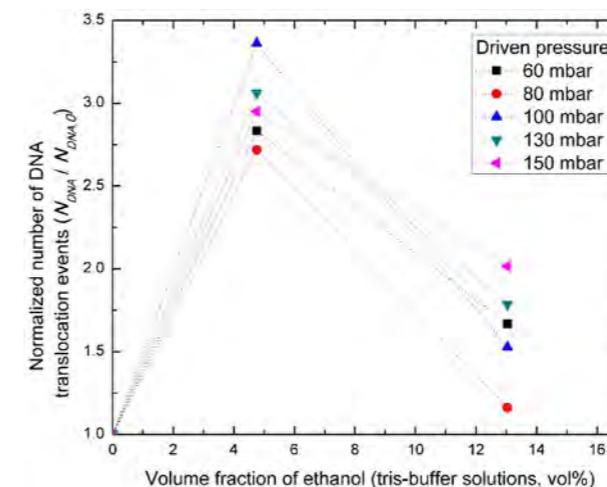


Fig. 2 Normalized number of translocation events of DNA through the membrane as a function of volume fraction of ethanol in the buffer (data are same as in Ref.[5])

[1] D. Mukherji, C.M. Marques, K. Kremer: *Nature Communications* 5 (2014) 4882

[2] J.-U. Sommer: *Macromolecules* 50 2219 (2017); *Macromolecules* 51 (2018) 3066

[3] Jahresbericht IPF 2020

[4] R. D. Coalson, A. E. Nasrabad, D. Jasnow, A. Zilman: *J. Phys. Chem. B* 119 (2015) 11858

[5] H. Yong, B. Molrette, M. Sperling, F. Montel, J.-U. Sommer: *Macromolecules* 54 (2021) 4432



PROZESSKONTROLIERTE STRUKTURMATERIALIEN

Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden

Viele Eigenschaften polymerer Materialien werden durch die bei der Prozessierung ablaufende Bildung von Strukturen auf unterschiedlichen Längenskalen festgelegt. Dies ermöglicht es, bei geeigneter Führung des Verarbeitungsprozesses gezielt solche Strukturen zu bilden, aus denen gewünschte Werkstoff- und Produkteigenschaften resultieren. Das IPF fokussiert dabei auf ein tiefgreifendes Verständnis der Struktur-Verarbeitungs-Eigenschafts-Beziehung als Basis für eine gezielt gesteuerte Strukturbildung im Produktentstehungsprozess, die bereits auf der Mikroskala beginnt.

So werden am Institut Polymerformulierungen mit wesentlich unterschiedlichen Eigenschaften (u. a. hydrophil-hydrophob) mittels additiver Fertigung im Mikromäßstab zu einem funktionalen Multimaterial verarbeitet. Für Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe machen aktuelle Forschungsarbeiten am IPF deutlich, dass die vorliegenden Erkenntnisse zur Strukturbildung auf der Mikroskala erweitert und ergänzt werden müssen. Am Beispiel des oftmals verwendeten Polylactids (PLA) zeigt sich, dass die dort vorliegende sehr langsame Kristallisationsgeschwindigkeit zu völlig anderen Prozessstrategien führt.

Die Entwicklung neuartiger technischer Bauteile mit anspruchsvollen mechanisch-strukturellen Eigenschaften erfordert darüber hinaus die Betrachtung von Materialformulierungen und ihrer Verarbeitbarkeit zur Steuerung finaler Produkteigenschaften. In diesem Zusammenhang werden solche maßgeschneiderten Formulierungen erforscht, die mittels

hochauflösender Stereolithographie erstmalig zu elastischen Polymerbauteilen mit < 50 µm Strukturauflösung verarbeitet werden können. Sie eignen sich somit beispielsweise für die Entwicklung pneumatisch schaltbarer Mikroventile in Flusszellen als gelungenes Beispiel der Systemintegration von Polymermaterialien.

Für Anwendungen im Bereich der Batterietechnologie wurden anhand von Folienextrusions- und Verstreckprozessen wichtige Erkenntnisse über das Wechselspiel zwischen Verarbeitungsbedingungen, Füllstofforientierung und Netzwerkbildung in Schmelzeströmen anhand der Anisotropie der elektrischen Eigenschaften gewonnen. Entsprechend wurden Folien basierend auf Polypropylen (PP) und Polyvinylidenfluorid (PVDF) entwickelt und als elektrische Durchleiter in planaren Bipolarbatterien eingesetzt.

Die Strukturbildung durch eine geeignete Prozessführung setzt sich auf der Makroskala fort. Bei Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) können auf diesem Wege durch unterschiedliche Werkstoffe und Strukturen örtlich verschiedene Funktionen in Bauteile integriert werden. Eine attraktive Prozessierung erlaubt hierzu generative Verarbeitungsverfahren, bei denen im Produktionsverlauf eines Bauteils an verschiedenen Orten gezielt Werkstoffe mit stark unterschiedlichen Eigenschaften appliziert werden. Dazu wurde am IPF das generative *TFPprint* (Tailored Fibre Placement)-Verfahren zur Herstellung von Multi-Matrix-FKV entwickelt, was die Einsatzmöglichkeiten von FKV erheblich erweitern kann. ■



Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel

Prof. Dr.-Ing. Sven Wiesner

Prof. Dr. Andreas Fery

Prof. Dr. Brigitte Voit

Entwicklung von p- und n-leitenden Kompositen für thermoelektrische Anwendungen durch geeignete Auswahl der Polymermatrix und des Füllstofftyps

Beate Krause, Petra Pötschke

Im Rahmen von Strategien, die auf die Energiegewinnung aus nachhaltigen und erneuerbaren Energiequellen setzen, kann die Transformation von Energie aus Abwärme in elektrische Energie eine wichtige Rolle spielen. Der dabei ausgenutzte Seebeck- oder thermoelektrische (TE) Effekt, erstmals 1823 von T. J. Seebeck gefunden, beschreibt die Generierung einer Thermospannung beim Auftreten eines Temperaturunterschieds an den Enden eines elektrisch leitfähigen Materials. Für den Aufbau eines TE-Generators (TEG) ist die Kombination aus p-leitenden Materialien (positiver Seebeck Koeffizient S, Lochleitung) und n-leitenden Materialien (negativer S-Wert, Elektronenleitung) notwendig.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden TEGs aus Metallen oder intermetallischen Verbindungen hergestellt, z. B. aus seltenen Erden, die kostspielig und teilweise toxisch sind, eingeschränkte Verfügbarkeit besitzen und energieaufwändig zu verarbeiten sind. Als Alternative dazu werden am IPF TE-Materialien entwickelt, die auf leitfähigen thermoplastischen Polymerkompositen basieren. Diese haben verschiedene Vorteile gegenüber Metallen. So können Polymerkomposite in vielfältige Geometrien geformt werden und sind flexibel, wodurch neuartige Designs für TEGs entwickelt werden können. Des Weiteren sind die gute Verfügbarkeit, der

geringe Preis, die Rezyklierbarkeit, die Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen, das geringe Gewicht sowie eine leichte Verarbeitbarkeit großer Mengen von Vorteil. Allerdings sind der Anwendungstemperaturbereich (-20°C bis 240°C), die elektrische Leitfähigkeit und die Seebeck-Koeffizienten deutlich geringer im Vergleich zu den metallischen Materialien.

Der Fokus der Untersuchungen am IPF liegt auf schmelzgemischten Kompositen, die mit Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) elektrisch leitfähig ausgestattet werden. Zunächst wurden TE-Eigenschaften der CNTs untersucht (Abb. 1) [1-4]. Dabei zeigten einwandige CNTs (SWCNTs) die höchsten positiven Seebeck-Koeffizienten im Vergleich zu mehrwandigen CNTs (MWCNTs), was auf deren geringere Defektdichte zurückzuführen ist. Der Einbau weiterer chemischer Elemente kann die TE-Eigenschaften der CNTs beeinflussen. So führte eine Modifizierung von SWCNTs mit Bor zu einer Erhöhung des Seebeck-Koeffizienten im Vergleich zum Ausgangsmaterial [1]. Im Gegensatz dazu wurden negative S-Werte gemessen, wenn Stickstoff bei der MWCNT-Synthese anwesend war [2, 3]. Außerdem wurden Kohlenstoffnanofasern (CNFs) als elektrisch leitfähige Füllstoffe untersucht, für die je nach Synthesebedingungen positive oder negative S-Werte ermittelt wurden [5].

Die verschiedenen CNTs und CNFs wurden in unterschiedliche thermoplastische Matrices mittels Schmelzzeichen eingearbeitet. Dabei wiesen die Komposite immer den Ladungstyp auf, den die zugesetzten MWCNTs bzw. CNFs hatten [3-5]. Dieser Zusammenhang konnte auch für Epoxid/MWCNT-Komposite gezeigt werden [2]. Im Gegensatz dazu führte die Verwendung von p-leitenden SWCNTs je nach der verwendeten Polymermatrix zu Kompositen mit positivem oder negativem Seebeck-Koeffizient (Abb. 2) [2, 4]. Negative S-Werte werden insbesondere dann erhalten,

wenn die Matrixpolymere Stickstoff enthalten, z. B. als Amid- oder Nitril-Gruppen. Damit können durch gezielte Kombination von Füllstoff und Polymer Komposite beider Leitungstypen hergestellt werden. Diese Forschungsergebnisse bilden die Basis für die Konstruktion von TEGs basierend auf polymeren Materialien in verschiedenen Designs.

Die Autoren danken für die Unterstützung der Abt. Geräteentwicklung und Konstruktion bei Design, Aufbau und Software des TE-Messstandes. ■

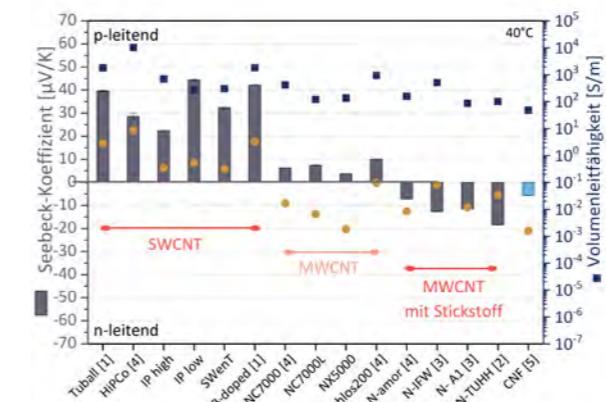


Abb. 1 TE-Parameter für verschiedene CNT-Typen

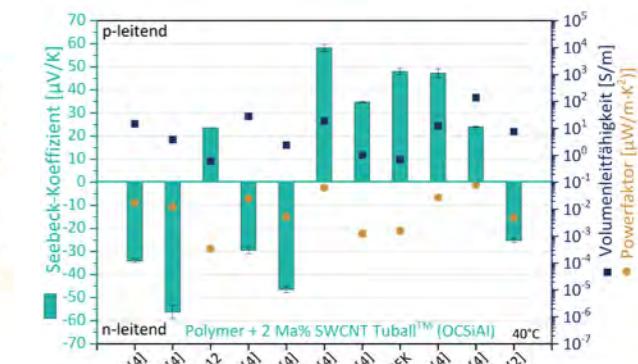


Abb. 2 TE-Parameter für verschiedene Komposite

- [1] B. Krause, V. Bezugly, V. Khavrus, L. Ye, G. Cuniberti, P. Pötschke: Energies 13 (2020) 394
- [2] K. Kröning, B. Krause, P. Pötschke, B. Fiedler: Nanomaterials 10 (2020) 1144
- [3] B. Krause, I. Konidakis, M. Arjmand, U. Sundararaj, R. Fuge, M. Liebscher, S. Hampel, M. Klaus, E. Serpetzoglou, E. Stratakis, P. Pötschke: J. Compos. Sci. 4 (2020) 14
- [4] B. Krause, C. Barbier, J. Levente, M. Klaus, P. Pötschke: J. Compos. Sci. 3 (2019) 106
- [5] J. Paleo, B. Krause, M. F. Cerqueira, M. Melle-Franco, P. Pötschke, A. M. Rocha: Polymer Journal 53 (2021) 1145–1152

Improved piezoresistive strain sensor characteristics of conductive polymer composites by using polymer blends as matrix

Xinlei Tang, Jürgen Pionteck, Petra Pötschke

Conductive polymer composites (CPCs) are inexpensive and easy-to-process materials with controllable properties. The electrical conductivity of CPCs results from interconnected conductive fillers and can be controlled by varying the constituents of the CPCs, their concentrations, preparation conditions, and other factors. The dependence of the conductivity of CPCs on outer conditions like temperature, atmosphere, humidity or pressure makes them suitable for the use as sensors analyzing different stimuli. When stress is applied to the material, the shape of the specimen and the connectivity of fillers and thus the conductivity changes, which can be measured and correlated to the applied force or strain. Typically, tensile deformation increases the filler-filler distances and in case of anisotropic fillers it causes orientation, both increasing the electrical resistance. The intensity of the changes in resistivity, expressed as $\Delta R/R_0$ (ΔR : resistance change; R_0 : initial resistance), correlates with the applied stress or strain, thus enabling the use of CPCs as piezoresistive sensors. In ideal case, $\Delta R/R_0$ correlates linearly with stress or strain.

Unfortunately, CPCs exhibit non-linear, exponential-like dependencies of R on the applied strain. Thus, a general need for the development of CPC-based sensors is to increase the linearity of the sensing signal combined with high signal intensity. For that, we used carbon nanotubes (CNTs) as fillers and polymer blends as matrix. The blends were based on semi-crystalline poly(vinylidene fluoride) (PVDF) with either amorphous poly(methyl methacrylate) (PMMA) [1] or semi-crystalline poly(butylene succinate) (PBS) [2]. Both blend combinations are miscible in the molten state, and on cooling crystallization-driven phase separation occurs, which forces the CNTs to locate in the amorphous phases of the blends. The crystallization of the semi-crystalline components is affected by the second polymer as well as by the filler. Furthermore, it depends on the composition and the preparation conditions. In this way, different morphologies with varying dispersion and distribution states of the CNTs can be achieved, which determine the conductivity and strain sensing behavior.

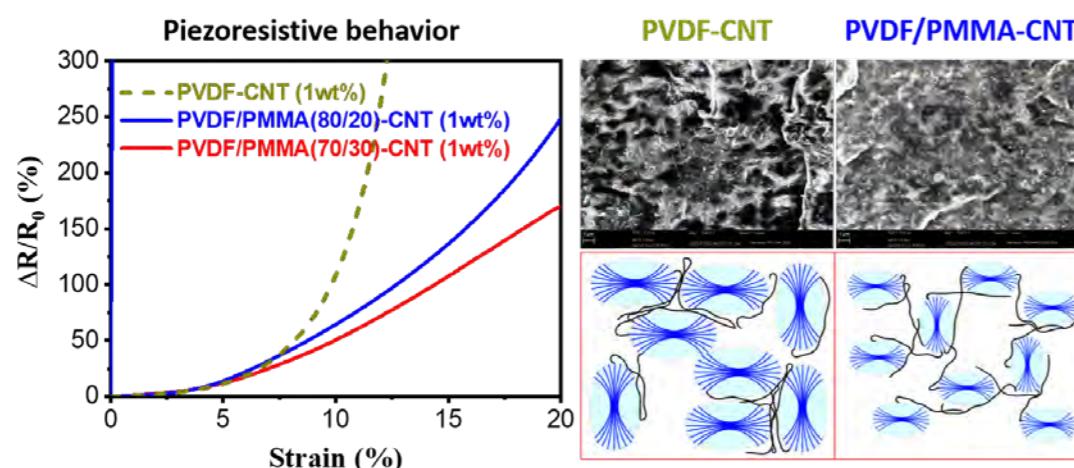


Fig. 1 Improved piezoresistive strain sensing behavior of PVDF-CNT by addition of PMMA, caused by changed morphology (SEM), and scheme of network structure in PVDF-CNT and PVDF/PMMA-CNT.

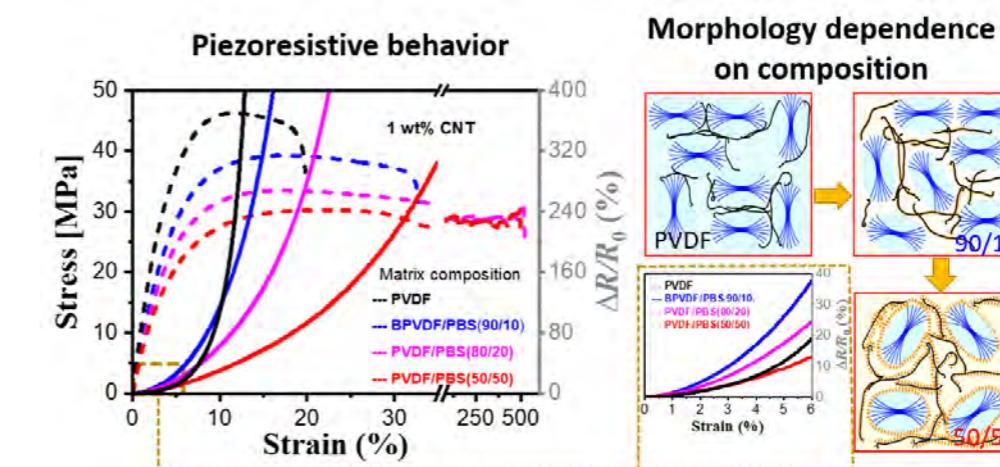


Fig. 2 Effect of composition on mechanical and piezoresistive behavior of PVDF/PBS-CNT composites and on the CPC morphology and CNT distribution.

In PVDF/PMMA-CNT blend composites, the presence of PMMA hampers the PVDF crystallization, resulting in smaller crystallites and more homogeneous CNT dispersion in the mixed amorphous phase. This causes simultaneously improved toughness, conductivity, and sensing characteristics. When comparing PVDF/PMMA-CNT with PVDF-CNT, the blend composites exhibit higher sensitivity at lower strains and less steep exponential growth of $\Delta R/R_0$ at higher strains, with other words improved linearity (Fig. 1).

The addition of flexible PBS to PVDF-CNT composites improves the stretchability and thus the suitable strain range for application as piezoresistive sensors. In PVDF/PBS-CNT blend composites, the crystallinity of the PVDF

is higher than in the PVDF-CNT composites, but less affected by the blend composite composition than the PBS crystallinity, which strongly increases with the PBS content. In the blend composites, the CNTs locate in the mixed polymer amorphous region forming effective conductive paths with comparatively low percolation concentrations. The concentration-dependent network structure allows to tune the sensing characteristics to high sensitivity at low strains for lower PBS contents to larger ranges of linearity at higher PBS contents, thus giving the opportunity to adapt the sensor to specific applications (Fig. 2). ■

Sponsor

China Scholarship Council (grant 201606320241)

- [1] X. Tang, P. Pötschke, J. Pionteck, Y. Li, P. Formanek, B. Voit: ACS Appl. Mater. Interfaces 12 (2020) 43125–43137
[2] X. Tang, J. Pionteck, B. Krause, P. Pötschke, B. Voit: ACS Appl. Mater. Interfaces 13 (2021) 43333–43347

Embedment of quantum dots and biomolecules in a dipeptide hydrogel formed *in situ* using microfluidics

Yue Li*, Max J. Männel, Nicolas Hauck, Himanshu P. Patel, Günter K. Auernhammer, Soosang Chae, Andreas Fery, Junbai Li*, Julian Thiele*

As low-molecular-weight hydrogelators, dipeptide hydrogel materials are suited for embedding multiple organic molecules and inorganic nanoparticles. We have exploited a new, simple approach for the continuous fabrication of dipeptide-based hydrogels and hydrogel/QD-hybrid materials inside microfluidic channels. Water-soluble quantum dots (QDs) as well as premixed porphyrins and a dipeptide (N-fluorenylmethoxycarbonyl diphenylalanine, Fmoc-FF) in dimethyl sulfoxide (DMSO) are injected into a Y-shaped microfluidic junction. At the DMSO/water interface, the confined fabrication of a dipeptide-based hydrogel is then initiated. Thereafter, the as-formed hydrogel flows along a meandering microchannel in a continuous fashion, gradually completing gelation and QD entrapment. Rheological analysis reveals that the organic porphyrin is co-assembled into nanofibers with Fmoc-FF, while inorganic nanoparticles are entrapped and adsorbed on the surface of the nanofibers. The dynamic assembly can be monitored inside the microfluidic channels *in situ*, showing that QDs are gradually entrapped and eventually form a hybrid hydrogel exhibiting uniform entrapment of QDs. Thus, by combining “bottom-up” self-assembly and “top-down” microfluidic control, the co-assembly of multiple components is precisely controlled avoiding heterogeneities that are typically encountered in macroscopic hybrid gel formation. Furthermore, energy transfer by Förster resonance energy transfer (FRET) can be confirmed in our supramolecular hybrid system, exhibiting energy transfer from inorganic QDs to the porphyrin, further

illustrating the extreme small distance between them and the superiority of low-molecular-weight dipeptide hydrogelator to efficiently entrap and integrate QDs. Moreover, by tuning the mixing ratios of the organic and aqueous phases in the microfluidic platform, we obtain hydrogels with gradually tunable properties within one material, indicating the feasibility of microfluidics-based continuous hydrogel formation. Accordingly, the formation of dipeptide-based multicomponent hydrogels opens up new possibilities for applications in biomedical devices, photodynamic therapy, or continuous bioprinting of these hybrid gels. ■

Sponsors

- Federal Ministry of Education and Research (BMBF): Biotechnologie2020 + Strukturvorhaben: Leibniz Research Cluster (031A360C)
- German Research Foundation (DFG): Research Training Group 1865 “Hydrogel-based Microsystems”
- European Research Council (ERC) under the European Union’s Horizon 2020 research and innovation program (Grant agreement No. 852065)
- Technische Universität Dresden: Young Investigator Program
- National Nature Science Foundation of China (No. 21961142022)
- Alexander von Humboldt Foundation: Postdoctoral researcher

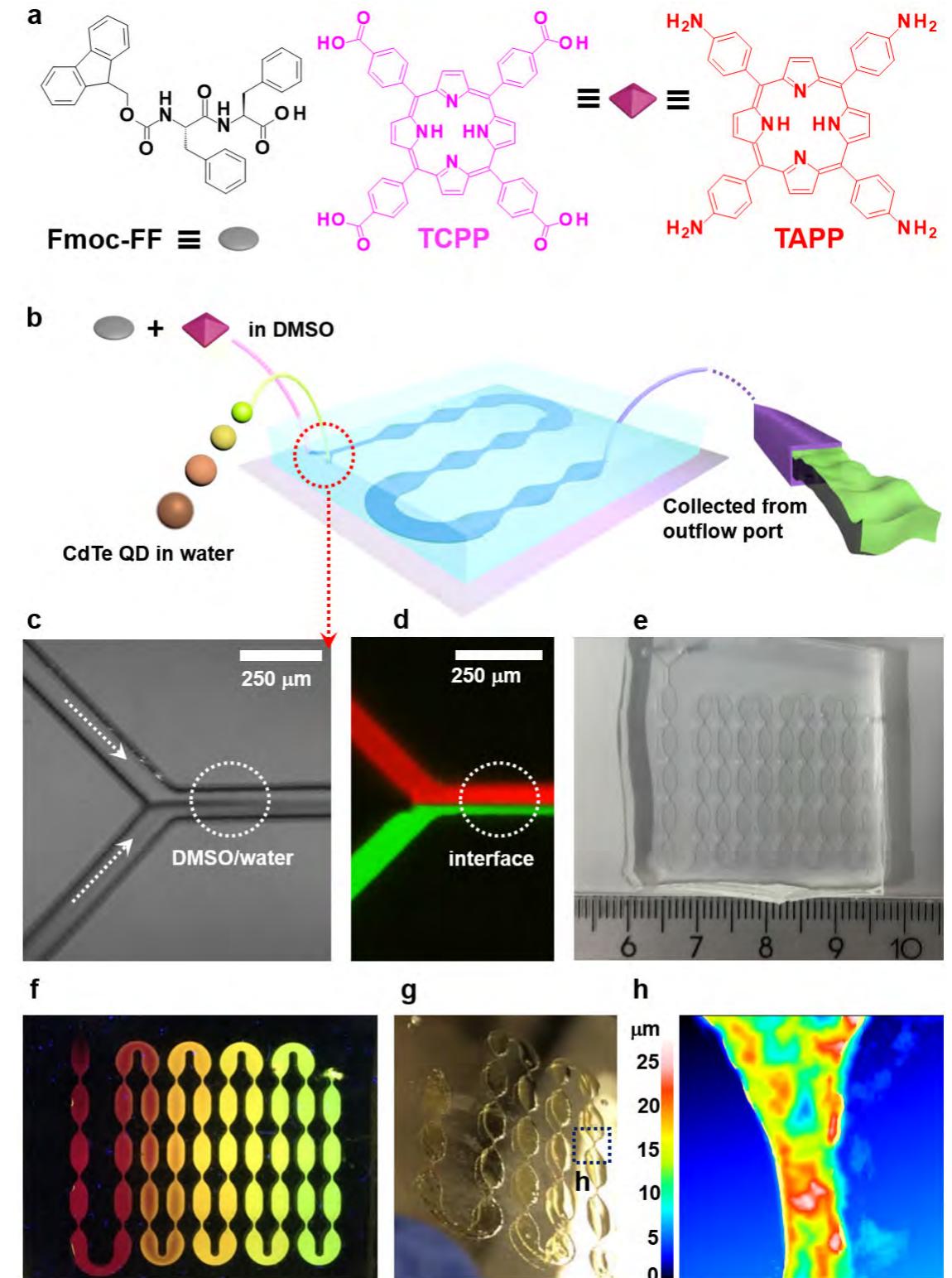


Fig. 1 a) Chemical structures of Fmoc-FF, porphyrin TCPP and porphyrin TAPP. b) Continuous fabrication of a supramolecularly assembled hydrogel by microfluidics. c) Optical microscopy and d) fluorescence images of the dynamic DMSO/water interface (red color indicates TCPP, green color indicates QD-520). e) Photograph of the microdevice employed in this study. f) Fluorescence microscopy image of the Fmoc-FF/QD-520/QD-570/QD-610/QD-710 hydrogel formed in a microdevice and illuminated at 365 nm. g) Hydrogel remaining on the glass substrate after removal of the PDMS cover. h) Selected surface topography image of the Fmoc-FF/TCPP/QD-520 hydrogel shown in (g).

[1] Y. Li, M. J. Männel, N. Hauck, H. P. Patel, G. K. Auernhammer, S. Chae, A. Fery, J. B. Li, J. Thiele: Angew. Chem. Int. Ed. 60 (2021) 6724–6732

Entwicklung des generativen *TFPprint*-Verfahrens zur Herstellung von duromeren Multi-Matrix-Faserkunststoffverbunden

Simon Konze, Axel Spickenheuer

Bei der Fertigung herkömmlicher Faserkunststoffverbunde (FKV) werden die Verstärkungsfasern typischerweise mit einem einzigen Matrixmaterial imprägniert. Durch das gezielte Einbringen lokal unterschiedlicher Matrixsysteme lässt sich hingegen das Einsatzpotenzial von FKV deutlich erweitern. Es könnten etwa biegeweiche Zonen als Gelenk oder gezieltes Dämpfungselement in den Verbundwerkstoff integriert werden. Da bei etablierten vakuum- oder druckbasierten Infiltrationsverfahren die Faserzwischenräume vollständig von einem Material benetzt werden, eignen sich diese Verfahren nur bedingt zur Herstellung von den sogenannten Multi-

Matrix-FKV (MM-FKV). Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass die verschiedenen Matrixmaterialien definiert und formgenau in die gewünschten Faserbereiche eingebracht werden können, ohne dass sich die Matrices miteinander mischen.

Um die automatisierte Herstellung von MM-FKV zu ermöglichen, wurde im Rahmen des ZIM-Forschungsprojekts *TFPprint* eine bestehende Tailored Fiber Placement (TFP)-Anlage gemeinsam mit den beteiligten Projektpartnern um einen Elastomerdruckkopf erweitert und eine geeignete Prozessführung entwickelt.

Tailored Fiber Placement Print (TFPP)-Verfahren



Abb. 1 Verfahrensablauf der im ZIM-Projekt „TFPprint“ entwickelten Technologie.

Nach erfolgter Erzeugung einer TFP-Faserpreform kann diese nun lokal durch den Druckkopf mit 1-komponentigem Polyurethan (PU) bedeckt werden. Dazu kommt ein Jetventil zum Einsatz, das durch die Abgabe kleinsten Tröpfchen beliebige Konturformen realisieren kann. Eine durch Wärmezufuhr initiierte Viskositätsenkung des PUs lässt dieses in die Faserzwischenräume einfließen. Nach Aushärtung des PUs unter Vakuum, sind die entsprechenden Bereiche der Faserpreform „blockiert“, sodass in einer sich anschließenden Vakuuminfiltration nur die restlichen noch trockenen Faserbereiche mit Epoxidharz (EP) imprägniert werden. Auf diese Weise entsteht nach entsprechender Aushärtung des EPs ein MM-FKV mit klar definierten Matrixzonen.

Diese Verfahrensentwicklung ermöglicht, dass künftig für die Auslegung und das Design von FKV-Bauteilen mit der lokalen Variation des Matrixsystems ein weiterer Prozess-Materialparameter zur Verfügung steht, um physikalische und mechanische Eigenschaften innerhalb eines FKV-Bauteils in einem breiten Spektrum, von z. B.

sehr steif bis hin zu biegeflexibel, gezielt einzustellen. So lassen sich z. B. faserverstärkte Festkörpergelenke herstellen, die im Vergleich zu reinen Elastomergelenken bei höherer in-plane Steifigkeit weiterhin ein gutes Biegevermögen bereitstellen. Damit ergeben sich neuartige Einsatzmöglichkeiten in z. B. Bereichen der Orthopädie-technik, der (Soft-)Robotik, der Raumfahrt oder der intrinsischen Materialdämpfung. ■

Gefördert durch

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
AiF-ZIM-Vorhaben ZF4028414PO8 – *TFPprint*

Kooperationspartner

- Dr. J. Schirmer, J. Herold, Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design, TU Dresden
- Dr. M. Wildemann, E.F.M. GmbH Entwicklung – Fabrikation – Marketing
- N. Fittkau, O. Petersen, Reha-OT Lüneburg
- M. Hoffmann, Mountek GmbH



Abb. 2 Links: Tropfenabgabe durch den Elastomerdruckkopf (zur besseren Sichtbarkeit auf Papier). Rechts: Mit der Anlage partiell mit PU imprägnierte Glasfaser-Preformen.

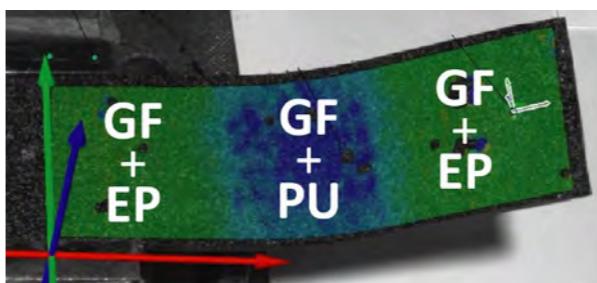


Abb. 3 Mittels digitaler Bildkorrelation gemessene Oberflächendehnung eines ausgelenkten MM-FKV-Festkörpergelenks aus Glasfaser (GF), Epoxidharz (EP) und Polyurethan (PU). Die Biegung und die damit einhergehende Dehnung tritt nahezu ausschließlich im mit dem elastischen PU imprägnierten Bereich auf.

[1] S. Konze, A. Spickenheuer, E. Richter, G. Heinrich: Development of a manufacturing process for multi-matrix composites based on the Tailored Fiber Placement (TFP) technology, in: S. V. Hoa (Ed.), Automated Composites Manufacturing, DEStech Publications, Inc., 2019, ISBN 978-1-60595-603-9

[2] S. Konze, A. Spickenheuer, F. Conrad, J. Herold, M. Wildemann, J. Schirmer, M. Stommel: Application of additive manufacturing for the production of multi matrix composites, in SAMPE EUROPE Conference and Exhibition, Baden/Zürich, 2021, ISBN 978-90-829101-3-1

Prozesskontrollierte Keimbildung und Kristallisation von Polylactiden

Laura Meinig, Regine Boldt, Ines Kühnert

Der Einsatz von Kunststoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe hat in den letzten Jahren rasant zugenommen. Ein Beispiel dafür ist Polylactic Acid (PLA) – ein aus Mais, Zuckerröhr oder Zuckerrüben

hergestelltes Biopolymer, was in Form von Mulchfolien in der Landwirtschaft oder als Einwegprodukt in der Verpackungsindustrie oder Medizintechnik eingesetzt wird.

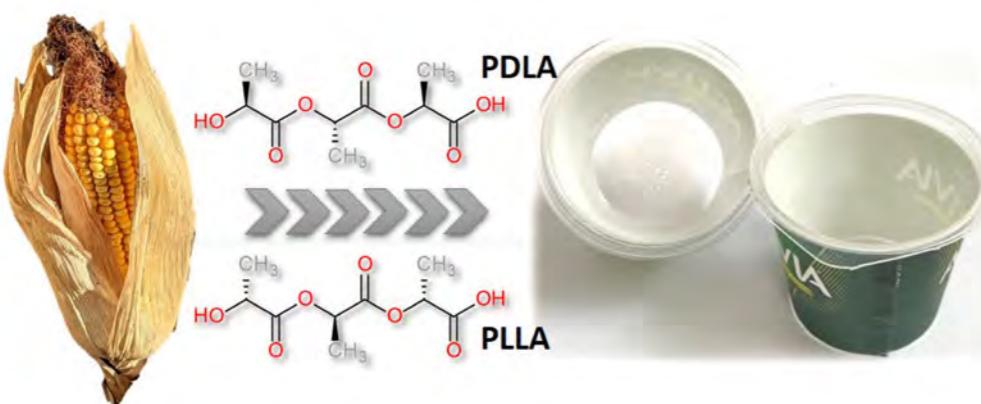


Abb. 1 Struktur und Anwendungsbeispiel von PLA

Um das Anwendungspotential von PLA für technisch anspruchsvolle Anwendungen, wie beispielsweise Zahnräder oder Implantate noch zu erweitern, müssen die Zusammenhänge zwischen Verarbeitungsparametern, Kristallkeimbildung und Kristallisation sowie dem dadurch kontrollierbaren Eigenschaftsprofil des Biopolymers bekannt sein.

PLA ist ein sehr langsam kristallisierender Kunststoff, dessen Eigenschaften jedoch maßgeblich vom Anteil

der kristallinen Phase beeinflusst werden. Aufgrund der beim Spritzgießen typischen hohen Abkühlgeschwindigkeit ist der Anteil kristalliner Strukturen in spritzgegossenen PLA Bauteilen meist so gering, dass ein zusätzlicher Arbeitsschritt in Form einer nachträglichen Wärmebehandlung notwendig ist. Das Material wird dabei über einen gewissen Zeitraum auf Temperaturen oberhalb der Erweichungstemperatur erwärmt, um eine sogenannte Nachkristallisation hervorzurufen (Abbildung 2).

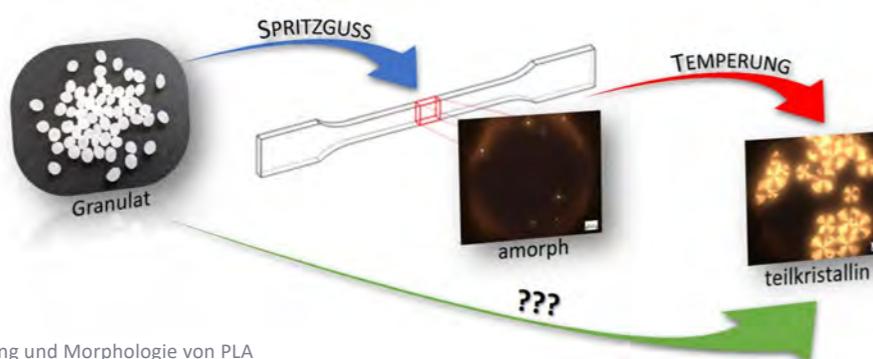


Abb. 2 Verarbeitung und Morphologie von PLA

Neben dem zusätzlichen Zeitaufwand verlieren die Formteile dadurch meist ihre Maßhaltigkeit, wodurch die großtechnische Herstellung von technisch anspruchsvollen PLA Bauteilen wirtschaftlich eher unattraktiv wird. Das primäre Ziel besteht deshalb darin, die Prozessparameter bei der Verarbeitung derart anzupassen, dass die Erzeugung von Kristallisationskeimen und das sich anschließende temperaturgesteuerte Wachstum zu kristallinen Strukturen kontrolliert eingestellt werden kann. Zudem ist der Einfluss der Struktur von PLA noch auf die verarbeitungsbedingten Eigenschaften zu berücksichtigen. Es wird hierbei „reines“, nur aus rechtsdrehender Milchsäure (L-Isomere) aufgebautes PLLA von PDLA unterschieden, welches zusätzlich Anteile linksdrehender Milchsäure (D-Isomere) enthält.

Im Rahmen des Projektes wurden zum einen verschiedene PLA Typen, deren wesentlicher Unterschied im Anteil an D-Isomeren besteht, mit unterschiedlichen Prozessparametern verarbeitet und der Einfluss von Werkzeug- und Massetemperatur sowie der Einfluss der Haltezeit im Werkzeug auf die Morphologie und die thermischen und mechanischen Eigenschaften untersucht. Zum anderen wurden PLA-Typen mit unterschiedlichen Molmassen und deren Einfluss auf die scherinduzierte Nukleierung untersucht.

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass in Abhängigkeit vom PLA Typ bei identischen Verarbeitungsparametern unterschiedliche Morphologien resultieren. Bei einer Werkzeugtemperatur oberhalb T_g kristallisiert das PLA mit geringem D-Isomeranteil schneller als das PLA mit höherem D-Isomeranteil [1, 2]. Dies konnte sowohl optisch als auch über thermische Analyse nachgewiesen werden (Abbildung 3a und 3b).

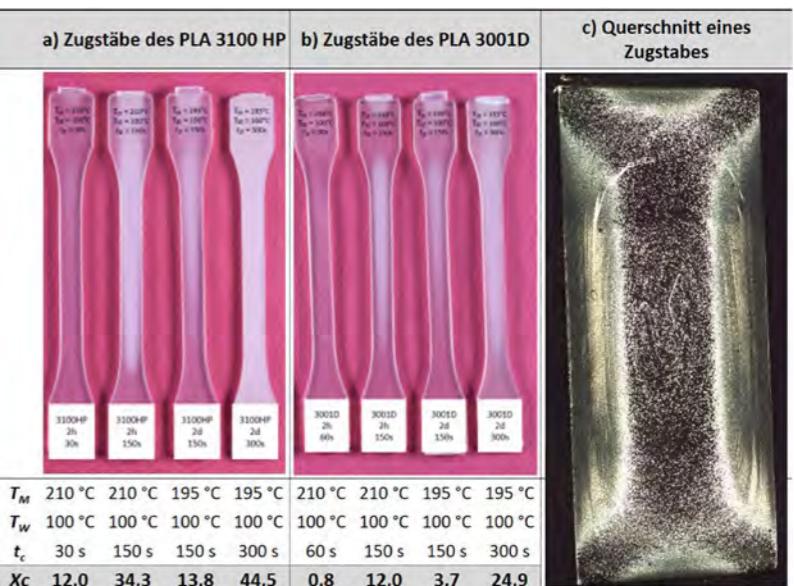


Abb. 3 Spritzgegossene Probekörper von PLA mit unterschiedlichen D-Isomeranteilen a) < 0,5 %, b) > 1,0 %) und deren kristalliner Anteil xc (ermittelt aus DSC-Daten), c) lichtmikroskopische Aufnahme vom Querschnitt eines teilkristallinen Zugstabes

Aus lichtmikroskopischen Untersuchungen geht außerdem hervor, dass es innerhalb der Prüfkörper unterschiedlich kristalline Bereiche gibt (Abbildung 3c). Anhand rheologischer Untersuchungen [3] konnte gezeigt werden, dass die Anzahl an Nukleierungskeimen mit zunehmender Scherwirkung steigt, so dass vermutet werden kann, dass sich in dem durch Scher- und Dehnkräfte geprägten Randbereich des Zugstabes mehr kristalline Strukturen befinden als im Kern. Um diese Annahme zu bestätigen sind weitere Untersuchungen, z.B. Röntgenbeugungsexperimente geplant. ■

Gefördert durch

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), KU 2421/3-3

Kooperationspartner

Prof. R. Androsch, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU)

[1] L. Meinig: Interdisziplinäre Projektarbeit, TU Dresden, 2021

[2] A. Siebert-Raths: Dissertation, Universität Rostock, 2012

[3] M. Du, K. Jariyavidyanont, I. Kühnert, R. Boldt, R. Androsch: Polymers 13 (2021) 1266-1278

Flow-induced phase transitions and aquamelts: Insights from atomistic simulations

Olga Guskova, Sergii Donets, Jens-Uwe Sommer

We are living in a materials' world made of synthetic polymers. Still, there is no truly sustainable pathway for the production of plastics, an industry which in the EU in 2019 employed over 1.5M people, had a turnover of €350B but consumed $\sim 1.3 \times 10^6$ GWh of energy [1].

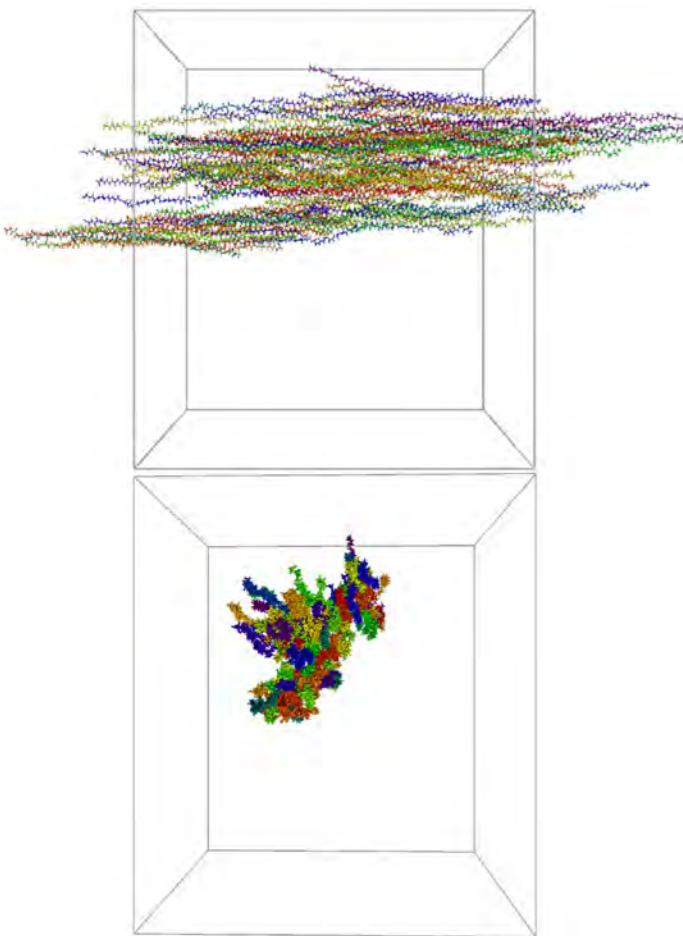


Fig. 1 MD simulation box with a fiber made of oligoglycine in water (not shown) after 40 ns run at an applied force of 350 pN perpendicularly to the stretching direction (top) and along the flow (bottom). Each Gly_{30} chain is painted in different colour for better clarity.

On the other hand, spiders and silkworms are able to create a high-performance natural fiber (sustainable, degradable, and elastic) in a way that is over 1000 times more energy-efficient than a standard polymer processing by solidifying through dehydration as a result of flow [2]. It was proposed that these animals are using silk fibroin in a unique state of matter called "aquamelt" [2]. This is a shear-sensitive liquid gel made of protein and its solvated water; it can transition into a solid through a shear flow at room T. This physical force helps to pull and stretch the chains and to release their surrounding water.

Searching for an aquamelt behaviour among silk-biomimetics, we have undertaken the computer simulations of three simplest sequences – Gly_{30} , Ala_{30} , $((\text{Gly-Ala})_2\text{-Ser})_5$, which are the major components of the natural silk. Here, the tensile stress introduced into the oligopeptide–water solution facilitates the interchain interactions, which rapidly lead to the formation of highly oriented fiber (Figure 1). The strain-induced aggregation of studied molecules occurs, in addition to the favourable van der Waals interactions, due to the hydrogen bonding (HB) between the oligomers. The HB effect between the oligopeptide chains results in their greater resistance to extension, compared, for example, to the PEO chains with their inability for HB to each other (Figure 2). We conclude that among tested oligomers, $((\text{Gly-Ala})_2\text{-Ser})_5$ is the most promising candidate for further studies in search of aquamelts.

The reverse engineering of natural silk, shown in the previous example, develops a fundamental understanding

of the novel processing mechanism. To re-evolve candidate biopolymers into aquamelts is another way. Here, one needs to find a widely-available and cheap biopolymer, which hydration state will be chemically reconfigured to match that of a naturally occurring aquamelt. The primary candidate is cellulose [4].

Native cellulose is insoluble in water, despite the high number of HB sites per chain, as molecules preferably build hydrogen bonds to each other. In a joint experimental-theoretical study [4] of hydroxypropyl (HP)-modified cellulose, the modification-property relationships have been established. Molecular dynamics simulations concur with the rheological experiments, suggesting that the cellulosic aggregates are easier to align, and induce fiber formation, when HP substitution is around 50 %. Thus, this aligned structure can potentially act as a precursor for the formation of a fibrous cellulose from a water solution under a flow processing.

On the basis of joint work within the EU FLIPT project, two spinoffs have been founded [5,6], which are developing and producing fully sustainable fibers based on spider silk mimetics [5] and wooden-based raw [6]. ■

Sponsors

European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme, Project FLIPT

Cooperations

- Dr. M. Rymaruk, Prof. A. J. Ryan, Dr. O. O. Mykhaylyk, University of Sheffield, United Kingdom
- Dr. J. Salmela, Spinnova, Finland
- Dr. H. Setälä, VTT Technical Research Centre, Finland

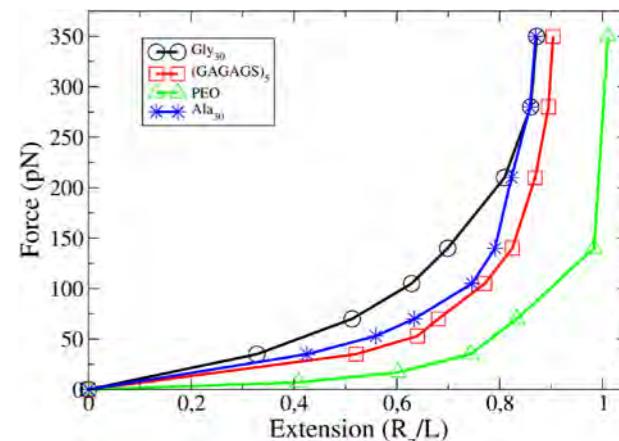


Fig. 2 Force extension behavior of the multiple chains of Gly_{30} , $(\text{GAGAGS})_5$, PEO, and Ala_{30} in aqueous solution. Adapted from Ref. [3].

[1] Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data. PlasticsEurope, 2020, 64 p.

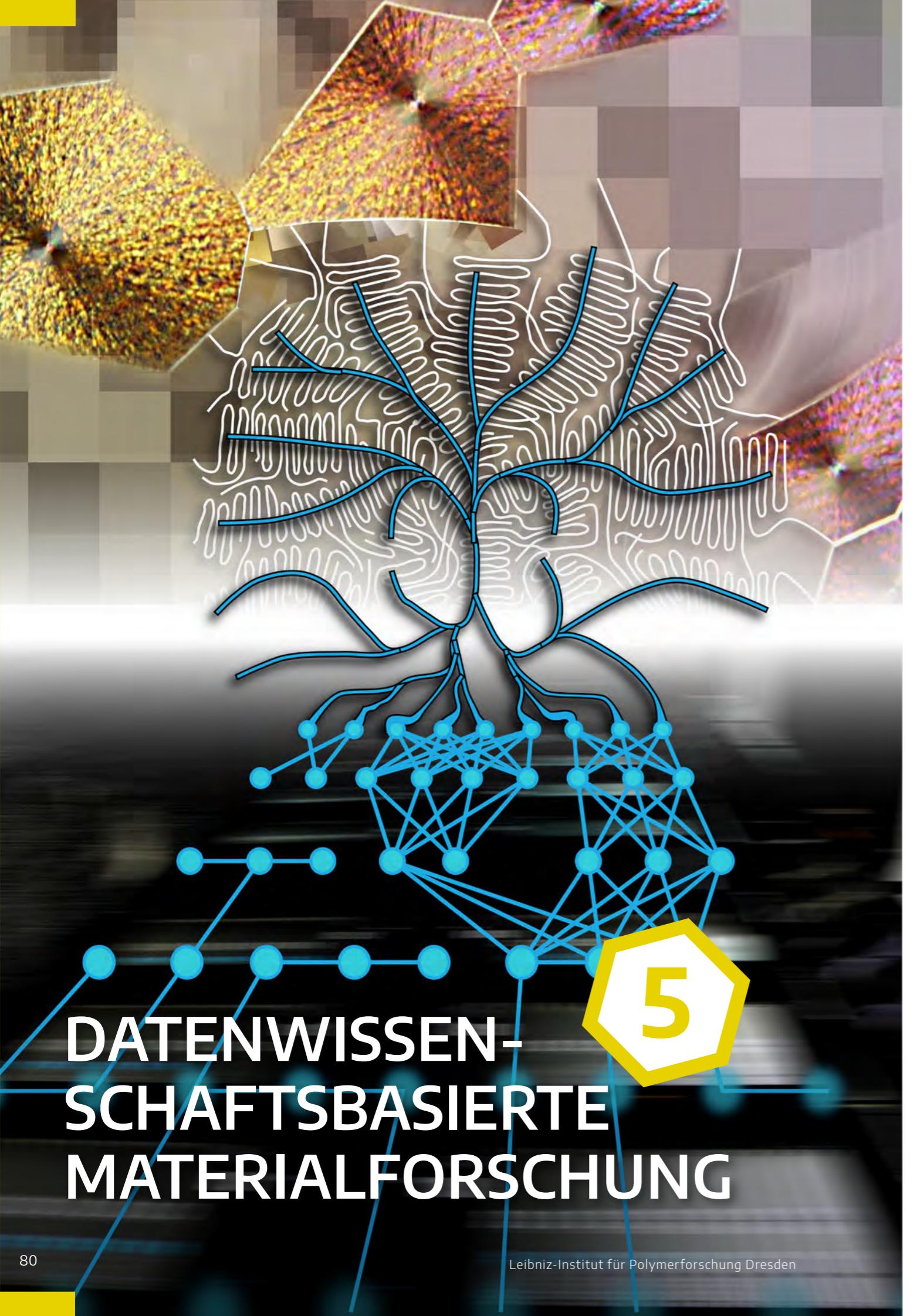
[2] C. Holland, F. Vollrath, A.J. Ryan, O.O. Mykhaylyk: Adv. Mater. 24 (2012) 105109

[3] S. Donets, O. Guskova, J.-U. Sommer: J. Phys. Chem. B 125 (2021) 3238–3250

[4] C.T. O'Brien, T. Virtanen, S. Donets, J. Jennings, O. Guskova, A.H. Morrell, M. Rymaruk, L. Ruusuvirta, J. Salmela, et al.: Polymer 223 (2021) 123681

[5] Spintex <https://www.spintex.co.uk/>

[6] Spinnova <https://spinnova.com/>



DATENWISSEN-SCHAFTSBASIERTE MATERIALFORSCHUNG

Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden



Prof. Dr. Jens-Uwe Sommer Prof. Dr. Carsten Werner Prof. Dr. Andreas Fery Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel

Methoden der künstlichen Intelligenz (KI), insbesondere des maschinellen Lernens (ML), eröffnen neue Zugänge für die auf Zieleigenschaften orientierte Materialforschung. In der Polymerforschung stellen die chemische Sequenz der Monomere, die Architektur der Polymere sowie die Menge der Komponenten in Komposit-Materialien einen gigantischen Parameterraum dar, der auf wenige Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen der Materialien abgebildet wird. Neuronale Netzwerke sind in der Lage Muster in diesen Parameterräumen zu entdecken, die mit den Zieleigenschaften ursächlich zusammenhängen. Dies erfordert in erster Linie die Entwicklung spezifischer Methoden der KI und des ML für die Polymerforschung. Die wachsende Leistungsfähigkeit von experimentellen Geräten wird einerseits durch Methoden der KI erweitert, andererseits eröffnen diese aber auch die Möglichkeit, kombinatorische Ansätze auf eine bisher nicht zugängliche Komplexitätsstufe auszuweiten, sofern automatisierte Präparationstechniken und eine KI-kompatible Datenerfassung realisiert werden kann. Aufgrund der inhärenten Komplexität biologischer Systeme ist die kombinatorische Entwicklung von neuen multi-biofunktionellen Materialien (Biomateromics) ein prädestiniertes Anwendungsfeld von datenwissenschaftsbasierten Konzepten. Um das neue strategische Thema Datenwissenschaftsbasierte Materialforschung möglichst schnell und wirkungsvoll in die IPF-Forschung zu integrieren, ist eine Nachwuchsgruppe auf diesem Gebiet unter Leitung von Marco Werner eingerichtet worden.

Die Sequenz der chemischen Monomeren bestimmt das Verhalten von Copolymeren entscheidend. Lebende Systeme illustrieren dies besonders eindrucksvoll:

Proteine bestehend aus dem gleichen Bausatz von Aminosäuren realisieren unterschiedlichste Funktionen und Eigenschaften. In einem biologisch inspirierten System bestehend aus einer Modell-Lipid-Doppelmembran und Copolymeren, die aus hydrophilen und hydrophoben Monomeren aufgebaut sind, wurde die Abbildung einer beliebigen Sequenz auf die resultierenden Freie-Energie-Landschaft der Polymer-Membran-Wechselwirkung durch eine neuartige neuronale Netzwerkstruktur realisiert. Mit diesem „Transencoder“ konnte die Monomer-Sequenz auf zwei latente Parameter reduziert werden, die wiederum die Freie-Energie-Landschaft reproduzieren. Diese latente Information lässt sich mit einer physikalischen Abstraktion des Problems in direkten Zusammenhang bringen (*ACS Macro Letters* 2021, 10, 1333).

Auf einer ganz anderen Größenskala liegen Forschungsarbeiten am IPF, bei denen neuronale Netzwerke als Methode zur numerischen Modellierung kurzfaser verstärkter Polymerwerkstoffe eingesetzt werden. Die realistische Auslegung von Bauteilen aus diesen Werkstoffen ist stets eine anspruchsvolle Aufgabe, da der Herstellungsprozess die lokale Mikrostruktur des Verbundwerkstoffes erst festlegt. Entsprechend komplex sind die bislang entwickelten Methoden zur Berechnung kurzfaser verstärkter Kunststoffbauteile. Mit dem Training eines neuronalen Netzwerkes ist jetzt ein neuer Zugang zu einer Materialmodellierung erschlossen worden. Es können damit genauer und numerisch erheblich effizienter elastische Kennwerte kurzfaser verstärkter Polymerwerkstoffe berechnet werden als mit den bislang zur Materialmodellierung eingesetzten Homogenisierungskonzepten (*Fibers* 2021, 9, 8). ■

Vorhersage elastischer Eigenschaften von kurzfaserverstärkten Kunststoffen mittels neuronaler Netzwerke

Kevin Breuer, Markus Stommel

Die sichere und werkstoffgerechte Auslegung von Bauteilen aus kurzfaserverstärkten Kunststoffen ist auch heute noch eine schwierige Aufgabe. Diese kann nur bewältigt werden, indem die durch den Herstellungsprozess beeinflusste Mikrostruktur bei der Auslegung berücksichtigt wird. Hierfür ist ein häufig verwendeter und etablierter analytischer Ansatz der von Mori-Tanaka [1]. Dieser basiert allerdings auf einigen vereinfachenden Annahmen. Zur Verbesserung der Vorhersage wird eine genauere Berechnung der makroskopischen Eigenschaften angestrebt, die durch die Verarbeitung von mehr Informationen auf der Mikroebene erzielt werden kann. Hierzu werden Repräsentative Volumen Elemente (RVE) erstellt, in denen die Mikrostruktur des Composites im Mittel nachgebildet wird. Anhand von virtuellen Versuchen können die lokalen Zustandsgrößen numerisch berechnet und anschließend homogenisiert werden. Ein grundlegendes Problem ist dabei allerdings die benötigte Rechenzeit, da ein detailliertes RVE sehr rechenaufwendig ist und darüber hinaus viele verschiedene RVE je Bauteil notwendig sind. Daher sind RVEs zunächst ungeeignet für die Auslegung ganzer Bauteile.

Abhilfe können an dieser Stelle neuronale Netze bieten. Mit diesen ist es möglich komplexe, mathematische Zusammenhänge durch sehr schnell auswertbare Funktionen zu approximieren. In unseren Forschungsarbeiten wird ein neuronales Netz entwickelt, mit welchem die effektiven Composite-Eigenschaften von kurzfaserverstärkte Kunststoffe berechnet werden können [2].

Die Grundlage eines jeden neuronalen Netzes besteht in einer Datenbasis. Für den hier gezeigten Anwendungsfall

werden zufällig generierte RVEs genutzt. Für jedes einzelne RVE wird ein einzigartiger Satz an Parametern zufällig ausgewählt und die linear elastischen Eigenschaften für jedes RVE mittels Homogenisierung berechnet. Diese Daten werden anschließend verwendet, um ein optimales neuronales Netz unter dem Aspekt der absoluten Genauigkeit, Robustheit und Rechenaufwand zu entwerfen.

Im Allgemeinen besteht ein neuronales Netz aus einer beliebigen Anzahl von Layern, die jeweils aus einem Satz an Neuronen gebildet werden. Jedes Neuron steht dabei für einen numerischen Wert, der durch eine mathematische Funktion in Abhängigkeit der anderen Neuronen und Gewichtungsfaktoren bestimmt wird. Die Gewichtungsfaktoren müssen für jede Problemstellung durch das sogenannte Training an den speziellen Anwendungsfällen angepasst werden. Durch das Training „lernt“ das neuronale Netz den Zusammenhang zwischen den einzelnen Datenwerten. Hier also zwischen den Mikrostrukturgrößen der RVEs und den resultierenden Composite-Eigenschaften der RVEs. Ist das Training abgeschlossen, kann das neuronale Netz zu neuen Mikrostrukturgrößen die zugehörige Composite-Eigenschaften berechnen, ohne explizit auf die aufwendige Berechnung mittels der FEM zurückgreifen zu müssen.

Die Abbildung 1 verdeutlicht dabei die Idee der zufälligen Generierung von unterschiedlichen RVEs, dem Aufbau der neuronalen Netze und der Verwendung dieser zur Bestimmung der linear-elastischen Eigenschaften von kurzfaserverstärkten Kunststoffen.

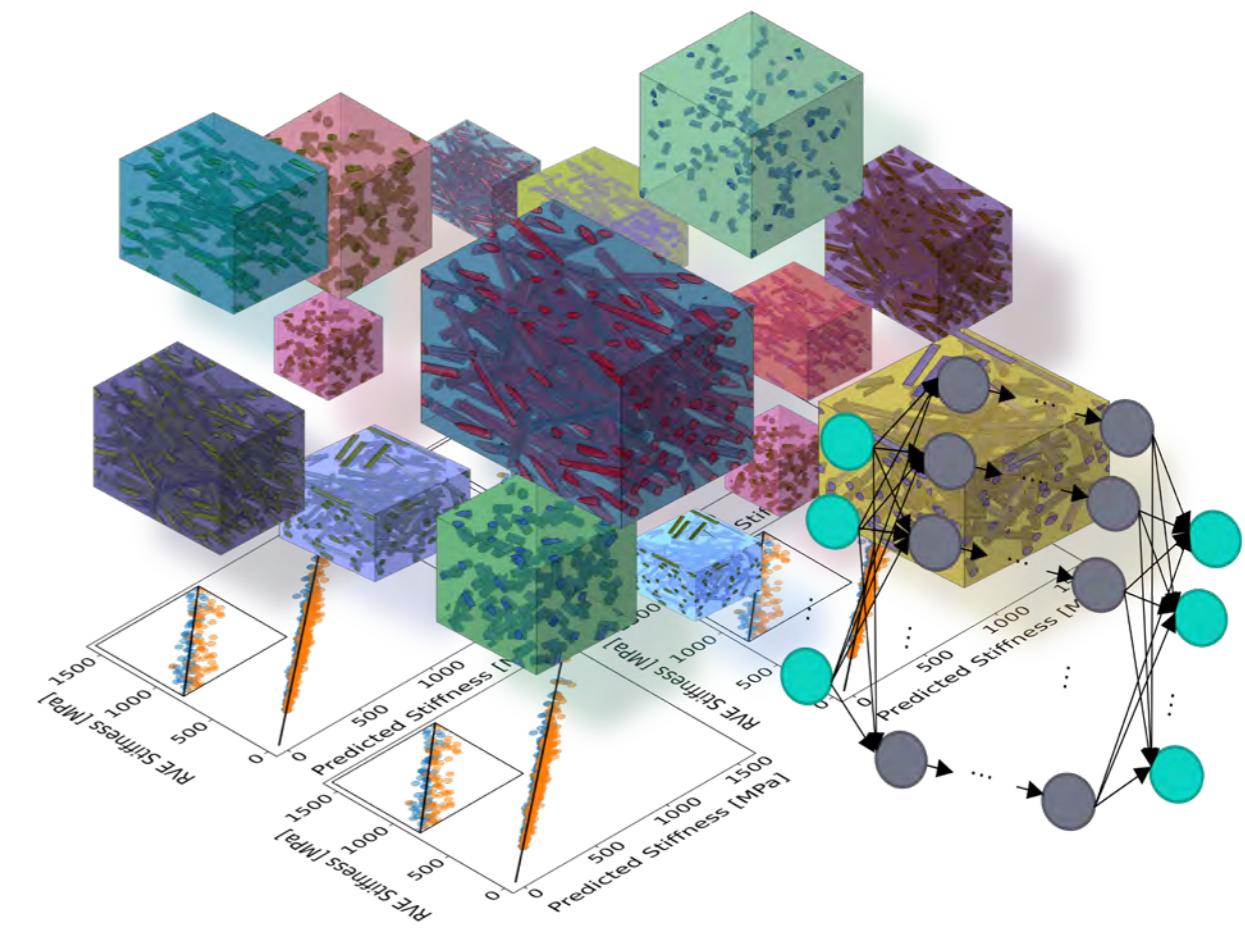


Abb. 1 Cover des A special issue "Simulation of Short-Fiber-Reinforced Polymer", Fibers (ISSN 2079-6439).

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen. Über einen Vergleich mit zusätzlichen RVEs zeigt sich, dass sich die elastischen Eigenschaften kurzfaserverstärkter Composite mit dem neuronalen Netz genauer berechnen lassen als mit der Methode von Mori-Tanaka. Das bedeutet, dass mithilfe des neuronalen Netzes die Composite-Eigenschaften sehr schnell und mit hoher Prognosegüte bestimmt werden können. Hierin zeigt sich das eigentliche Potenzial der neuronalen Netze in Bezug auf die Materialmodellierung: Informationen können auf der Mikroebene eingearbeitet werden, um Vorhersagen zu präzisieren, ohne dabei höhere Rechenzeiten auf Makroebene zu erzeugen. ■

[1] T. Mori; K. Tanaka: Metallurgica 21 (1973) 571–574, doi:10.1016/0001-6160(73)90064-3

[2] K. Breuer, M. Stommel: Fibers 9 (2021) doi: 10.3390/fib9020008

Trans-Encoder als neues Konzept für maschinell erlernte Sequenz-Eigenschafts-Beziehungen

Marco Werner

Die vielfältige Gestalt und Dynamik biologischer Strukturen steht in ständigem Wechselspiel mit der chemischen Information in Nuklein- oder Aminosäuresequenzen. Nur ein verschwindend kleiner Anteil des gigantischen Sequenzraumes ist von biologischer Bedeutung. Die „Sprache“ der selektierten Sequenzen ist dadurch definiert, dass sie Signaturen der physikalischen Gesetze kodieren muss, denen die biologischen Ordnungsphänomene während der Evolution unterworfen waren. Als Beispiel seien Kanal-Proteine genannt, welche mit Hilfe einer hydrophoben Domäne in einer Lipidmembran verankert sind. Da das chemische Alphabet für synthetische Polymere um ein Vielfaches größer ist als jenes der Biopolymere, birgt das gezielte Aufspüren relevanter Signaturen ein unschätzbares Potential für die Entwicklung synthetischer Zukunftsmaterialien.

Am Institut Theorie der Polymere wurden künstliche neuronale Netze in Form eines „Trans-Encoders“ entwickelt¹ (Fig. 1a). Diese eignen sich, physikalische Muster aus hydrophilen (A) / hydrophoben (B) Copolymer-Sequenzen zu extrahieren, welche beispielsweise die Wechselwirkung eines Copolymers mit einer Lipid-Membran steuern (Fig. 1b). Trainingsdaten wurden für alle 2^N Sequenzen bei Kettenlängen $N=14$ und $N=20$ mit Hilfe eines vergrößerten Gitterpolymer-Modells in einem konstanten Membran-Dichtefeld erzeugt². Das Trainingsziel bestand darin, für eine gegebene Sequenz s die Freie-Energie-Landschaft $F(z)$ des Copolymers als Funktion seines Abstands z von der Membran vorherzusagen.

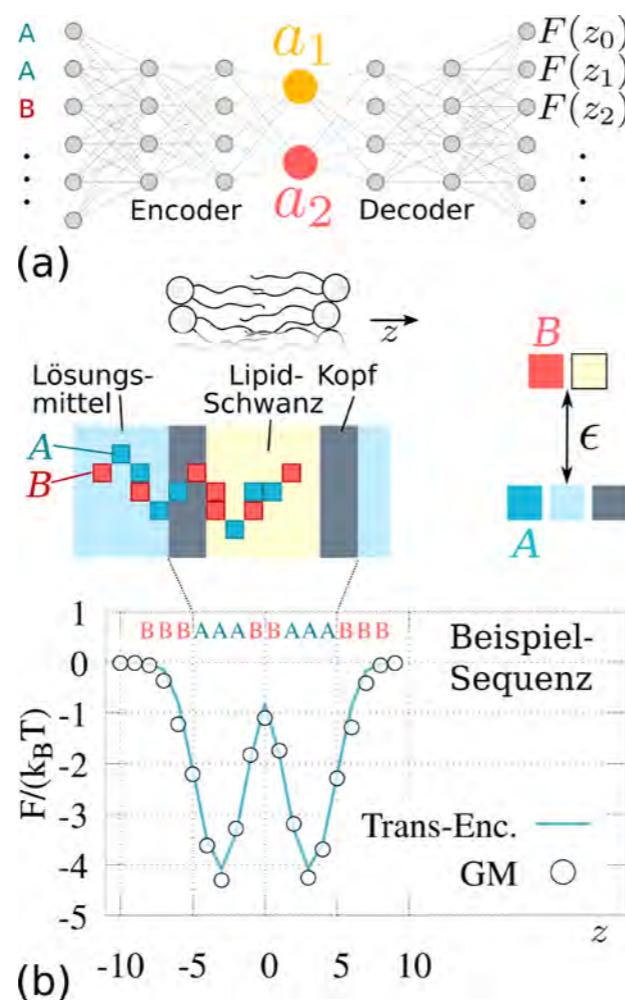


Abb. 1 (a) Skizze eines Trans-Encoder Netzes. (b) Schema des Gittermodells (GM) für ein A/B-Copolymer in Lipid-Membran-Umgebung (ϵ als abstoßende Wechselwirkung). Das Ergebnis $F(z)$ ist im Vergleich zur Trans-Encoder-Vorhersage für ein Beispiel gezeigt¹.

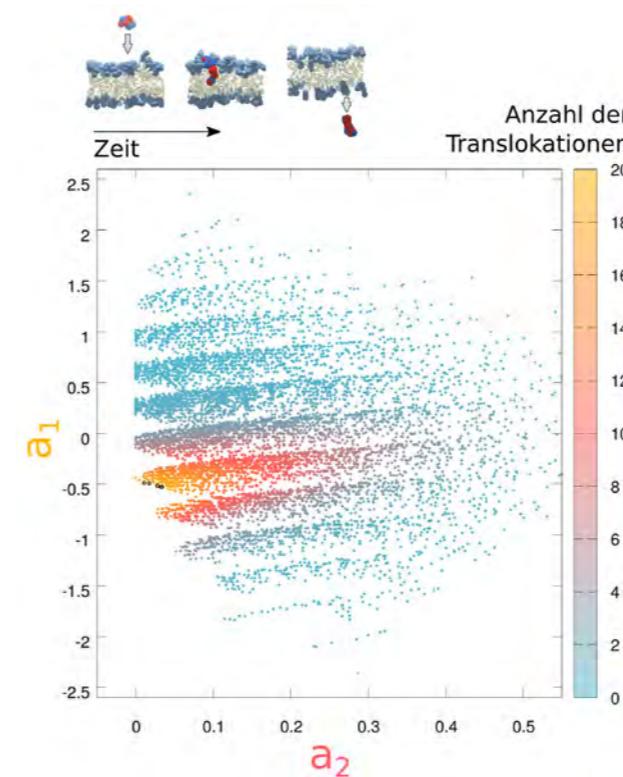


Abb. 2 Vorhergesagte der Anzahl von Translokationen in dynamischer MC-Simulation für alle Sequenzen ($N=14$) auf Basis des Transfer-Lern-Verfahrens. Schwarz: Sequenzen mit maximaler vorhergesagter Anzahl¹.

Die Landschaft $F(z)$ ist das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels zwischen Monomer-Wechselwirkungen mit der hydrophilen / hydrophoben Umgebung und den Konformationsfreiheitsgraden der Polymerkette (Entropie), wofür es bis heute keine geschlossene mathematische Beschreibung gibt. Durch Einführen einer Flaschenhalsschicht mit nur zwei Neuronen war das Netz gezwungen, chemische Sequenzen in die physikalisch bedeutsamen Parameter a_1 und a_2 zu komprimieren (Encoder), um auf dieser Basis $F(z)$ zu rekonstruieren (Decoder). Das Netzwerk musste also

lernen, anhand der Übersetzung zwischen verschiedenen Daten-Kategorien, eine vereinfachte Beziehung $s \rightarrow (a_1, a_2) \rightarrow F(z)$ abzubilden. Hier unterscheidet sich das Verfahren von „Auto-Encodern“, welche die Eingangsdaten (z. B. Bilder) selbst rekonstruieren anstatt sie zu übersetzen.

Durch Analyse versteckter Neuronenschichten wurde aufgedeckt, dass Trans-Encoder das gegebene Problem ähnlich aufspalten können, wie dies einem menschlich-rationalen Ansatz entspräche, z. B. gemäß der Hypothese: $F(z) = a_1 F_1(z) + a_2 F_2(z)$. Der erlernte Parameter a_1 spiegelte dann näherungsweise den Anteil N_B/N hydrophober B-Monomere wider, wohingegen a_2 als das Adsorptionsvermögen des Polymers an der Grenzfläche zwischen Membrankern und Lösungsmittel interpretiert werden konnte. Mit Hilfe eines trainierten Trans-Encoders können wir nun jeder Sequenz einen präzisen Schätzwert für die Adsorptionsstärke a_2 zuordnen – was mit polymer-theoretischen Ansätzen bisher nicht erreichbar ist. Mit Hilfe eines Transfer-Lern-Verfahrens wurden die erlernten Muster eines mit dem einfacheren Modell trainierten Trans-Encoders auf ein detaillierteres dynamisches Monte-Carlo-Modell (MC) mit Lösungsmittel und Lipiden bei $4 \leq N_B \leq 10$ übertragen. MC-Datensätze für ca. 20 Sequenzen waren dabei für das Training hinreichend, um $F(z)$ für die übrigen ca. 450 Sequenzen mit einem mittleren Fehler von $\pm 0.5 k_B T$ abzuschätzen. Die Ergebnisse des Transfer-Lernens konnten auf eine neue Aufgabe übertragen werden¹: die Anzahl der Translokationen der Polymere durch die selbstorganisierte Membran vorherzusagen, bzw. Sequenzen mit maximaler vorhergesagter Translokationszahl effizient im komprimierten Sequenz-Raum aufzuspüren (Fig. 2). ■

[1] M. Werner: ACS Macro Letters 10 (2021) 1333–1338

[2] M. Werner, Y. Guo, V.A. Baulin: npj Computational Materials 6 (2020) 72

6

NACHHALTIGKEIT UND UMWELTSCHUTZ



Prof. Dr. Andreas Fery

Prof. Dr. Brigitte Voit

Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel

Das IPF berücksichtigt in vielfältiger Weise Nachhaltigkeitsaspekte in der Polymerforschung. Dies betrifft die Verwendung von nachhaltigen, biobasierten und umweltfreundlichen Synthesebausteinen und Komponenten in den polymeren Materialien, Aspekte der Verlängerung der Lebensdauer der Werkstoffe, energieeffiziente Verarbeitungsprozesse, Aspekte des Recyclings und der Auswirkungen von Kunststoffen auf die Umwelt, aber auch die Entwicklung von polymeren Materialien für den Einsatz im Umweltschutz und zur Energieeinsparung.

So konnte Ferulasäure als biobasiertes Monomer, das aus Lignin gewonnen wird, in Standardpolyester wie PET, PBT und PBS in einer gut skalierbaren Schmelze-Polykondensation eingebaut werden. Die Materialien können über Extrusion und Spritzguss verarbeitet werden. Elektronenbestrahlung aktiviert die Doppelbindungen im Material, stabilisiert diese und erhöht so z. B. die Zugfestigkeit von schmelzgesponnenen Fasern (*Polym. Chem.*, 2021, 12, 5139). Zudem gelang es, Divinyladipinsäure als auch Dimethylbernsteinsäure mit 1,4-Butandiol enzymatisch mittels der Lipase CALB in der Schmelze zu polykondensieren (*Processes* 2021, 9, 411).

Polymerwerkstoffe können auch wesentliche Beiträge leisten, die Nachhaltigkeit von technischen Systemen im Sinne einer höheren Energieeffizienz zu steigern, indem sie z. B. als Festschmierstoffe effektiv Reibung zwischen gegeneinander bewegten Oberflächen reduzieren. Am IPF wurde dazu bereits die chemische Kopplung von PTFE an verschiedene Polymere entwickelt. Mittels chemischer Kopplung von PTFE

an Polyamid konnten jetzt auch Compounds als Festschmierstoff-Opferelement in hochbelasteten Schneckengetrieben hergestellt werden, die neben niedrigen Reibkoeffizienten eine drastisch verbesserte Verschleißfestigkeit zeigen (*Solid State Phenomena*, 2021, 320, 113-118).

Am Ende der Lebensdauer eines Systems mit Polymerwerkstoffen steht dann oftmals die Forderung nach einem schnellen Abbau der Polymermoleküle, um beispielsweise wirtschaftliche Recyclingprozesse zu erlauben. In diesem Zusammenhang wurde das Verhalten von so genannten Layered Double Hydroxides (LDH) auf Basis von Übergangsmetallen untersucht. Es zeigt sich, dass diese den beschleunigten Abbau von Polypropylen erlauben und damit ein großes Potential für die Gestaltung von Recyclingprozessen aufweisen (*Polymers*, 2021, 13(19), 3452).

Im Bereich der Analytik von Mikroplastik konnten im Rahmen des BMBF-FONA-Projekts PLASTRAT sehr effektiv Klärwerkseinlaufproben analysiert werden. So wurde z. B. eine Probe mit insgesamt 83000 Partikeln in nur neun Messungen mit optischer Partikelerkennung kombiniert mit FT-IR und der Raman-Mikrospektroskopie vollständig charakterisiert. Es zeigte sich, dass diese Probe 2156 Mikroplastikpartikel (2,6 % aller Partikel) enthält, was 70 Mikroplastikpartikeln pro Liter entspricht (*Synthesebericht*, 2021, 134, ISBN 978-3-943207-52-1). In dem neuen Leibniz-Forschungsverbund Airplast werden ab 2022 in Kooperation mit dem Leibniz-Institut TROPOS synthetische submicron-Partikel in der Atmosphäre untersucht. ■

Polyesters with bio-based monomers for multifunctional materials with improved sustainability

Doris Pospiech, Andreas Korwitz, Christian Mielke, Hartmut Komber, Dieter Jähnichen, Albena Lederer, Kerstin Arnhold, Michael T. Müller, Harald Brünig, Holger Scheibner, Brigitte Voit

During the last years, the development of polymers with bio-based components has gained considerable attention in an effort to increase the sustainability of plastics industry^[1] by both new building blocks but also by the use of sustainable synthesis methods.^[2,3] While the sugar platform yields mostly aliphatic monomers that can be incorporated into polymers^[4], e.g. aliphatic diols and dicarboxylic acids for polyesters^[3,4], renewable biomass, e.g. lignin, provides mostly aromatic building blocks and purified lignin for several applications.^[7]

Here, the incorporation of a ferulic acid derivative as lignin-derived monomer into terpolymers with standard polyesters (PET, PBT, PBS) as illustrated in Figure 1, is reported. The synthesis is performed by melt polycondensation^[5,8] and yields series of non-crosslinked materials with high molar mass, random chain structure and intact double bonds, as shown by NMR spectroscopy and size exclusion chromatography. The synthesis can be upscaled to a 2.4 L stirring autoclave.

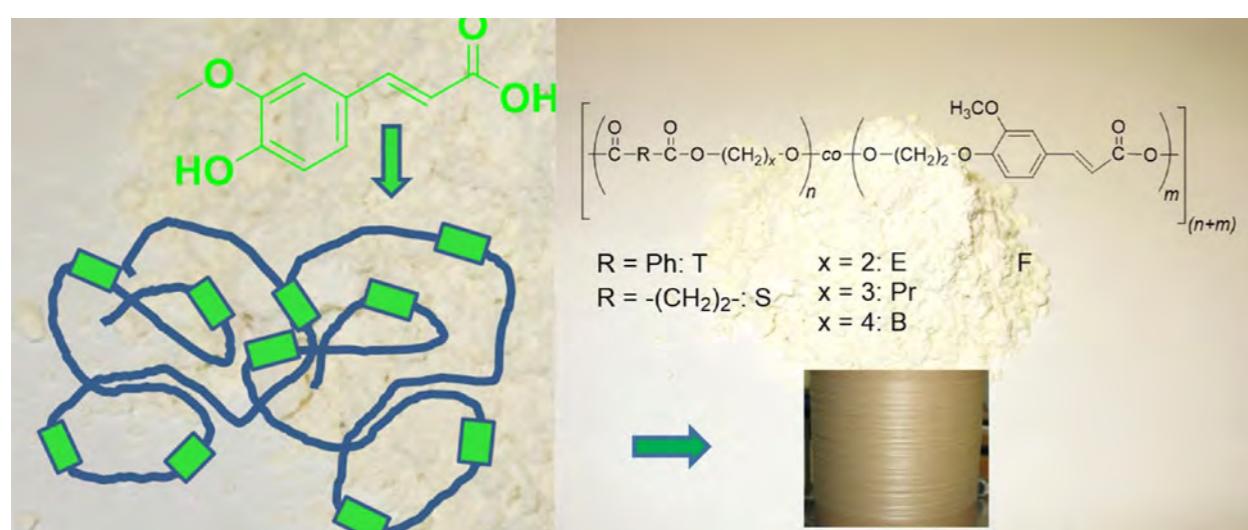


Fig. 1 Chemical structure of terpolyesters containing ferulic acid derivatives (T: terephthalate; S: succinate; E: ethylene; Pr: propylene; B: butylene; F: di(oxy ethylene oxy) ferulate.

Polymer	E_t (MPa)	σ_m (MPa)	ε_b (%)
P(T-E-F)-2 As-spun	4.200 ± 137	28.7 ± 9.7	0.6 ± 0.2
P(T-E-F)-2 EB treated (600 kGy)	4.286 ± 69	57.6 ± 7.6	1.4 ± 0.2

Table 1 Tensile test results of as-spun and EB treated fibers of the PET-based sample P(T-E-F) with 4.3 mol% F units.

The study of structure-property relations reveals that incorporation of intermediate molar amounts of ferulic acid units (F) decreases the crystallinity of the polyesters, but enhances the glass transition temperature. The materials can be melt processed by injection molding, extrusion and fiber spinning. Electron beam (EB) treatment is successfully applied to initiate the reaction of double bonds and to generate crosslinked materials. A dose of about 500 kGy results in considerable gel contents of about 20 wt%.^[8] The tensile properties of fibers after EB treatment are improved (see Table 1).

This study demonstrates that incorporation of double bonds in polyesters (fully or partially biobased) allows the consolidation of the sample geometry by crosslinking after thermoplastic processing. ■

Sponsor

- Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD), Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), project no. Po 575/15-1

Cooperations

- Dr. H. Brünig, Dr.-Ing. I. Kühnert, N. Smolka, Leibniz-IPF, Institute of Polymer Materials (IPW)
- Prof. Dr. Mirosława El Fray, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland
- Prof. V. Altstädt, Prof. H. Ruckdäschl, Universität Bayreuth, Germany

- [1] H. Nakajima, P. Dijkstra, K. Loos: *Polymers (Basel)* 9 (2017) 1–26
- [2] Y. Jiang, K. Loos: *Polymers (Basel)* 8 (2016) 243–295. DOI 10.3390/polym8070243
- [3] D. Pospiech, R. Choinska, D. Flugrat, K. Sahre, D. Jähnichen, A. Korwitz, A. Werner, B. Voit: *Processes* 9 (2021) 411–430
- [4] R. A. Sheldon: *Green Chem.* 16 (2014) 950–963
- [5] D. Pospiech, A. Korwitz, H. Komber, D. Jähnichen, L. Häussler, H. Scheibner, M. Liebmann, K. Jähnichen, B. Voit: *Macromol. Chem. Phys.* 216 (2015) 1447–1461
- [6] M. Schwarzer, A. Korwitz, H. Komber, L. Häußler, B. Dittrich, B. Schartel, D. Pospiech, *Macromol. Mat. Engin.* 303 (2018) 1–16
- [7] D. Pospiech, A. Korwitz, K. Eckstein, H. Komber, D. Jähnichen, M. Suckow, A. Lederer, K. Arnhold, M. Göbel, M. Bremer, A. Hoffmann, S. Fischer, A. Werner, T. Walther, H. Brünig, B. Voit: *J. Appl. Polym. Sci.* 136 (2019) 48257–48269
- [8] D. Pospiech, A. Korwitz, H. Komber, D. Jähnichen, K. Arnhold, H. Brünig, H. Scheibner, M. T. Müller, B. Voit: *Polym. Chem.* 12 (2021) 5139–5148

Towards the catalytic degradation of polymer composites using transition metal layered double hydroxides (LDH)

Sajid Naseem, Sven Wiefner, Ines Kühnert, Andreas Leuteritz

Layered double hydroxides (LDHs) are anionic clays with the formula of $[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(OH)_2]^{x+} \cdot [(A^{n-})_{x/n} \cdot yH_2O]^x$ where M^{2+} , M^{3+} and A^{n-} are divalent metal cations, trivalent metal cations and interlayer anions, respectively. There are lot of potentials of changing the structure of these LDH such as (1) type of metallic cation, (2) change in composition, (3) change of interlayer anions, and (4) combination of different metals in LDHs. The ease of synthesis, low costs and natural sources attract the researcher to work on layered double hydroxide (LDH) [1]. One of the applications of LDH is in polymer nanocomposites. Previously, bi-metallic combination of different LDH have been used in polymers as flame retardant [2], catalyst [3] and for slow release in medical application [4]. But LDHs containing

transition metals with combinations of three metals are rarely studied in polymer nanocomposites and the use of ternary metallic LDH in polymers is still undeveloped field of research. In this research work, ternary metal (MgFeAl) LDH were synthesized via urea hydrolysis with 5 % and 10 % of iron (Fe) substitution in MgAl LDH. These LDH (MgFeAl(0), MgFeAl(5), and MgFeAl(10)) were then used in polypropylene (PP) with a loading of 2.5 wt.%, 5 wt.%, and 7.5 wt.% to prepare polypropylene (PP) nanocomposites via melt mixing (Fig.1). Mechanical, thermal and rheological properties were determined for these MgFeAl-LDH/polypropylene (PP) nanocomposites to investigate that either faster degradation is occurring or not in iron (Fe) containing PP nanocomposites (Fig.1) [5].

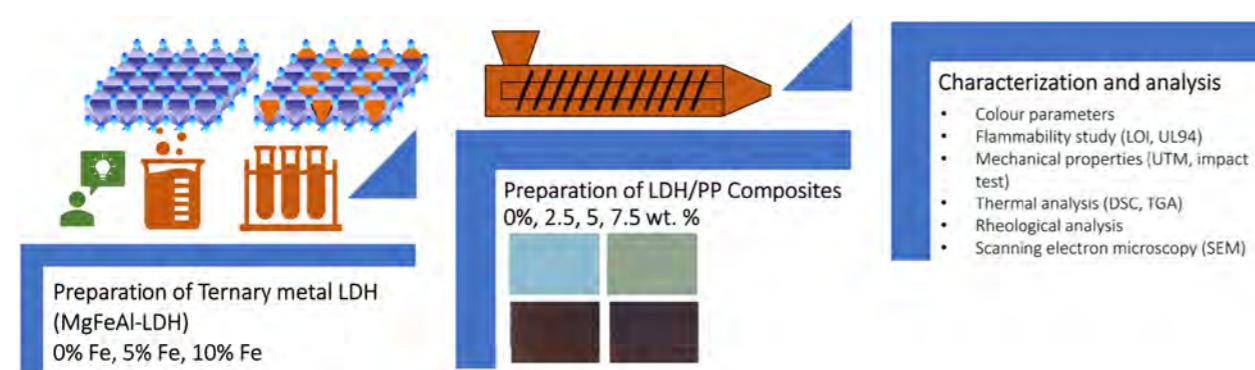


Fig. 1 Synthesis and characterization of ternary metal (MgFeAl) LDH based PP nanocomposites [5]

A detailed analysis of synthesized LDH and their PP nanocomposites using XRD spectroscopy, rheology, flammability, color parameters (L^* , a^* , b^*), mechanical properties, thermal behavior and morphological analysis of LDH/PP nanocomposites was conducted.

SEM and XRD results of MgFeAl-LDH are shown in Fig. 2, which are indicating well crystalline structure of these LDH. Iron (Fe) substitution in MgAl LDH can change the layered structure, particle size and surface area of LDH (Fig. 2).



Fig. 2 SEM and XRD analysis of ternary metal (MgFeAl) LDH [6]

Due to the presence of Fe, thermal behavior of the nanocomposites is altered, showing a lower degradation temperature than Fe free LDH-PP nanocomposites. Thus, the degradation of PP is enhanced in case of Fe containing LDH nanocomposites. Due to the alteration of the layer structure of LDH, a higher effect of nucleation observed in DSC analysis with Fe-LDH. Rheological analysis showed lower viscosity, which was interpreted

as degradation shared with relaxation process. The flammability and rheological analysis highlighted the effect of Fe facilitating the degradation of PP and enhancing the burning rate of MgFeAl/PP nanocomposites (Fig. 3). The presence of such types of LDH in PP showed the decrease of tensile strength, which was more pronounced in the case of Fe based nanocomposites indicating catalytic effect during processing [5].

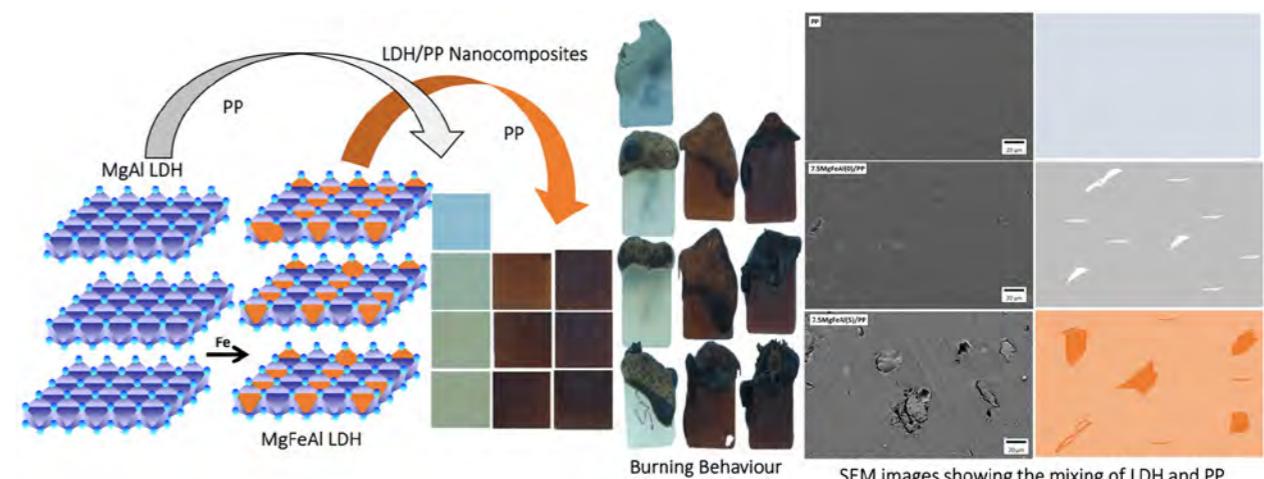


Fig. 3 Structure and images of samples prepared from ternary metal (MgFeAl) LDH/Polypropylene (PP) Nanocomposites [5]

MgFeAl-LDH could be useful where faster degradation and recycling of polymer products are required such as in the packaging industry. Organic modification can be

useful in such types of LDH where they have to be used in higher amount in polymers (Fig. 3) [5]. ■

- [1] S. Naseem, A. Leuteritz, U. Wagenknecht: Polymer Nanocomposites Based on Layered Double Hydroxides (LDHs), in Processing of Polymer Nanocomposites, S. Kenig (2019), Hanser 343-369
- [2] D.Y. Wang, A. Das, F.R. Costa, A. Leuteritz, Y.Z. Wang, U. Wagenknecht, G. Heinrich: Langmuir 17 (2010) 14162-14169
- [3] A. Das, D.Y. Wang, A. Leuteritz, K. Subramanian, H.C. Greenwell, U. Wagenknecht, G. Heinrich: Journal of Materials Chemistry 21 (2011) 7194-7200
- [4] B. Kutlu, P. Schrottner, A. Leuteritz, R. Boldt, E. Jacobs, G. Heinrich: Materials Science and Engineering 41 (2014) 8-16
- [5] S. Naseem, S. Wiefner, I. Kühnert, A. Leuteritz: Polymers 13 (19) (2021) 3452
- [6] S. Naseem, B. Gevers, R. Boldt, F.J.W.J. Labuschagné, A. Leuteritz: RSC Advances 9 (6) (2019) 3030-3040

PA-PTFE-Öl-cb-Compounds für den Einsatz als Opferelement in Schneckengetrieben

Thanh-Duong Nguyen, Thomas Schmidt, Mikhail Malanin, Holger Scheibner, Brigitte Voit, Markus Stommel, Michaela Gedan-Smolka

Bei Anwendungen unter extremen Temperaturbedingungen erfüllen konventionelle Schmierstoffe nicht mehr ihren Zweck. Daher werden häufig Festschmierstoffe verwendet, wobei Polytetrafluorethylen (PTFE) durch den besonders niedrigen Reibungskoeffizienten und weitere einzigartige Eigenschaften, wie extreme Chemikalienstabilität, besonders geeignet ist. Nachteilig ist, dass reines PTFE einen hohen Verschleiß aufweist, mit den meisten Polymermaterialien nicht kompatibel und mit thermoplastischen Verfahren nicht verarbeitbar ist. Im Gegensatz dazu lassen sich Polyamide (PA) leicht verarbeiten und haben sehr gute mechanische Eigenschaften. Basierend auf grundlegenden IPF-Arbeiten zur PTFE-Funktionalisierung über energiereiche Strahlung¹ wurde von D. Lehmann eine chemische Kopp lung von PA mit PTFE realisiert und in Tribopaarungen bei moderaten Belastungen getestet². Neben niedrigen Reibkoeffizienten zeigten die Compounds eine drastisch

verbesserte Verschleißfestigkeit. Ziele dieses Projekts waren Untersuchungen zur Eignung chemisch gekoppelter (cb) PA-PTFE-cb sowie neu entwickelter PA-PTFE-Öl-cb Compounds als Festschmierstoff-Opferelement in hochbelasteten Schneckengetrieben. Spezielle funktionelle Gruppen an den Öl molekülen sollen die Fixierung des Transferfilmes auf dem Gegenkörper verbessern.

Die Realisierung der PA-PTFE-Öl-cb Compounds erfolgte zweistufig (Abb. 1): Im ersten Schritt wurde γ -modifiziertes PTFE mit Ölen radikalisch über reaktive Feststoffextrusion gekoppelt. Die Bindung zwischen PTFE und Öl molekülen konnte indirekt über Fourier-Transform Infrarot (FTIR)-Spektroskopie nachgewiesen werden^{3,4}. Im zweiten Prozessschritt wurde PTFE-Öl-cb durch reaktive Schmelzextrusion an verschiedene PAs (PA66 und PA12) gebunden. Die entstehenden kovalenten Bindungen basieren auf Transamidierungsreaktionen².

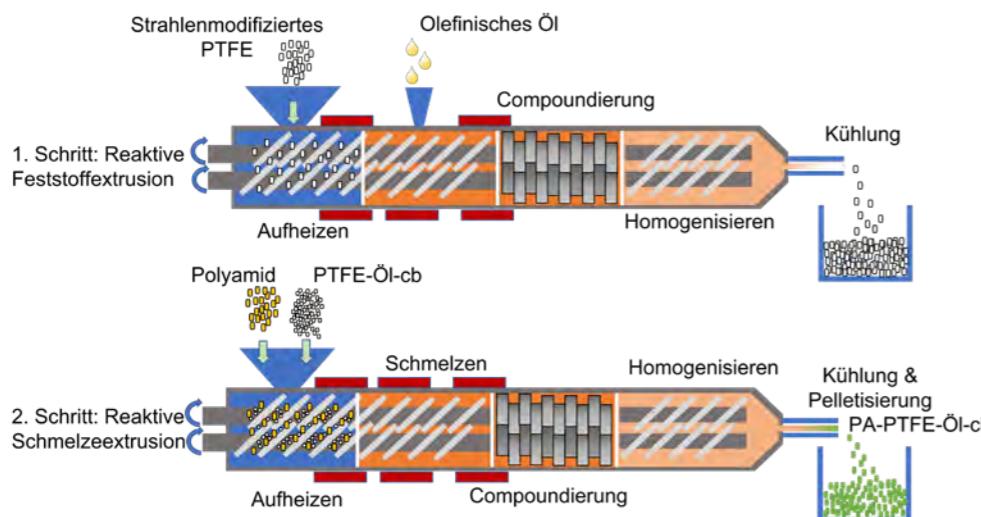


Abb. 1 Prozesse der Materialherstellung

Die Charakterisierung der resultierenden Materialien erfolgte mittels thermischer Analyse (DSC) und FT-IR³. Für die mechanischen und tribologischen Tests wurden

über Spritzgießen Vielzweckprüfkörper nach DIN EN ISO 3167 bzw. Halbzeuge hergestellt⁵.

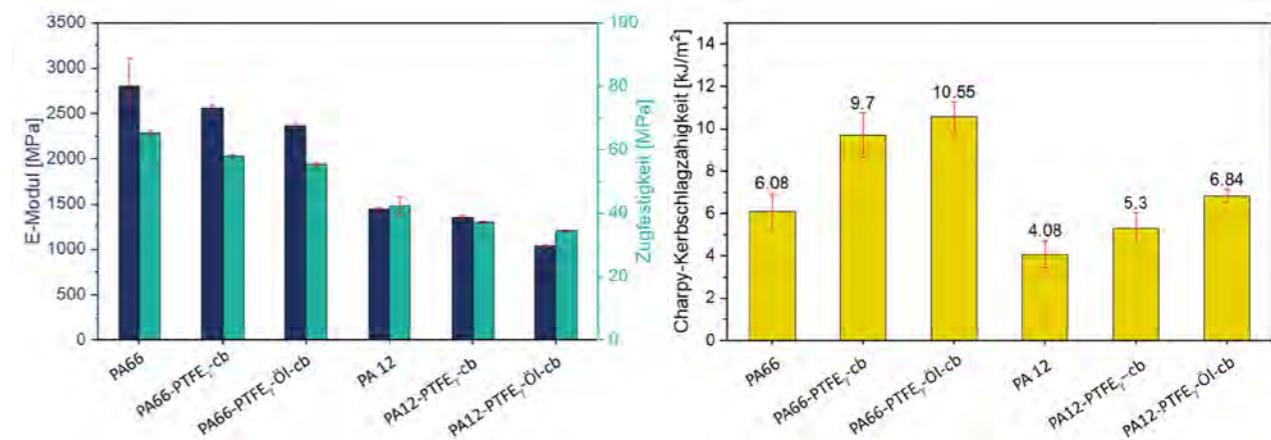


Abb. 2 Mechanische Eigenschaften der Compounds mit Methyoleat (MO) als Ölkomponente

Da 20 Gew% PTFE_y bzw. PTFE-Öl-cb chemisch in die PA-Matrix eingebaut sind, ändern sich die mechanischen Eigenschaften des Compounds gegenüber dem ursprünglichen PA (Abb. 2). PA12 zeigte eine ausgezeichnete Kompatibilisierung mit PTFE_y/PTFE-Öl-cb. Sowohl der E-Modul als auch die Zugfestigkeit der

PA12-Compounds verringern sich nur geringfügig gegenüber originärem PA12. Bei allen Compounds ist eine deutliche Erhöhung der Kerbschlagzähigkeit zu beobachten, was auf eine Wirkung des chemisch gekoppelten PTFE bzw. des PTFE-Öl-Compounds als Zähmodifikator in der PA-Matrix zurückzuführen ist⁶.

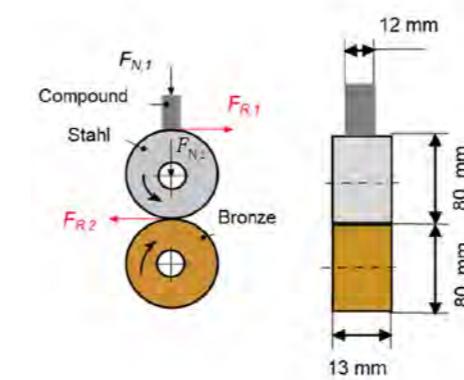
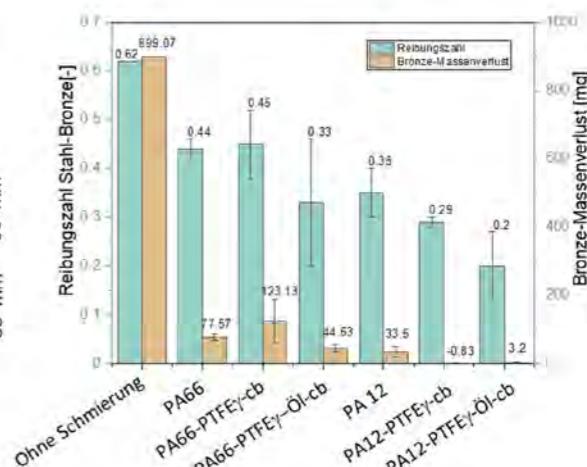


Abb. 3 Schematische Darstellung des Block-Zwei-Scheibenprüfstands und Ergebnisse



Ergebnisse aus tribologischen Tests mittels Block-Zwei-Scheibenprüfstand (Abb. 3) zeigten, dass sowohl PA-PTFE-cb als auch PA-PTFE-Öl-cb Compounds auf Basis von PA12 im Vergleich zu anderen PA-Typen

die niedrigsten Reibungszahlen im Stahl-Bronze-Kontakt liefern. Außerdem reduzieren die PA12-Compounds den Verschleiß der Bronzescheibe auf ein Minimum. ■

Gefördert durch

DFG-SPP2074 (GZ: GE 2635/2-1)

Kooperationspartner

- Prof. B. Sauer, L. S. Kamga; Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik (MEGT), Technische Universität Kaiserslautern
- Prof. M. Kopnarski, Dr. S. Emrich; Institut für Oberflächen- und Schichtanalytik (IFOS), Kaiserlautern

- [1] K. Lunkwitz et al.: Journal of Fluorine Chemistry 125 (2004) 863–873
- [2] D. Lehmann et al.: Designed Monomers and Polymers 5: 2-3 (2002) 317-324
- [3] T. D. Nguyen et al.: Solid State Phenomena 320 (2021) 113-118
- [4] T. D. Nguyen et al.: Proceedings of the Estonian Academy of Sciences 70 (2021) 4, 493-499
- [5] L. Simo Kamga et al.: Tribologie und Schmierungstechnik 68 (2021) 28-38
- [6] T. D. Nguyen et al.: 62. Tribologie-Fachtagung 33 (2021) 1-10

Mesoporöse Poly(melamin-co-formaldehyd)-Partikel: Herstellung, Charakterisierung und Anwendung

Konstantin Borchert, Dana Schwarz, Simona Schwarz

Etwa 785 Mio. Menschen weltweit haben weiterhin keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser und etwa 144 Mio. sind hiervon für die Versorgung allein auf Oberflächengewässer angewiesen. Durch die weltweit voranschreitende Industrialisierung und die gleichzeitig wachsende Weltbevölkerung macht dies Wasserverschmutzung zu einem der drängendsten Probleme unserer Zeit. Durch übermäßige Verwendung von Düngemitteln, Bodenerosion durch Landwirtschaft, Verwendung von synthetischen Reinigungsmitteln oder Verbrennen von fossilen Rohstoffen kommt es zum Beispiel zur Verschmutzung mit Oxyanionen wie Sulfat oder Phosphat. Sulfat ist für verschiedene aquatische Lebensformen giftig und kann mikrobiologisch in giftigen Schwefelwasserstoff umgewandelt werden. Phosphat ist für die meisten Gewässer ein wachstumslimitierender Faktor und somit entscheidend für schädliche Algenblüten und Eutrophierung. Dies führt zum Beispiel zu Sauerstoffmangel und Faulschlammbildung

und bedroht viele aquatische Lebensformen. Außerdem ist Phosphor aus Gesteinsressourcen endlich, während sein Bedarf mit der wachsenden Weltbevölkerung rapide ansteigt. Phosphor gilt als nicht ersetzbar für die Landwirtschaft. Es wird erwartet, dass die Erschöpfung der Gesteinsressourcen etwa in 50 – 100 Jahren eintreten könnte. Zur Entfernung von Schadstoffen stellt Adsorption auf funktionellen Oberflächen einen der energieeffizientesten Prozesse dar. Ein hierfür geeignetes Material stellt Poly(melamin-co-formaldehyd) (PMF) dar, welches aus den großtechnisch verfügbaren Monomeren Melamin und Formaldehyd hergestellt wird. Das entstehende PMF-Netzwerk zeigt eine sehr hohe Beständigkeit gegen Säuren, Basen, Lösungsmittel und hohe Temperaturen. PMF besteht außerdem aus bis zu 50 % Stickstoff-Funktionalitäten wie Aminen, welche beispielsweise eine ionische Bindung von Störstoffen im protontierten Zustand ermöglichen. All diese Eigenschaften machen PMF zu einem hervorragenden Adsorbermaterial.

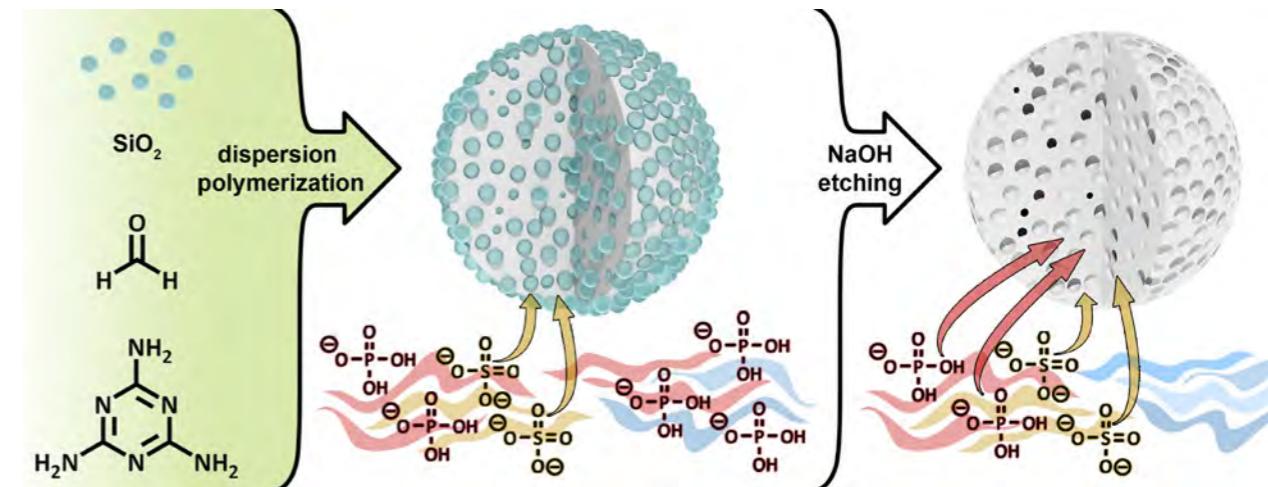


Abb. Schematische Darstellung der Silica-PMF-Hybridpartikel mit selektiver Sulfationen-Adsorption und der porösen PMF-Partikel, welche sowohl Sulfat- als auch Phosphationen adsorbieren.

Wir arbeiten an einem einfachen und rein wasserbasierten, grünen Konzept für die Synthese von mesoporösen PMF-Partikeln, bei dem Silica-Nanopartikel als Hard Template verwendet werden. Hieraus erhalten wir die Silica-PMF-Hybridmaterialien. Durch Entfernen des Silicas mit NaOH werden sphärische PMF-Partikel mit einheitlichen Mesoporen hergestellt. Es werden spezifische Oberflächen bis zu $410 \text{ m}^2/\text{g}$ erhalten und Partikel mit Durchmessern von mehreren hundert Nanometern. Beim Einsatz der mesoporösen PMF-Partikel zur Adsorption von Sulfat- und Phosphationen aus verdünnter Schwefel- bzw. Phosphorsäure zeigen sich extrem hohe Adsorptionskapazitäten von bis zu 251 mg Sulfationen je g PMF-Partikel und 341 mg Phosphationen je g. Hierbei entscheidet die Porenstruktur maßgeblich über die Adsorptionskapazität. Die Adsorptionskapazität der Silica-PMF-Hybridpartikel ist wesentlich niedriger. Allerdings zeigte sich in den Adsorptionsexperimenten mit Phosphat- und Sulfat-Gemischen an

Hybridpartikeln eine sehr hohe Selektivität zur Sulfatadsorption. Selbst bei einem 2:1 Überschuss von Phosphationen wurden 22mal mehr Sulfationen abgetrennt. Diese Ergebnisse könnten signifikant zur Rückgewinnung von Phosphationen aus Recyclingabwässern von Lithiumbatterien beitragen, in denen sowohl Sulfat- als auch Phosphationen in hohen Konzentrationen vorliegen. Eine Trennung wird momentan jedoch meistens als wirtschaftlich irrelevant eingestuft. ■

Gefördert durch

EU-Projekt, Eranet

Kooperationspartner

- Dr. Mihai, Institute of Macromolecular Chemistry Petru Poni, Iasi, Rumänien
- Dr. Bratskaya, Far east Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russland

- [1] K. B. L. Borchert, C. Steinbach, B. Reis, N. Gerlach, P. Zimmermann, S. Schwarz, D. Schwarz: *Molecules* 26 (2021) 6615
[2] M. Farmer in *Phosphorus: Polluter and Resource of the Future – Removal and Recovery from Wastewater* (Hrsg.: C. Schaum), International Water Association (2018), 35–55
[3] H. Wang, Q. Zhang, *International journal of environmental research and public health* 16 (2019) 1914

Ergebnisse in Zahlen

Publikationen

▪ 647 Publikationen

davon 348 Artikel in Fachzeitschriften

▪ 2 Bücher und 3 Buchbeiträge

Patente

ANMELDUNGEN (Erstanmeldungen 2021)

▪ 6 Patente und 1 Wortmarke angemeldet

▪ 2 patentfähige Erfindungen auf Industrie- und Kooperationspartner übertragen

▪ 34 Nachanmeldungen (national und international) hinterlegt

ERTEILUNGEN

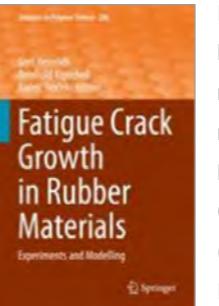
▪ 12 Patente erteilt

davon 6 in Deutschland (DE), 3 in Europa (EP), 1 in Brasilien (BR),

1 in den Kanada (CA) und 1 in Australien (AU)

Publikationen

Bücher



Heinrich, G.; Kipscholl, R.; Stoeck, R.:
Fatigue crack growth in rubber materials: experiments and modelling. - / G. Heinrich, R. Kipscholl, R. Stoeck [Eds.]. - Cham : Springer, 2021. - 491 Seiten
(Advances in Polymer Science ; 286)
ISBN 978-3-030-68919-3

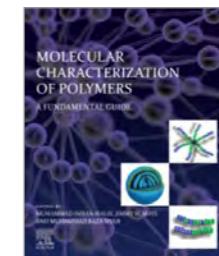


Baitinger, M.; Kahlmeyer, M.; Müller, A.; Dähne, L.; Pritz, M.; Riske, T.; Kaden, D.; Eckhardt, S.; Koch, C.:
Intelligenter Silikonklebstoff zur visuellen Schadensdetektion für tragende Stahl-Glas-Verbindungen. - in: Glasbau 2021 / Bernhard Weller, Silke Tasche (Hrsg.). - Berlin : Ernst, Wilhelm & Sohn, 2021. - S. 215-229,
ISBN 978-3-433-03327-2



Schaum, C.; Krause, S.; Wick, N.; ...; Fischer, D.; Fischer, F.; et al.,:
Lösungsstrategien zur Verminderung von Einträgen von urbanem Plastik in limnische Systeme - PLASTRAT.- Neubiberg : Universitätsbibliothek der Universität der Bundeswehr München, 2021. - 69 Seiten (Mitteilungen - Institut für Wasserwesen ; 134)
ISBN 978-3-943207-52-1

Fritsch, M.; Coeler, M.; Kunz, K.; Krause, B.; Marcinkowski, P.; Pötschke, P.; Wolter, M.; Michaelis, A.:
Lightweight polymer-carbon composite current collector for lithium-ion batteries. - in: Lithium-Ion Batteries - Latest Advances and Prospects / M. Rahimi (Ed.). - Basel [u.a.] : MDPI, 2021. - S. 7-24
ISBN 978-3-0365-0585-5



Lederer, A.; Brandt, J.:
Multidetector size exclusion chromatography of polymers. - in: Molecular Characterization of Polymers: A Fundamental Guide / M. I. Malik, J. Mays, M. R. Shah (Eds.). - Elsevier, 2021. - S. 61-96,
ISBN 978-0-12-819768-4

Abgeschlossene Graduiierungsarbeiten

▪ 18 Promotionen

▪ 31 Diplom- und Masterarbeiten

▪ 10 Bachelorarbeiten

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

Abdoli, I. ; Sharma, A. :

Stochastic resetting of active

Brownian particles with Lorentz force. -

Soft Matter 17 (2021)5. - S. 1307-1316

Abdoli, I. ; Wittmann, R. ; Brader, J. M. ;
Sommer, J.-U. ; Löwen, H. ; Sharma, A. :

Brownian magneto-gyrorator as a tunable microengine. -

arXiv:2110.05284 [cond-mat.stat-mech] (2021). - 14 Seiten

Abzan, M. S. ; Mirzaee, R. ; Ahmadi, S. ;
Karimpour-Motlagh, N. ; Khonakdar, H. A. :

Affected polymer layer and thermo-mechanical behavior correlation in nylon-6/polycarbonate/graphene-oxide nanocomposites: a quantitative study of polymorphism. -

Thermochimica Acta 703 (2021). - Article Number: 178995

Adamczak, D. ; Passarella, B. ; Komber, H. ;
Becker-Koch, D. ; Dolynchuk, O. ; Schmidt, S. B. ;
Vaynzof, Y. ; Caironi, M. ; Sommer, M. :

Temperature-dependent morphology-electron mobility correlations of naphthalene diimide-indacenodithiophene copolymers prepared via direct arylation polymerization. -

Materials Advances 2 (2021)24. - S. 7881-7890



Adamczak, D. ; Perinot, A. ; Komber, H. ;
Illy, A. ; Hultmark, S. ; Passarella, B. ;
Anju, ; Yadav, R. S. ; Pötschke, P. ; Pionteck, J. ; Krause, B. ;
Tan, W. L. ; Hutsch, S. ; Becker-Koch, D. ;
Rapley, C. ; Scaccabarozzi, A.D. ;
Heeney, M. ; Vaynzof, Y. ;
Ortmann, F. ; McNeill, C. R. ; Müller, C. ;
Caironi, M. ; Sommer, M. :

Influence of synthetic pathway, molecular weight and side chains on properties of indacenodithiophene-benzothiadiazole copolymers made by direct arylation polycondensation. -

Journal of Materials Chemistry C 9 (2021)13. - S. 4597-4606

Aftenieva, O. ; Schletz, D. ; Meyer, A. ; Kühne, T. ;
Schmalzriedt, S. ; Niethammer, M. ; König, T. A. F. :
Development of a teaching platform about plasmonics based on the color perception of colloidal gold. -

Journal of Chemical Education 98 (2021)8. - S. 2566-2573

Aftenieva, O. ; Schnepf, M. J. ; Mehlhorn, B. ; König, T. A. F. :

Tunable circular dichroism by photoluminescent moire gratings. -

Advanced Optical Materials 9 (2021)4. - Article Number: 2001280

Ajayakumar, M. R. ; Ma, J. ; Lucotti, A. ; Schellhammer, K. S. ;
Serra, G. ; Dmitrieva, E. ; Rosenkranz, M. ; Komber, H. ; Liu, J. ;
Ortmann, F. ; Tommasini, M. ; Feng, X. :

Persistent peri-heptacene: synthesis and *in situ* characterization. -

Angewandte Chemie - International Edition 60 (2021)25. - S. 13853-13858

Angotzi, M. S. ; Mameli, V. ; Cara, C. ; Borchert, K. ;
Steinbach, C. ; Boldt, R. ; Schwarz, D. ; Cannas, C. :

Meso- and macroporous silica-based arsenic adsorbents: effect of pore size, nature of the active phase, and silicon release. -

Nanoscale Advances 3 (2021)21. - S. 6100-6113

Anh, M.L. ; Potapov, P. ; Wolf, D. ; Lubk, A. ; Glatz, B.A. ;

Fery, A. ; Doert, T. ; Ruck, M. :

Freestanding nanolayers of a wide-gap topological insulator through liquid-phase exfoliation. -

Chemistry - A European Journal 27 (2021)2. - S. 794-801

Anju, ; Yadav, R. S. ; Pötschke, P. ; Pionteck, J. ; Krause, B. ;
Kurikta, I. ; Vilcakova, J. ; Skoda, D. ; Urbánek, P. ; Machovsky, M. ;

Masar, M. ; Urbánek, M. ; Jurca, M. ; Kalina, L. ; Havlica, J. :

High-performance, lightweight, and flexible thermoplastic polyurethane nanocomposites with Zn₂₊-substituted CoFe₂O₄ nanoparticles and reduced graphene oxide as shielding materials against electromagnetic pollution. -

ACS Omega 6 (2021)42. - S. 28098-28118

Armakavicius, N. ; Kuhne, P. ; Eriksson, J. ;

Bouhafs, C. ; Stanishev, V. ; Ivanov, I. G. ;

Yakimova, R. ; Zakharov, A.A. ;

Al-Temimi, A. ; Coletti, C. ;

Schubert, M. ; Darakchieva, V. :

Resolving mobility anisotropy in quasi-free-standing epitaxial graphene by terahertz optical Hall effect. -

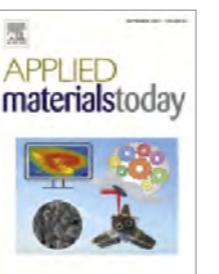
Carbon 172 (2021). - S. 248-259

Azadi, F. ; Jafari, S.H. ; Khonakdar, H. A. ; Arjmand, M. ;

Wagenknecht, U. ; Altstädt, V. :

Influence of graphene oxide on thermally induced shape memory behavior of PLA/TPU blends: Correlation with morphology, creep behavior, crystallinity, and dynamic mechanical properties. -

Macromolecular Materials and Engineering 306 (2021)2. - Article Number: 2000576



Banerjee, S. S. ; Arief, I. ; Berthold, R. ;
Wiese, M. ; Bartholdt, M. ; Ganguli, D. ;
Mitra, S. ; Mandal, S. ; Wallaschek, J. ;
Raatz, A. ; Heinrich, G. ; Das, A. :

Super-elastic ultrasoft natural rubber-based piezoresistive sensors for active sensing interface embedded on soft robotic actuator. -

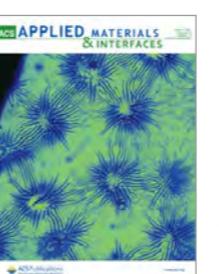
Applied Materials Today 25 (2021). - Article Number: 101219

Banerjee, S. S. ; Banerjee, S. ; Wiesner, S. :

Janke, A. ; Heinrich, G. ; Das, A. :

A new route to highly stretchable and soft inorganic-organic hybrid elastomers using polydimethylsiloxane as crosslinker of epoxidized natural rubber. -

Macromolecular Materials and Engineering 306 (2021)11. - Article Number: 2100380



Banerjee, S. S. ; Mandal, S. ; Arief, I. ;
Layek, R. K. ; Ghosh, A. K. ; Yang, K. ;
Kumar, J. ; Formanek, P. ; Fery, A. ;
Heinrich, G. ; Das, A. :

Designing supertough and ultra-stretchable liquid metal-embedded natural rubber composites for soft-matter engineering. -

ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)13. - S. 15610-15620

Bartholomay, S. ; Wester, T.T.B. ; Perez-Becker, S. ; Konze, S. ;
Menzel, C. ; Hölling, M. ; Spickenheuer, A. ; Peinke, J. ;
Nayeri, C.N. ; Paschereit, C. O. ; Oberleithner, K. :

Pressure-based lift estimation and its application to feedforward load control employing trailing-edge flaps. -

Wind Energy Science 6 (2021)1. - S. 221-245

Basu, D. ; Banerjee, S. S. ; Debnath, S. ; Malanin, M. ;

Amirova, L. R. ; Dubois, P. ; Heinrich, G. ; Das, A. :

Unusual low temperature relaxation behavior of crosslinked acrylonitrile-butadiene co-polymer. -

Polymer 212 (2021). - Article Number: 123309

Bell, A. K. ; Kind, J. ; Hartmann, M. ; Kresse, B. ; Höfler, M. V. ;
Straub, B. ; Auernhammer, G. ; Vogel, M. ; Thiele, C. M. ; Stark, R. W. :

Concentration gradients in evaporating binary droplets probed by spatially resolved Raman and NMR spectroscopy. -

arXiv:2106.15447 [physics.app-ph] (2021). - S. 1-17

Benseny-Cases, N. ; Alvarez-Marimon, E. ; Aso, E. ; Carmona, M. ;
Klementeva, O. ; Appelhans, D. ; Ferrer, I. ; Caldera, J. :

In situ identification and G4-PPI-His-Mal-dendrimer-induced reduction of early-stage amyloid aggregates in Alzheimer's disease transgenic mice using synchrotron-based infrared imaging. -

Scientific Reports 11 (2021)1. - Article Number: 18368



Besford, Q.A. ; Yong, H. ; Merlitz, H. ;
Christofferson, A.J. ; Sommer, J.-U. ;
Uhlmann, P. ; Fery, A. :

FRET-integrated polymer brushes for spatially resolved sensing of changes in polymer conformation. -

Angewandte Chemie - International Edition 60 (2021)30. - S. 16600-16606

Beyer, C. D. ; Thavalingam, S. ; Guseva, T. ;
Schardt, L. ; Zimmermann, R. ; Werner, C. ; Dietze, P. ;
Bandow, J. E. ; Metzler-Nolte, N. ; Rosenhahn, A. :

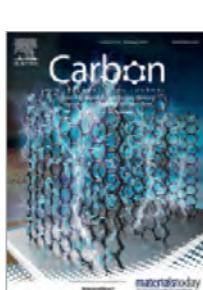
Zwitterionic peptides reduce accumulation of marine and freshwater biofilm formers. -

ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)42. - S. 49682-49691

Binder, S. ; Zschoche, St. ; Voit, B. ; Gerlach, G. :

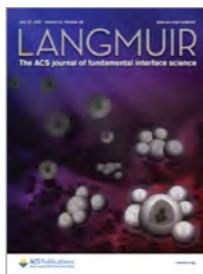
Semi-interpenetrating polymer networks based on N-isopropylacrylamide and 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid for intramolecular force-compensated sensors. -

Journal of the Electrochemical Society 167 (2021). - Article Number: 167521



Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden

Bittrich, E. ; Domke, J. ; Levichkova, M. ; Jehnichen, D. ;
 Bittrich, L. ; Janke, A. ; Formanek, P. ; Hübner, R. ;
 Uhlmann, P. ; Eichhorn, K.-J. ; Forker, R. ; Gruenewald, M. ;
 Al-Hussein, M. ; Fritz, T. ; Walzer, K. :
Structural templating of an organic solar cell absorber by ellagic acid to tune its aggregation, molecular orientation, and optical properties. -
ACS Applied Energy Materials 4 (2021)12. - S. 14273-14286



Bogar, M. S. ; Beuermann, S. ; Dmitrieva, E. ;
 Drache, M. ; Gohs, U. ; Kunz, U. ; Lemmermann, T. ;
 Rosenkranz, M. ; Stehle, M. ; Zschech, C. :
Quantitative EPR study of poly(vinylidene fluoride) activated by electron beam treatment. -
Radiation Physics and Chemistry 184 (2021). - Article Number: 109421

Boldt, R. ; Spörer, Y. ; Janke, A. ; Kühnert, I. :
Polyamide - insights into its process-induced morphologies. -
Imaging & Microscopy 23 (2021)1. - S. 28-29

Bompadre, F. ; Scheffler, C. ; Utech, T. ; Donnini, J. :
Polymeric coatings for AR-glass fibers in cement-based matrices: effect of nanoclay on the fiber-matrix interaction. -
Applied Sciences 11 (2021)12. - Article Number: 5484

Borchert, K. ; Boughanmi, R. ; Reis, B. ; Zimmermann, P. ;
 Steinbach, C. ; Graichen, P. ; Svirepa, A. ; Schwarz, J. ;
 Boldt, R. ; Schwarz, S. ; Mertig, M. ; Schwarz, D. :
Removal of lead, cadmium, and aluminum sulfate from simulated and real water with native and oxidized starches. -
Polysaccharides 2 (2021)2. - S. 429-453

Borchert, K. ; Steinbach, C. ; Reis, B. ; Gerlach, N. ;
 Zimmermann, P. ; Schwarz, S. ; Schwarz, D. :
Mesoporous poly(melamine-co-formaldehyde) particles for efficient and selective phosphate and sulfate removal. -
Molecules 26 (2021)21. - Article Number: 6615

Borchert, K. ; Steinbach, C. ; Schwarz, S. ; Schwarz, D. :
A comparative study on the flocculation of silica and china clay with chitosan and synthetic polyelectrolytes. -
Marine Drugs 19 (2021)2. - Article Number: 102

Branda, F. ; Bifulco, A. ; Jehnichen, D. ;
 Parida, D. ; Pauer, R. ; Passaro, J. ;
 Gaan, S. ; Pospiech, D. ; Durante, M. :
Structure and bottom-up formation mechanism of multi-sheet silica-based nanoparticles formed in an epoxy matrix through an *in situ* process. -
Langmuir 37 (2021)29. - S. 8886-8893

Brandt, J. ; Fischer, F. ; Kanaki, E. ; Enders, K. ; Labrenz, M. ; Fischer, D. :
Assessment of subsampling strategies in micro-spectroscopy of environmental microplastic samples. -
Frontiers in Environmental Science 8 (2021). - Article Number: 579676

Bräuer, M. ; Schneider, K. :
Experimentelle Aspekte der Bestimmung der Verbundfestigkeit mittels Peeltest. -
GAK : Gummi Fasern Kunststoffe 74 (2021)9. - S. 366-372

Breuer, K. ; Spickenheuer, A. ; Stommel, M. :
Statistical analysis of mechanical stressing in short fiber reinforced composites by means of statistical and representative volume elements. -
Fibers 9 (2021)5. - Article Number: 32

Breuer, K. ; Stommel, M. :
Prediction of short fiber composite properties by an artificial neural network trained on an RVE database. -
Fibers 9 (2021)2. - Article Number: 8

Cao, X.-Z. ; Merlitz, H. ; Wu, C.-X. ; Forest, M.G. :
Chain stiffness boosts active nanoparticle transport in polymer networks. -
Physical Review E 103 (2021)5. - Article Number: 052501

Chae, S. ; Choi, W.J. ; Fotev, I. ; Bittrich, E. ;
 Uhlmann, P. ; Schubert, M. ; Makarov, D. ;
 Wagner, J. ; Pashkin, A. ; Fery, A. :
Stretchable thin film mechanical-strain-gated switches and logic gate functions based on a soft tunneling barrier. -
Advanced Materials 33 (2021)41. - Article Number: 2104769

Chang, B. ; Shi, H. ; He, M. ; Schneider, K. ;
 Heinrich, G. ; Liu, C. ; Shen, C. :
The retardation effects of lamellar slip or/and chain slip on void initiation during uniaxial stretching of oriented iPP. -
Polymer 215 (2021). - Article Number: 123342

Chasan, S. ; Hesse, E. ; Atallah, P. ; Gerstner, M. ; Diederichs, S. ;
 Schenker, A. ; Grobe, K. ; Werner, C. ; Richter, W. :
Sulfation of glycosaminoglycan hydrogels instructs cell fate and chondral versus endochondral lineage decision of skeletal stem cells *in vivo*. -
Advanced Functional Materials (2021). - Article Number: 2109176

Chattopadhyay, P. ; Magdanz, V. ; Borchert, K. ;
 Schwarz, D. ; Simmchen, J. :
Size dependent inhibition of sperm motility by copper particles as a path towards reversible male contraception. -
ChemRxiv (2021). - DOI: 10.26434/chemrxiv-2021-zmv6h

Chen, J. ; Dai, S. ; Liu, L. ; Maitz, M.F. ;
 Liao, Y. ; Cui, J. ; Zhao, A. S. ; Yang, P. ;
 Huang, N. ; Wang, Y. :
Photo-functionalized TiO₂ nanotubes decorated with multifunctional Ag nanoparticles for enhanced vascular biocompatibility. -
Bioactive Materials 6 (2021)1. - S. 45-54

Chen, J. ; Schneider, K. ; Heinrich, G. :
In situ synchrotron X-ray study on the structure variation of morphology-identified injection-molded β-nucleated iPP under tensile deformation. -
Polymers 13 (2021)21. - Article Number: 3730

Chougale, S. ; Romeis, D. ; Saphiannikova, M. :
Transverse isotropy in magnetoactive elastomers. -
Journal of Magnetism and Magnetic Materials 523 (2021). - Article Number: 167597

Chougale, S. ; Romeis, D. ; Saphiannikova, M. :
Field-induced transversely isotropic shear response of ellipsoidal magnetoactive elastomers. -
Materials 14 (2021)14. - Article Number: 3958

Chowdhury, S.G. ; Chanda, J. ; Ghosh, S. ; Pal, A. ; Ghosh, P. ;
 Bhattacharyya, S.K. ; Mukhopadhyay, R. ; Banerjee, S. S. ; Das, A. :
Morphology and physico-mechanical threshold of a-cellulose as filler in an E-SBR composite. -
Molecules 26 (2021)3. - Article Number: 694

Constante, G. ; Apsite, I. ; Alkhamis, H. ;
 Dulle, M. ; Schwarzer, M. ; Caspari, A. ;
 Synytska, A. ; Salehi, S. ; Ionov, L. :
4D biofabrication using a combination of 3D printing and melt-electrowriting of shape-morphing polymers. -
ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)11. - S. 12767-12776

Cui, D. ; Kong, N. ; Ding, L. ; Guo, Y. ;
 Yang, W. ; Yan, F. :
Ultrathin 2D titanium carbide MXene (Ti₃C₂T_x) nanoflakes activate WNT/HIF-1 alpha-mediated metabolism reprogramming for periodontal regeneration. -
Advanced Healthcare Materials 10 (2021)22. - Article Number: 2101215

Curosu, I. ; Mechtcherine, V. ; Vo, D.M.P. ; Sennewald, C. ;
 Cherif, C. ; Wölfel, E. ; Scheffler, C. ; Gong, T. ; Heravi, A. ;
 Tamsen, E. ; Balzani, D. ; Shehni, A. ; Häußler-Combe, U. ;
 Fuchs, A. ; Kaliske, M. ; Scope, C. ; Günther, E. :
Impaktsicherheit von Baukonstruktionen durch mineralisch gebundene Komposite: Materialebene. -
Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021)1. - S. 45 - 57

Dabbagh, A. ; Ramazani, A. ; Farshchi, N. ;
 Rezaei, A. ; Bodaghi, A. ; Rezayati, S. :
Synthesis, physical and mechanical properties of amphiphilic hydrogels based on polycaprolactone and polyethylene glycol for bioapplications: A review. -
Journal of Industrial and Engineering Chemistry 101 (2021). - S. 307-323

Damampai, K. ; Pichaiyut, S. ; Mandal, S. ; Wiesner, S. ; Das, A. ; Nakason, C. : **Internal polymerization of epoxy group of epoxidized natural rubber by ferric chloride and formation of strong network structure.** - Polymers 13 (2021)23. - Article Number: 4145



Dan, L. ; Cheng, Q. ; Narain, R. ; Krause, B. ; Pötschke, P. ; Elias, A. : **Three-dimensional printed and biocompatible conductive composites comprised of polyhydroxybutyrate and multiwalled carbon nanotubes.** - Industrial & Engineering Chemistry Research 60 (2021)2. - S. 885-897

Dedova, S. ; Schneider, K. ; Stommel, M. ; Heinrich, G. : **Dissipative heating, fatigue and fracture behaviour of rubber under multiaxial loading.** - Advances in Polymer Science 286 (2021). - S. 421-443

Ditte, K. ; Kiriy, N. ; Perez, J. ; Hambach, M. ; Mannsfeld, S. ; Krupskaya, Y. ; Maragani, R. ; Voit, B. ; Lissel, F. : **Charge carrier mobility improvement in diketopyrrolopyrrole block-copolymers by shear coating.** - Polymers 13 (2021)9. - Article Number: 1435

Ditte, K. ; Nguyen Le, T. A. ; Ditzer, O. ; Sandoval Bojorquez, D. I. ; Chae, S. ; Bachmann, M. ; Baraban, L. ; Lissel, F. : **Rapid detection of SARS-CoV-2 antigens and antibodies using OFET biosensors based on a soft and stretchable semiconducting polymer.** - ACS Biomaterials Science & Engineering (2021). - DOI: 10.1021/acsbiomaterials.1c00727



Ditte, K. ; Perez, J. ; Chae, S. ; Hambach, M. ; Al-Hussein, M. ; Komber, H. ; Formanek, P. ; Mannsfeld, S. ; Fery, A. ; Kiriy, A. ; Lissel, F. : **Ultrasoft and high-mobility block copolymers for skin-compatible electronics.** - Advanced Materials 33 (2021)4. - Article Number: 2005416

Dittfeld, C. ; König, U. ; Welzel, C. ; Jannasch, A. ; Matschke, K. ; Sperling, C. ; Tugtekin, S.-M. ; Maitz, M.F. : **Haemocompatibility testing allows selective adaption of GA-free SULEI-preparation strategy for bovine pericardium.** - European Heart Journal 42 (2021) Suppl. 1. - S. 3336-3336

Dominguez, S. E. ; Kohn, B. ; Ääritalo, T. ; Damlin, P. ; Scheler, U. ; Kvärnström, C. : **Cationic polythiophene-anionic fullerene pair in water and water-dioxane: studies on hydrogen bonding capabilities, kinetic and thermodynamic properties.** - Physical Chemistry, Chemical Physics 23 (2021)37. - S. 21013-21028

Donets, S. ; Guskova, O. ; Sommer, J.-U. : **Searching for aquamelt behavior among silklike biomimetics during fibrillation under flow.** - Journal of Physical Chemistry B 125 (2021)12. - S. 3238-3250

Du, M. ; Jariyavidyanont, K. ; Kühnert, I. ; Boldt, R. ; Androsch, R. : **Effect of molar mass on critical specific work of flow for shear-induced crystal nucleation in poly (l-lactic acid).** - Polymers 13 (2021)8. - Article Number: 1266

Eggers, F. ; Almeida Jr, J.H.S. ; Lisbôa, T.V. ; Amico, S. C. : **Creep and residual properties of filament-wound composite rings under radial compression in harsh environments.** - Polymers 13 (2021)1. - Article Number: 33

Eichhorn, J. ; Elschner, C. ; Groß, M. ; Reichenbächer, R. ; Martin, A. X. H. ; Soares, A. P. ; Fischer, H. ; Kulkova, J. ; Moritz, N. ; Hupa, L. ; Stommel, M. ; Scheffler, C. ; Kilo, M. : **Spinning of endless bioactive silicate glass fibers for fiber reinforcement applications.** - Applied Sciences 11 (2021)17. - Article Number: 7927

Eigel, D. ; Schuster, R. ; Männel, M. J. ; Thiele, J. ; Panasiuk, M.J. ; Andreae, L. C. ; Varricchio, C. ; Brancale, A. ; Welzel, P. ; Huttner, W. B. ; Werner, C. ; Newland, B. ; Long, K. R. : **Sulfonated cryogel scaffolds for focal delivery in ex vivo brain tissue cultures.** - Biomaterials 271 (2021). - Article Number: 120712

Eigel, D. ; Werner, C. ; Newland, B. : **Cryogel biomaterials for neuroscience applications.** - Neurochemistry International 147 (2021). - Article Number: 105012

Entezam, M. ; Zarei, I. ; Khonakdar, H. A. : **Effect of accelerator solubility on the curing characteristics and physico-mechanical properties of SBR/NBR blends: correlation with feeding sequence and blend composition.** - Polymer Bulletin (2021). - DOI: 10.1007/s00289-021-03576-2

Euchler, E. ; Bernhardt, R. ; Schneider, K. ; Heinrich, G. ; Tada, T. ; Wiesner, S. ; Stommel, M. : **Cavitation in rubber vulcanizates subjected to constrained tensile deformation.** - Advances in Polymer Science 286 (2021). - S. 203-224

Euchler, E. ; Bernhardt, R. ; Schneider, K. ; Tada, T. ; Wiesner, S. : **Experimental study on cavitation in rubber vulcanizates subjected to constrained tensile deformation.** - PAMM (online Journal) 21 (2021)1. - Article Number: e202100023

Euchler, E. ; Bernhardt, R. ; Wilde, F. ; Schneider, K. ; Heinrich, G. ; Tada, T. ; Wiesner, S. ; Stommel, M. : **First-time investigations on cavitation in rubber parts subjected to constrained tension using *in situ* synchrotron X-ray microtomography (SR μ CT).** - Advanced Engineering Materials 23 (2021)11. - Article Number: 2001347

Fakhri, V. ; Jafari, A. ; Shafiei, M. A. ; Ehteshamfar, M. V. ; Khalighian, S. ; Hosseini, H. ; Goodarzi, V. ; Wurm, F. ; Moghaddam, M. M. ; Khonakdar, H. A. : **Development of physical, mechanical, antibacterial and cell growth properties of poly(glycerol sebacate urethane) (PGSU) with helping of curcumin and hydroxyapatite nanoparticles.** - Polymer Chemistry 12 (2021)43. - S. 6263-6282

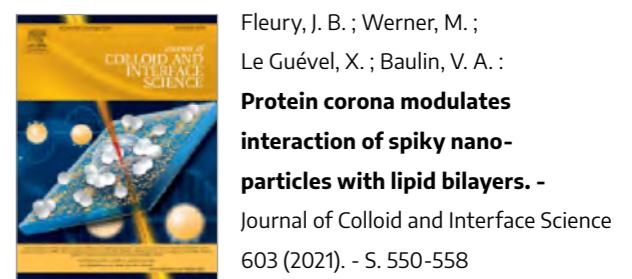
Farshchi, N. ; Gedan-Smolka, M. ; Stommel, M. : **Preparation and characterization of self-healing polyurethane powder coating using Diels-Alder reaction.** - Polymers 13 (2021)21. - Article Number: 3803



Fei, Y. ; Fu, Y. ; Bai, X. ; Du, L. ; Li, Z. ; Komber, H. ; Low, K.-H. ; Zhou, S. ; Phillips, D.L. ; Feng, X. ; Liu, J. : **Defective nanographenes containing seven-five-seven (7-5-7)-membered rings.** - Journal of the American Chemical Society 143 (2021)5. - S. 2353-2360

Ferreira, I. ; Brünig, H. ; Focke, W. W. ; Boldt, R. ; Androsch, R. ; Leuteritz, A. : **Melt-spun poly(D,L-lactic acid) monofilaments containing N,N-Diethyl-3-methylbenzamide as mosquito repellent.** - Materials 14 (2021)3. - Article Number: 638

Flemming, P. ; Münch, A. S. ; Fery, A. ; Uhlmann, P. : **Constrained thermoresponsive polymers - new insights into fundamentals and applications.** - Beilstein Journal of Organic Chemistry 17 (2021). - S. 2123-2163



Fleury, J. B. ; Werner, M. ; Le Guével, X. ; Baulin, V. A. : **Protein corona modulates interaction of spiky nanoparticles with lipid bilayers.** - Journal of Colloid and Interface Science 603 (2021). - S. 550-558

Franiak-Pietryga, I. ; Ziembka, B. ; Sikorska, H. ; Jander, M. ; Appelhans, D. ; Bryszewska, M. ; Borowiec, M. : **Neurotoxicity of poly(propylene imine) glycodendrimers.** - Drug and Chemical Toxicology (2021). - DOI: 10.1080/01480545.2020.1843472

Gahlen, P. ; Fröbel, S. ; Karbach, A. ; Gabriel, D. ; Stommel, M. : **Experimental multi-scale approach to determine the local mechanical properties of foam base material in polyisocyanurate metal panels.** - Polymer Testing 93 (2021). - Article Number: 106965 [Corr. 100(2021)107234]

Galle, T. ; Spittel, D. ; Weiss, N. ; Volodymyr, S. ; Decker, H. ; Georgi, M. ; Hübner, R. ; Metzkow, N. ; Steinbach, C. ; Schwarz, D. ; Lesnyak, V. ; Eychmüller, A. : **Simultaneous ligand and cation exchange of colloidal CdSe nanoplatelets toward PbSe nanoplatelets for application in photodetectors.** - Journal of Physical Chemistry Letters 12 (2021)21. - S. 5214-5220

Ganß, M. ; Staudinger, U. ; Satapathy, B. K. ; Leuteritz, A. ; Weidisch, R. : **Mechanism of strengthening and toughening of a nanostructured styrene-butadiene based block copolymer by oligostyrene-modified montmorillonites.** - Polymer 213 (2021). - Article Number: 123328



Geervliet, E. ; Moreno, S. ; Baiamonte, L. ; Booijink, R. ; Boye, S. ; Wang, P. ; Voit, B. ; Lederer, A. ; Appelhans, D. ; Bansal, R. : **Matrix metalloproteinase-1 decorated polymersomes, a surface-active extracellular matrix therapeutic, potentiates collagen degradation and attenuates early liver fibrosis.** - Journal of Controlled Release 332 (2021). - S. 594-607

Gehrke, I. ; Bertling, R. ; Blömer, J. ; Somborn-Schulz, A. ; Übele, S. ; Schiestel, T. ; Gawel, A. ; Schemel, C. ; Mackenzie, K. ; Wolters, R. ; Kozarischczuk, M. ; Kamp, J. ; Wessling, M. ; Simon, R. G. ; Mangold, K.-M. ; Haupt, D. ; Sievers, M. ; Muddemann, T. ; Kunz, U. ; Schießer, Y. ; Schwarz, D. ; Weißpflog, J. ; Schwarz, S. ; Wunder, A. ; Heppe, K. ; Heppe, A. ; Beery, M. : **Neue Materialien und Verfahren zur Spurenstoffelimination - eine vergleichende Messstudie zur Entfernung von Diclofenac - Teil 1: Sorption.** - KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall 68 (2021)3. - S. 193-201

KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall 68 (2021)4. - S. 273-280

Gehrke, I. ; Bertling, R. ; Blömer, J. ; Somborn-Schulz, A. ; Übele, S. ; Schiestel, T. ; Gawel, A. ; Schemel, C. ; Mackenzie, K. ; Wolters, R. ; Kozarischczuk, M. ; Kamp, J. ; Wessling, M. ; Simon, R. G. ; Mangold, K.-M. ; Haupt, D. ; Sievers, M. ; Muddemann, T. ; Kunz, U. ; Schießer, Y. ; Schwarz, D. ; Weißpflog, J. ; Schwarz, S. ; Wunder, A. ; Heppe, K. ; Heppe, A. ; Beery, M. : **Neue Materialien und Verfahren zur Spurenstoffelimination - eine vergleichende Messstudie zur Entfernung von Diclofenac - Teil 1: Sorption.** - KA : Korrespondenz Abwasser, Abfall 68 (2021)3. - S. 193-201

Geisler, M. ; Pal, T.S. ; Arnhold, K. ; Malanin, M. ; Müller, M. T. ; Voit, B. ; Pionteck, J. ; Lederer, A. : **Impact of electron beam irradiation on thermoplastic polyurethanes unraveled by thermal field-flow fractionation.** - Polymer Degradation and Stability 183 (2021). - Article Number: 109423

Ghorai, A. ; Roy, S. ; Das, S. ; Komber, H. ; Ghangrekar, M. M. ; Voit, B. ; Banerjee, S. : **Preparation of sulfonated polytriazoles with a phosphaphenanthrene unit via click polymerization: Fabrication of membranes and properties thereof.** - ACS Applied Polymer Materials 3 (2021)8. - S. 4127-4138

Ghosh, A. K. ; Sarkar, S. ; Nebel, L. ; Aftenieva, O. ; Gupta, V. ; Sander, O. ; Das, A. ; Joseph, J. ; Wiesner, S. ; König, T. A. F. ; Fery, A. : **Exploring plasmonic resonances toward „large-scale“ flexible optical sensors with deformation stability.** - Advanced Functional Materials 31 (2021)30. - Article Number: 2101959

Gögele, C. ; Konrad, J. ; Hahn, J. ; Breier, A. ; Schröpfer, M. ; Meyer, M. ; Merkel, R. ; Hoffmann, B. ; Schulze-Tanzil, G. : **Maintenance of ligament homeostasis of spheroid-colonized embroidered and functionalized scaffolds after 3D stretch.** - International Journal of Molecular Sciences 22 (2021)15. - Article Number: 8204

Gorenkova, N. ; Maitz, M.F. ; Böhme, G. ; Alhadrami, H. A. ; Jiffri, E. H. ; Totten, J. D. ; Werner, C. ; Carswell, H.V.O. ; Seib, F. P. : **The innate immune response of self-assembling silk fibroin hydrogels.** - Biomaterials Science 9 (2021)21. - S. 7194-7204

Grab, A. ; Hose, D. ; Horn, P. ; Cavalcanti-Adam, E. A. ; Seckinger, A. ; Müller, M. : **BMP-6 loaded polyelectrolyte complex nanoparticles inducing osteogenic differentiation and apoptosis of malignant plasma cells for local treatment of multiple myeloma.** - Particle and Particle Systems Characterization 38 (2021)3. - Article Number: 2000263

Gültner, M. ; Boldt, R. ; Formanek, P. ; Fischer, D. ; Simon, F. ; Pötschke, P. : **The localization behaviour of different CNTs in PC/SAN blends containing a reactive component.** - Molecules 26 (2021)5. - Article Number: 1312

Gupta, V. ; Sarkar, S. ; Aftenieva, O. ; Tsuda, T. ; Kumar, L. ; Schletz, D. ; Schultz, J. ; Kiriy, A. ; Fery, A. ; Vogel, N. ; König, T. A. F. : **Nanoimprint lithography facilitated plasmonic-photonic coupling for enhanced photoconductivity and photocatalysis.** - Advanced Functional Materials 31 (2021)36. - Article Number: 2105054

Habelt, B. ; Wirth, C. ; Afanasenkau, D. ; Mihaylova, L. ; Winter, C. ; Arvaneh, M. ; Minev, I.R. ; Bernhardt, N. : **A multimodal neuromodulatory interface to record, modulate and classify electrophysiological biomarkers relevant to neuropsychiatric disorders.** - Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 9 (2021). - Article Number: 770274

Hahn, D. ; Sonntag, J. M. ; Lück, S. ; Maitz, M.F. ; Freudenberg, U. ; Jordan, R. ; Werner, C. : **Poly(2-alkyl-2-oxazoline)-heparin hydrogels - expanding the physicochemical parameter space of biohybrid materials.** - Advanced Healthcare Materials 10 (2021)22. - Article Number: 2101327

Hait, S. ; De, D. ; Ghosh, A. K. ; Al Aiti, M. ; Ghosh, P. ; Chanda, J. ; Mukhopadhyay, R. ; Dasgupta, S. ; Wiesner, S. ; Heinrich, G. ; Das, A. : **Treasuring waste lignin as superior reinforcing filler in high cis-polybutadiene rubber: A direct comparative study with standard reinforcing silica and carbon black.** - Journal of Cleaner Production 299 (2021). - Article Number: 126841

Hait, S. ; De, D. ; Ghosh, P. ; Chanda, J. ; Mukhopadhyay, R. ; Dasgupta, S. ; Sallat, A. ; Al Aiti, M. ; Stöckelhuber, K.W. ; Wiesner, S. ; Heinrich, G. ; Das, A. : **Understanding the coupling effect between lignin and polybutadiene elastomer.** - Journal of Composites Science 5 (2021)6. - Article Number: 154

Hammons, J. A. ; Besford, Q.A. ; Ilavsky, J. ; Christofferson, A.J. : **Manipulating meso-scale solvent structure from Pd nanoparticle deposits in deep eutectic solvents.** - Journal of Chemical Physics 155 (2021)7. - Article Number: 074505

Hauck, N. ; Neuendorf, T. A. ; Männel, M. J. ; Vogel, L. ; Liu, P. ; Stündel, E. ; Zhang, Y. ; Thiele, J. : **Processing of fast-gelling hydrogel precursors in microfluidics by electrocoalescence of reactive species.** - Soft Matter 17 (2021)45. - S. 10312-10321

Hay, S. ; Leuteritz, A. ; Morgenthum, M. : **Remaining service life of preinsulated bonded pipes - A key element of transformation strategies and future district heating systems in Germany.** - Energy Reports 7 (2021). - S. 440-448

Heinrich, G. ; Kipscholl, R. ; Stocek, R. : **Preface.** - Advances in Polymer Science 286 (2021). - S. V-VII

Heinze, M. ; Horn, C. ; Pospiech, D. ; Boldt, R. ; Kobsch, O. ; Eckstein, K. ; Jehnichen, D. ; Voit, B. ; Baudis, S. ; Liska, R. ; Naumova, A. ; Saalwächter, K. ; Lendenmann, U. ; Moszner, N. : **Polymer networks for enrichment of calcium ions.** - Polymers 13 (2021)20. - Article Number: 3506

Hergl, C. ; Blecha, C. ; Kretzschmar, V. ; Raith, F. ; Günther, F. ; Stommel, M. ; Jankowai, J. ; Hotz, I. ; Nagel, T. ; Scheuermann, G. : **Visualization of tensor fields in mechanics.** - Computer Graphics Forum 40 (2021)6. - S. 135-161

Hesse, D. ; Hohenberg, P. ; Stommel, M. : **Entwicklung eines rechnergestützten Ansatzes zur Abbildung des Strangablegens in der extrusions-basierten additiven Fertigung.** - Zeitschrift Kunststofftechnik (WAK) 17 (2021)3. - S. 152-177



Hildebrandt, L. ; Zimmermann, T. ; Primpke, S. ; Fischer, D. ; Gerdts, G. ; Pröfrock, D. : **Comparison and uncertainty evaluation of two centrifugal separators for microplastic sampling.** - Journal of Hazardous Materials 414 (2021). - Article Number: 125482

Hilfiker, M. ; Korlacki, R. ; Jinno, R. ; Cho, Y. ; Xing, H. G. ; Jena, D. ; Kilic, U. ; Stokey, M. ; Schubert, M. : **Anisotropic dielectric functions, band-to-band transitions, and critical points in alpha-Ga₂O₃.** - Applied Physics Letters 118 (2021)6. - Article Number: 062103

Hilfiker, M. ; Stokey, M. ; Korlacki, R. ; Kilic, U. ; Galazka, Z. ; Irmscher, K. ; Zollner, S. ; Schubert, M. : **Zinc gallate spinel dielectric function, band-to-band transitions, and gamma-point effective mass parameters.** - Applied Physics Letters 118 (2021)13. - Article Number: 132102

Hofmaier, M. ; Urban, B. ; Lentz, S. ; Borkner, C.B. ; Scheibel, T. ; Fery, A. ; Müller, M. : **Dichroic Fourier transform infrared spectroscopy characterization of the β-sheet orientation in spider silk films on silicon substrates.** - Journal of Physical Chemistry B 125 (2021)4. - S. 1061-1071

Horak, I. ; Prylutskaya, S. ; Krysiuk, I. ; Luhovskyi, S. ; Hrabovsky, O. ; Tverdokhleb, N. ; Franskevych, D. ; Rumiantsev, D. ; Senenko, A. ; Evstigneev, M. ; Drobot, L. ; Matyshevska, O. ; Ritter, U. ; Piosik, J. ; Prylutskyy, Y. :

Nanocomplex of berberine with C60 fullerene is a potent suppressor of Lewis lung carcinoma cells invasion *in vitro* and metastatic activity *in vivo*. - Materials 14 (2021)20. - Article Number: 6114

Horatz, K. ; Giampà, M. ; Qiao, Z. ; Moestue, S. A. ; Lissel, F. : **Polymerization as a strategy to improve small organic matrices for low-molecular-weight compound analytics with MALDI MS and MALDI MS imaging.** - ACS Applied Polymer Materials 3 (2021)8. - S. 4234-4244

Horn, C. ; Ihmann, S. ; Müller, F. ; Pospiech, D. ; Borchert, K. ; Hommel, R. ; Qin, K. ; Licha, K. ; Allertz, P. J. ; Drache, M. : **Design of polymer-embedded heterogeneous fenton catalysts for the conversion of organic trace compounds.** - Processes 9 (2021)6. - Article Number: 942

Horn, C. ; Pospiech, D. ; Allertz, P. J. ; Müller, M. ; Salchert, K. ; Hommel, R. : **Chemical design of hydrogels with immobilized laccase for the reduction of persistent trace compounds in wastewater.** - ACS Applied Polymer Materials 3 (2021)5. - S. 2823-2834

Huang, T. ; Ibarlucea, B. ; Caspari, A. ; Synotska, A. ; Cuniberti, G. ; de Graaf, J. ; Baraban, L. : **Impact of surface charge on the motion of light-activated Janus micromotors.** - European Physical Journal / E 44 (2021)3. - Article Number: 39

Huang, Y. ; Müller, M. T. ; Boldt, R. ; Zschech, C. ; Gohs, U. ; Wiesner, S. : **Improved rheology, crystallization, and mechanical performance of PLA/mPCL blends prepared by electron-induced reactive processing.** - ACS Sustainable Chemistry & Engineering 9 (2021)9. - S. 3478-3489

Huang, Y. ; Müller, M. T. ; Boldt, R. ; Zschech, C. ; Gohs, U. ; Wiesner, S. : **A new strategy to improve viscoelasticity, crystallization and mechanical properties of polylactide.** - Polymer Testing 97 (2021). - Article Number: 107160



determining organic light-emitting diode performance. - Advanced Optical Materials 9 (2021)14. - Article Number: 2002153

Jaeschke, A. ; Harvey, N.R. ; Tsurkan, M. ; Werner, C. ; Griffiths, L.R. ; Haupt, L.M. ; Bray, L. : **Techniques for RNA extraction from cells cultured in starPEG-heparin hydrogels.** - Open Biology 11 (2021)6. - Article Number: 200388

Jalali, M. ; Gao, Z. ; Yu, Y. ; Moakhar, R. S. ; Ding, Y. ; Zhuang, M. ; Zhou, N. ; König, T. A. F. ; Ferry, A. ; Mahshid, S. ; Luo, Z.T. : **Synergistic enhancement of photoluminescent intensity in monolayer molybdenum disulfide embedded with plasmonic nanostructures for catalytic sensing.** - 2D Materials 8 (2021)3. - Article Number: 035049

Jariyavidyanont, K. ; Janke, A. ; Tariq, M. ; Di Lorenzo, M.L. ; Schick, C. ; Androsch, R. : **Thermal stability and nucleation efficacy of shear-induced pointlike and shishlike crystallization precursors.** - ACS Macro Letters 10 (2021)6. - S. 684-689

Jariyavidyanont, K. ; Mallardo, S. ; Cerruti, P. ; Di Lorenzo, M.L. ; Boldt, R. ; Rhoades, A. M. ; Androsch, R. : **Shear-induced crystallization of polyamide 11.** - Rheologica Acta 60 (2021)5. - S. 231-240

Jatczak-Pawlak, I. ; Gorzkiewicz, M. ; Studzian, M. ; Zinke, R. ; Appelhans, D. ; Klajnert-Maculewicz, B. ; Pulaski, L. : **Nanoparticles for directed immunomodulation: mannose-functionalized glycodendrimers induce interleukin-8 in myeloid cell lines.** - Biomacromolecules 22 (2021)8. - S. 3396-3407

Johnbosco, C. ; Zschoche, St. ; Nitschke, M. ; Hahn, D. ; Werner, C. ; Maitz, M.F. : **Bioresponsive starPEG-heparin hydrogel coatings on vascular stents for enhanced hemocompatibility.** - Materials Science and Engineering: C 128 (2021). - Article Number: 112268

Joseph, P. ; Arun, M. ; Bigger, S. ; Guerrieri, M. ; Pospiech, D. ; Harnisch, C. : **Mode of action of condensed- and gaseous-phase fire retardation in some phosphorus-modified polymethyl methacrylate- and polystyrene-based bulk polymers.** - Polymers 13 (2021)19. - Article Number: 3402

Joseph, S. ; Pandey, S. ; Sarkar, S. ; Joseph, J. : **Bound states in the continuum in resonant nanostructures: an overview of engineered materials for tailored applications.** - Nanophotonics 10 (2021)17. - S. 4175-4207

Jugel, W. ; Aigner, A. ; Michen, S. ; Hagstotz, A. ; Ewe, A. ; Appelhans, D. ; Schackert, G. ; Temme, A. ; Tietze, S. : **Targeted RNAi of BIRC5/survivin using antibody-conjugated poly(propylene imine)-based polyplexes inhibits growth of PSCA-positive tumors.** - Pharmaceutics 13 (2021)5. - Article Number: 676

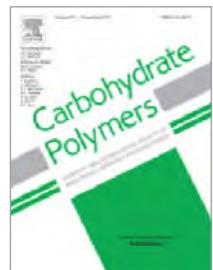
Jungmann, P. ; Kreer, T. ; Sommer, J.-U. ; Paturej, J. : **Conformational properties of end-grafted bottlebrush polymers.** - Macromolecules 54 (2021)1. - S. 161-169

Kafetzi, M. ; Borchert, K. ; Steinbach, C. ; Schwarz, D. ; Pispas, S. ; Schwarz, S. : **Thermoresponsive PNIPAM-b-PAA block copolymers as „smart“ adsorbents of Cu(II) for water restore treatments.** - Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 614 (2021). - Article Number: 126049

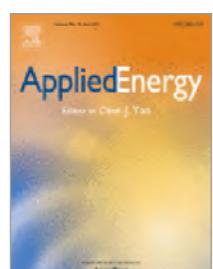
Kamble, V. G. ; Kolekar, S. ; Panda, H.S. ; Ammourah, S. ; Jagadeesha, T. : **Magneto rheological fluid: Fabrication and characterization of its temperature-dependent properties.** - Materials Today: Proceedings 45 (2021). - S. 4813-4818

Kamyab, A. ; Ghasemi-Ghalebahman, A. ; Fereidoon, A. ; Khonakdar, H. A. : **Shape memory and mechanical properties of polycaprolactone/polypropylene carbonate nanocomposite blends in the presence of G-POSS nanoparticles.** - eXPRESS Polymer Letters 15 (2021)5. - S. 473-489

Kanaki, E. ; Brandt, J. ; Ohmacht, R. ; Fischer, F. ; Fischer, D. : **Schnelles Mikroplastik-Monitoring.** - Labor-Praxis (2021)7-8. - S. 18-20



Kang, Y. ; Zhao, X. ; Han, X. ; Ji, X. ; Chen, Q. ; Pasch, H. ; Lederer, A. ; Liu, Y. : **Conformation and persistence length of chitosan in aqueous solutions of different ionic strengths via asymmetric flow field-flow fractionation.** - Carbohydrate Polymers 271 (2021). - Article Number: 118402



Karalis, G. ; Tzounis, L. ; Mytafides, C.K. ; Tsirka, K. ; Formanek, P. ; Stylianakis, M. ; Kymakis, E. ; Paipetis, A. S. : **A high performance flexible and robust printed thermoelectric generator based on hybridized Te nanowires with PEDOT:PSS.** - Applied Energy 294 (2021). - Article Number: 117004

Kargarfard, N. ; Simon, F. ; Schlenstedt, K. ; Ulischberger, L. ; Voit, B. ; Gedan-Smolka, M. ; Zimmerer, C. : **Self-stratifying powder coatings based on eco-friendly, solvent-free epoxy/silicone technology for simultaneous corrosion and weather protection.** - Progress in Organic Coatings 161 (2021). - Article Number: 106443

Karimov, M. ; Appelhans, D. ; Ewe, A. ; Aigner, A. : **An efficient nanoscale delivery system for therapeutic nucleic acids, based on the combination of disulfide crosslinking and tyrosine-modification of polyethylenimine (PEI).** - Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology 394 (2021) Suppl. 1. - S. S49-S49

Karimov, M. ; Appelhans, D. ; Ewe, A. ; Aigner, A. : **The combined disulfide cross-linking and tyrosine- modification of very low molecular weight linear PEI synergistically enhances transfection efficacies and improves biocompatibility.** - European J. of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 161 (2021). - S. 56-65

Kast, V. ; Lössner, D. : **3D models for ovarian cancer.** - Advances in Experimental Medicine and Biology 1330 (2021). - S. 139-149

Kaupbayeva, B. ; Boye, S. ; Munasinghe, A. ; Murata, H. ; Matyjaszewski, K. ; Lederer, A. ; Colina, C.M. ; Russell, A. J. : **Molecular dynamics-guided design of a functional protein-ATRP conjugate that eliminates protein-protein interactions.** - Bioconjugate Chemistry 32 (2021)4. - S. 821-832



Kaupbayeva, B. ; Murata, H. ; Matyjaszewski, K. ; Russell, A. J. ; Boye, S. ; Lederer, A. : **A comprehensive analysis in one run - in-depth conformation studies of protein-polymer chimeras by asymmetrical flow field-flow fractionation.** - Chemical Science 12 (2021)41. - S. 13848-13856

Kernchen, S. ; Löder, M. G. J. ; Fischer, F. ; Fischer, D. ; Moses, S. R. ; Georgi, C. ; Nölscher, A. C. ; Held, A. ; Laforsch, C. : **Airborne microplastic concentrations and deposition across the Weser River catchment.** - Science of The Total Environment (2021). - Article Number: 151812

Khalil, A. ; Rostami, P. ; Auernhammer, G. ; Andrieu-Busen, A. : **Mesoporous coatings with simultaneous light-triggered transition of water imbibition and droplet coalescence.** - Advanced Materials Interfaces 8 (2021)12. - Article Number: 2100252

Khatiwada, S. P. ; Staudinger, U. ; Jehnichen, D. ; Heinrich, G. ; Adhikari, R. : **Influence of controlled epoxidation of an asymmetric styrene/butadiene star block copolymer on structural and mechanical properties.** - Polymers 13 (2021). - Article Number: 96



Khoshkhoo, M. S. ; Prudnikau, A. ; Chashmejahanbin, M. R. ; Helbig, R. ; Lesnyak, V. ; Cuniberti, G. : **Multicolor patterning of 2D semiconductor nanoplatelets.** - ACS Nano 15 (2021)11. - S. 17623-17634

Kilic, U. ; Hilfiker, M. ; Ruder, A. ; Feder, R. ; Schubert, E. ; Schubert, M. ; Argyropoulos, C. : **Broadband enhanced chirality with tunable response in hybrid plasmonic helical metamaterials.** - Advanced Functional Materials 31 (2021)20. - Article Number: 2010329

Klos, J. ; Paturej, J. : **Spatial segregation of mixed-sized counterions in dendritic polyelectrolytes.** - Scientific Reports 11 (2021)1. - Article Number: 8108

Knapp, A. ; Nebel, L. ; Nitschke, M. ; Sander, O. ; Fery, A. : **Controlling line defects in wrinkling: a pathway towards hierarchical wrinkling structures.** - Soft Matter 17 (2021)21. - S. 5384-5392

Koch, M. ; Sapiannikova, M. ; Guskova, O. : **Cyclic photoisomerization of azobenzene in atomistic simulations: modeling the effect of light on columnar aggregates of azo stars.** - Molecules 26 (2021)24. - Article Number: 7674

Koch, M. ; Sapiannikova, M. ; Guskova, O. : **Columnar aggregates of azobenzene stars: exploring intermolecular interactions, structure, and stability in atomistic simulations.** - Molecules 26 (2021)24. - Article Number: 7598

Kovalev, I. ; Sadieva , L. K. ; Taniya, O.S. ; Yurk, V. M. ; Minin, A. S. ; Santra, S. ; Zyryanov, G. ; Charushin , V. N. ; Chupakhin, O. ; Tsurkan, M. : **Computer vision vs. spectrofluorometer-assisted detection of common nitro-explosive components with bola-type PAH-based chemosensors.** - RSC Advances 11 (2021)42. - S. 25850-25857

Kovalev, I. ; Taniya, O.S. ; Sadieva , L. K. ; Volkova, N.N. ; Minin , A. S. ; Grzegorzhevskii, K. V. ; Gorbunov, E. B. ; Zyryanov, G. ; Chupakhin, O. ; Charushin , V. N. ; Tsurkan, M. : **Bola-type PAH-based fluorophores/chemosensors: Synthesis via an unusual clemmensen reduction and photophysical studies.** - Journal of Photochemistry and Photobiology A 420 (2021). - Article Number: 113466

Krause, B. ; Liguoro, A. ; Pötschke, P. : **Blend structure and n-type thermoelectric performance of PA6/SAN and PA6/PMMA blends filled with singlewalled carbon nanotubes .** - Nanomaterials 11 (2021)5. - Article Number: 1146

Kublitski, J. ; Fischer, A. ; Xing, S. ; Baisinger, L. ; Bittrich, E. ; Spoltore, D. ; Benduhn, J. ; Vandewal, K. ; Leo, K. : **Enhancing sub-bandgap external quantum efficiency by photomultiplication for narrowband organic near-infrared photodetectors .** - Nature Communications 12 (2021)1. - Article Number: 4259

Kühn, S. ; Freyse, J. ; Attalah, P. ; Rademann, J. ; Freudenberg, U. ; Werner, C. : **Tuning the network charge of biohybrid hydrogel matrices to modulate the release of SDF-1.** - Biological Chemistry 402 (2021)11. - S. 1453-1464

Kühnert, I. :
New materials and applications for 3D printing. -
 TPE Magazine international 13 (2021)1. - S. 34-35

Kumar, L. ; Singh, S. ; Horechyy, A. ; Fery, A. ; Nandan, B. :
Block copolymer template-directed catalytic systems: recent progress and perspectives. -
 Membranes 11 (2021)5. - Article Number: 318

Kurkowski, M. ; Michel, S. ; Summa, J. :
Selbstdämpfendes Bohrwerkzeug - Prozessschwingungen durch Composite-Einsatz reduzieren und überwachen. -
 CU reports (2021)1. - S. 74-75

Lai, T. H. ; Keperscha, B. ; Qiu, X. ; Voit, B. ; Appelhans, D. :
Long-term retarded release for the proteasome inhibitor bortezomib through temperature-sensitive dendritic glycopolymers as drug delivery system from calcium phosphate bone cement. -
 Macromolecular Rapid Communications 42 (2021)13. - Article Number: 2100083

Lang, M. ; Kumar, K. :
Simple and general approach for reversible condensation polymerization with cyclization. -
 Macromolecules 54 (2021)15. - S. 7021-7035

Lang, M. ; Kumar, K. :
Reversible stepwise condensation polymerization with cyclization: strictly alternating co-polymerization and homopolymerization based upon two orthogonal reactions. -
 Macromolecules 54 (2021)15. - S. 7036-7050

Lappan, U. ; Naas, C. ; Scheler, U. :
Influence of the mixing ratio on the dynamics of polymer segments in polyelectrolyte complexes. -
 Macromolecular Chemistry and Physics 222 (2021)7. - Article Number: 2000445



Lathwal, S. ; Saigopalakrishna, S.Y. ;
 Boye, S. ; Muza, U. L. ; Takahashi, S. ;
 Sugimoto, N. ; Lederer, A. ; Das, S.R. ;
 Campbell, P. ; Matyjaszewski, K. :
Engineering exosome polymer hybrids by atom transfer radical polymerization. -
 Proc Natl Acad Sci : PNAS 118 (2021)2. - Article Number: e2020241118

Le, H. H. ; Hoang, T. X. ; Schöne, E. ; Reuter, U. ; Stöckelhuber, K.W. ;
 Mandal, S. ; Dhakal, K. N. ; Adhikari, R. ; Wiesner, S. :
Effect of phase selective wetting of hybrid filler on the self-healing properties of rubber blends. -
 Polymer 231 (2021). - Article Number: 124146

Le, H. H. ; Hoang, X. T. ; Reuter, U. ; Janke, A. ; Das, A. ; Wiesner, S. :
A new method for quantification of the phase selective localization of hybrid fillers in rubber blends. -
 eXPRESS Polymer Letters 15 (2021)5. - S. 404-417

Le Roux, W. H. ; Matthews, M. ; Lederer, A. ;
 van Reenen, A. J. ; Malgas-Enus, R. :
First report of Schiff-base nickel nanoparticle-catalyzed oligomerization and polymerization of norbornene. -
 Journal of Catalysis (2021). - DOI: 10.1016/j.jcat.2021.11.008

Lee, Y. ; Bandari, V. K. ; Li, Z. ; Medina-Sánchez, M. ;
 Maitz, M.F. ; Karnaushenko, D. ; Tsurkan, M. ;
 Karnaushenko, D. D. ; Schmidt, O. G. :
Nano-biosupercapacitors enable autarkic sensor operation in blood. -
 Nature Communications 12 (2021)1. - Article Number: 4967

Lenz, R. ; Enders, K. ; Fischer, F. ; Brandt, J. ; Fischer, D. ; Labrenz, M. :
Measuring impacts of microplastic treatments via image recognition on immobilised particles below 100 µm. -
 Microplastics and Nanoplastics 1 (2021). - Article Number: 12

Leonard, N. A. ; Reidy, E. ; Thompson, K. ; McDermott, E. ;
 Peerani, E. ; Tomas Bort, E. ; Balkwill, F. R. ; Lössner, D. ; Ryan, A. E. :
Stromal cells promote matrix deposition, remodelling and an immunosuppressive tumour microenvironment in a 3D model of colon cancer. -
 Cancers 13 (2021)23. - Article Number: 5998

Li, W. ; Cao, X.-Z. ; Merlitz, H. ; Wu, C.-X. :
Rouse mode analysis of relaxation in polymer blends. -
 Macromolecular Theory and Simulations 30 (2021)2. - Article Number: 2000084

Li, X. ; Nayak, K. ; Stamm, M. ; Tripathi, B. P. :
Zwitterionic silica nanogel-modified polysulfone nanoporous membranes formed by *in situ* method for water treatment. -
 Chemosphere 280 (2021). - Article Number: 130615

Li, Y. ; Männel, M. J. ; Hauck, N. ; Patel, H. ;
 Auernhammer, G. ; Chae, S. ; Fery, A. ; Li, J. ; Thiele, J. :
Embedment of quantum dots and biomolecules in a dipeptide hydrogel formed *in situ* using microfluidics. -
 Angewandte Chemie - International Edition 60 (2021)12. - S. 6724-6732

Lighvan, Z. M. ; Khonakdar, H. A. ;
 Heydari, A. ; Slouf, M. ; Akbari, A. :
A versatile β -cyclodextrin and N-heterocyclic palladium complex bi-functionalized iron oxide nanoadsorbent for water treatment. -
 Environmental Science and Pollution Research 28 (2021)39. - S. 55419-55432

Lilli, M. ; Jurko, M. ; Sirjovova, V. ; Zvonek, M. ; Cech, V. ; Scheffler, C. ; Rogero, C. ; Ilyn, M. ; Tirillò, J. ; Sarasini, F. :
Basalt fiber surface modification via plasma polymerization of tetravinylsilane/oxygen mixtures for improved interfacial adhesion with unsaturated polyester matrix. -
 Materials Chemistry and Physics 274 (2021). - Article Number: 125106

Lilli, M. ; Sbardella, F. ; Bavasso, I. ; Bracciale, M.P. ; Scheffler, C. ; Rivilla, I. ; Tirillò, J. ; Xin, W. ; De Rosa, I.M. ; Sarasini, F. :
Tailoring the interfacial strength of basalt fibers/epoxy composite with ZnO-nanorods. -
 Composite Interfaces 28 (2021)8. - S. 771-793

Lilli, M. ; Zvonek, M. ; Cech, V. ; Scheffler, C. ; Tirillò, J. ; Sarasini, F. :
Low temperature plasma polymerization: An effective process to enhance the basalt fiber/matrix interfacial adhesion. -
 Composites Communications 27 (2021). - Article Number: 100769

Lin, G. ; Cortez-Jugo, C. ; Ju, Y. ; Besford, Q.A. ;
 Ryan, T.M. ; Pan, S. ; Richardson, J.J. ; Caruso, F. :
Microemulsion-assisted templating of metal-stabilized poly(ethylene glycol) nanoparticles. -
 Biomacromolecules 22 (2021)2. - S. 612-619

Lin, G. ; Richardson, J.J. ; Ahmed, H. ; Besford, Q.A. ;
 Christofferson, A.J. ; Beyer, S. ; Lin, Z. ; Rezk, A. R. ; Savioli, M. ;
 Zhou, J. ; McConville, C. F. ; Cortez-Jugo, C. ; Yeo, L. Y. ; Caruso, F. :

Programmable phototaxis of metal-phenolic particle microswimmers. -
 Advanced Materials 33 (2021)13. - Article Number: 2006177

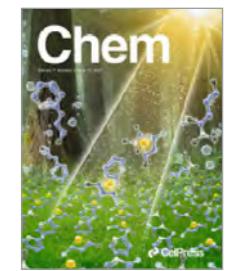
Lin, W. ; Gandhi, S. ; Lara, A. R. O. ; Thomas, A. K. ; Helbig, R. ; Zhang, Y. :
Controlling surface wettability for automated *in situ* array synthesis and direct bioscreening. -
 Advanced Materials 33 (2021)36. - Article Number: 2102349

Liu, K. ; Li, J. ; Qi, H. ; Hambsch, M. ; Rawle, J. ; Vazquez, A. ;
 Nia, A. S. ; Pashkin, A. ; Schneider, H. ; Polozij, M. ; Heine, T. ;
 Helm, M. ; Mannsfeld, S. ; Kaiser, U. ; Dong, R. ; Feng, X. :
A two-dimensional polyimide-graphene heterostructure with ultra-fast interlayer charge transfer. -
 Angewandte Chemie - International Edition 60 (2021)25. - S. 13859-13864

Liu, X. ; Zou, L. ; Chang, B. ; Shi, H. ; Yang, Q. ; Cheng, K. ;
 Li, T. ; Schneider, K. ; Heinrich, G. ; Liu, C. ; Shen, C. :
Strain dependent crystallization of isotactic polypropylene during solid-state stretching. -
 Polymer Testing 104 (2021). - Article Number: 107404

Logie, C. ; Schaik, T. van ; Pompe, T. ; Pietsch, K. :
Fibronectin-functionalization of 3D collagen networks supports immune tolerance and inflammation suppression in human monocyte-derived macrophages. -
 Biomaterials 268 (2021). - Article Number: 120498

Lombardi, F. ; Ma, J. ;
 Alexandropoulos, D. I. ; Komber, H. ; Liu, J. ;
 Myers, W.K. ; Feng, X. ; Bogani, L. :
Synthetic tuning of the quantum properties of open-shell radicaloids. -
 Chem 7 (2021)5. - S. 1363-1378



Lotz, B. ; Bothe, F. ; Deubel, A.-K. ; Hesse, E. ; Renz, Y. ; Werner, C. ; Schäfer, S. ; Böck, T. ; Groll, J. ; von Rechenberg, B. ; Richter, W. ; Hagmann, S. : **Preclinical testing of new hydrogel materials for cartilage repair: overcoming fixation issues in a large animal model.** - International Journal of Biomaterials 2021 (2021). - Article Number: 5583815



Lu, B. ; Han, X. ; Zhao, A. S. ; Luo, D. ; Maitz, M.F. ; Wan, H. ; Yang, P. ; Huang, N. : **Intelligent H₂S release coating for regulating vascular remodeling.** - Bioactive Materials 6 (2021)4. - S. 1040-1050

Ma, Q. ; Shi, X. ; Tan, X. ; Wang, R. ; Xiong, K. ; Maitz, M.F. ; Cui, Y. ; Hu, Z. ; Tu, Q. ; Huang, N. ; Shen, L. ; Yang, Z. : **Durable endothelium-mimicking coating for surface bioengineering cardiovascular stents.** - Bioactive Materials 6 (2021)12. - S. 4786-4800

Mahajan, V. ; Beck, T. ; Gregorczyk, P. ; Ruland, A. ; Alberti, S. ; Guck, J. ; Werner, C. ; Schlüßler, R. ; Taubenberger, A. V. : **Mapping tumor spheroid mechanics in dependence of 3D microenvironment stiffness and degradability by Brillouin microscopy.** - Cancers 13 (2021)21. - Article Number: 5549

Mahya , S. ; Ai, J. ; Shojae, S. ; Khonakdar, H. A. ; Darbemamieh, G. ; Shirian, S. : **Berberine loaded chitosan nanoparticles encapsulated in polysaccharide-based hydrogel for the repair of spinal cord.** - International Journal of Biological Macromolecules 182 (2021). - S. 82-90

Mandal, S. ; Simon, F. ; Banerjee, S. S. ; Tunnicliffe, L. B. ; Nakason, C. ; Das, C. ; Das, M. ; Naskar, K. ; Wiesner, S. ; Heinrich, G. ; Das, A. : **Controlled release of metal ion cross-linkers and development of self-healable epoxidized natural rubber.** - ACS Applied Polymer Materials 3 (2021)2. - S. 1190-1202

Männel, M. J. ; Baysak, E. ; Thiele, J. : **Fabrication of microfluidic devices for emulsion formation by microstereolithography .** - Molecules 26 (2021)9. - Article Number: 2817

Männel, M. J. ; Weigel, N. ; Hauck, N. ; Heida, T. ; Thiele, J. : **Combining hydrophilic and hydrophobic materials in 3D printing for fabricating microfluidic devices with spatial wettability.** - Advanced Materials Technologies 6 (2021)9. - Article Number: 2100094

Mapossa, A. B. ; Sibanda, M. M. ; Moyo, D. ; Kruger, T. ; Focke, W. W. ; Androsch, R. ; Boldt, R. ; Wesley-Smith, J. : **Blooming of insecticides from polyethylene mesh and film.** - Transactions of the Royal Society of South Africa 76 (2021)2. - S. 127-136

Mendoza-Martinez, A. K. ; Lössner, D. ; Mata, A. ; Azevedo, H. : **Modeling the tumor microenvironment of ovarian cancer: the application of self-assembling biomaterials .** - Cancers 13 (2021)22. - Article Number: 5745

Mertz, M. ; Golombek, F. ; Boye, S. ; Moreno, S. ; Castiglione, K. : **Fast and effective chromatographic separation of polymersomes from proteins by multimodal chromatography.** - Journal of Chromatography B 1162 (2021). - Article Number: 122459

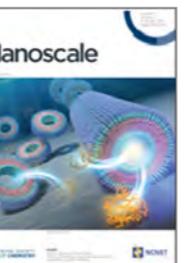
Metsch, P. ; Romeis, D. ; Kalina, K. A. ; Raßloff, A. ; Saphiannikova, M. ; Kästner, M. : **Magneto-mechanical coupling in magneto-active elastomers.** - Materials 14 (2021)2. - Article Number: 434

Metsch, P. ; Schmidt, H. ; Kalina, K. A. ; Brummund, J. ; Auernhammer, G. ; Kästner, M. : **Particle interactions in magneto-active elastomers: experiments and simulations.** - PAMM (online Journal) 20 (2021)1. - Article Number: e202000277

Michel, S. ; Kurkowski, M. ; Summa, J. ; Spickenheuer, A. ; Biermann, D. ; Stommel, M. ; Herrmann, H.-G. : **FKV-Bohrrohre mit strukturintegrierter Sensorik.** - wt Werkstattstechnik online 111 (2021)11-12. - S. 846-850

Millican, J. ; Bittrich, E. ; Caspari, A. ; Pöschel, K. ; Drechsler, A. ; Freudenberg, U. ; Ryan, T. G. ; Thompson, R. L. ; Pospiech, D. ; Hutchings, L. : **Synthesis and characterisation of a mussel-inspired hydrogel film coating for biosensors.** - European Polymer Journal 153 (2021). - Article Number: 110503

Mirzadeh, S. ; Asefnejad, A. ; Khonakdar, H. A. ; Jafari, S.H. : **Improved surface properties in spray-coated PU/TiO₂/graphene hybrid nanocomposites through nonsolvent-induced phase separation.** - Surface & Coatings Technology 405 (2021). - Article Number: 126507

 Mishra, S. ; Xu, K. ; Eimre, K. ; Komber, H. ; Ma, J. ; Pignedoli, C. A. ; Fasel, R. ; Feng, X. ; Ruffieux, P. : **Synthesis and characterization of [7]triangulene.** - Nanoscale 13 (2021)3. - S. 1624-1628

Mitrofanov, A. ; Weiss, N. ; Prudnikau, A. ; Di Stasio, F. ; Hübner, R. ; Dominic, A. M. ; Borchert, K. ; Lesnyak, V. ; Eychmüller, A. : **Near-infrared-emitting CdHg1-xSe-based core/shell nanoplatelets.** - Chemistry of Materials 33 (2021)19. - S. 7693-7702

Mitus, A. C. ; Saphiannikova, M. ; Radosz, W. ; Toshchevikov, V. ; Pawlik, G. : **Modeling of nonlinear optical phenomena in host-guest systems using bond fluctuation Monte Carlo model: A review .** - Materials 14 (2021)6. - Article Number: 1454

Moghaddam, A.S. ; Khonakdar, H. A. ; Arjmand, M. ; Jafari, S.H. ; Bagher, Z. ; Moghaddam, Z. S. ; Chimerad, M. ; Sisakht, M. M. ; Shojaei, S. : **Review of bioprinting in regenerative medicine: Naturally derived bioinks and stem cells.** - ACS Applied Bio Materials 4 (2021)5. - S. 4049-4070

Mohammed, I. ; Bernhardt, R. ; Schubert, M. ; Hampel, U. : **Non-invasive morphological characterization of cellular loofa sponges using digital microscopy and micro-CT.** - Int. J. Chem. React. Eng. 19 (2021)10. - S. 1057-1073

Moreno, S. ; Boye, S. ; Al Ajeilat, H. G. ; Michen, S. ; Tietze, S. ; Voit, B. ; Lederer, A. ; Temme, A. ; Appelhans, D. : **Multivalent protein-loaded pH-stable polymersomes: first step toward protein targeted therapeutics.** - Macromolecular Bioscience 21 (2021)10. - Article Number: 2100102

Moreno, S. ; Voit, B. ; Gaitzsch, J. : **The chemistry of cross-linked polymeric vesicles and their functionalisation towards biocatalytic nanoreactors.** - Colloid and Polymer Science 299 (2021)3. - S. 309-324

Mosshammer, K. ; Sudzius, M. ; Meister, S. ; Fröb, H. ; Steiner, A. M. ; Fery, A. ; Leo, K. : **Coherent optical interaction between plasmonic nanoparticles and small organic dye molecules in microcavities.** - Applied Physics Letters 118 (2021)1. - Article Number: 013301

Mostafaiyan, M. ; Wiesner, S. ; Heinrich, G. ; Hosseini, M. S. : **An improved conservative direct re-initialization method (ICDR) for two-phase flow simulations.** - Fluids 6 (2021)7. - Article Number: 261

Motlagh, K. L. ; Seyfi, J. ; Khonakdar, H. A. ; Mortazavi, M. : **Vinyl ester/silica aerogel nanocomposite coatings with enhanced hydrophobicity and corrosion protection properties.** - Polymers for Advanced Technologies 32 (2021)5. - S. 2176-2184

Müller, M. ; Urban, B. ; Mannala, G. ; Alt, V. : **Poly(ethyleneimine)/poly(acrylic acid) multilayer coatings with peripherally bound *Staphylococcus aureus* bacteriophages have antibacterial properties.** - ACS Applied Polymer Materials 3 (2021)12. - S. 6230-6237

Müller, M. ; Wirth, L. ; Urban, B. : **Determination of the carboxyl dissociation degree and pKa value of mono and polyacid solutions by FTIR titration.** - Macromolecular Chemistry and Physics 222 (2021)4. - Article Number: 2000334

Müller, T. ; Sommer, J.-U. ; Lang, M. : **Swelling of tendon gels.** - Macromolecules 54 (2021)10. - S. 4601-4614

Murcia, A. F. P. ; Gomez, J. M. U. ; Sommer, J.-U. ; Ionov, L. :
Two-way shape memory polymers: evolution of stress vs evolution of elongation. -
Macromolecules 54 (2021)12. - S. 5838-5847

Muza, U. L. ; Boye, S. ; Lederer, A. :
Dealing with complexity of conjugated and self-assembled polymer-nanostructures using field-flow fractionation. -
Analytical Science Advances 2 (2021)3-4. - S. 95-108

Myafides, C.K. ; Tzounis, L. ; Karalis, G. ;
Formanek, P. ; Paipetis, A. S. :
High-power all-carbon fully printed and wearable SWCNT-based organic thermoelectric generator. -
ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)9. - S. 11151-11165



Myafides, C.K. ; Tzounis, L. ;
Karaklis, G. ; Formanek, P. ;
Paipetis, A. S. :
Fully printed and flexible carbon nanotube-based thermoelectric generator capable for high-temperature applications. -
Journal of Power Sources 507 (2021). - Article Number: 230323

Naas, C. ; Scheler, U. ; Lappan, U. :
Influence of pH on the growth and the local dynamics of polyelectrolyte multilayers. -
Macromolecules 54 (2021)2. - S. 1043-1051

Naas, C. ; Scheler, U. ; Lappan, U. :
EPR spectroscopy as an efficient tool for investigations of polyelectrolyte multilayer growth and local chain dynamics. -
Journal of Physical Chemistry B 125 (2021)22. - S. 6004-6011

Naseem, S. ; Wiefner, S. ; Kühnert, I. ; Leuteritz, A. :
Layered double hydroxide (MgFeAl-LDH)-based polypropylene (PP) nanocomposite: mechanical properties and thermal degradation. -
Polymers 13 (2021)19. - Article Number: 3452

Neethirajan, J. ; Natarajan, T. S. ; Wiefner, S. ; Naskar, K. ; Das, A. :
Tuning the mechanical properties of MgO filled epichlorohydrin elastomer composites through *in situ* alteration of filler structure using water as stimulus. -
Materials Today Communications 26 (2021). - Article Number: 102116

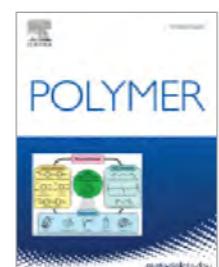
Newland, B. ; Newland, H. ; Lorenzi, F. ; Eigel, D. ; Welzel, P. ; Fischer, D. ; Wang, W. ; Freudenberg, U. ; Rosser, A. ; Werner, C. :
Injectable glycosaminoglycan-based cryogels from well-defined microscale templates for local growth factor delivery. -
ACS Chemical Neuroscience 12 (2021)7. - S. 1178-1188

Nguyen, T.-D. ; Simo Kamga, L. ; Gedan-Smolka, M. ; Sauer, B. ; Emrich, S. ; Kopnarski, M. ; Voit, B. :
Chemical bonded PA66-PTFE-oil composites as novel tribologically effective materials: Part 2. -
IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering 1140 (2021). - Article Number: 012056



Nishizawa, M. ; Walinda, E. ; Morimoto, D. ; Kohn, B. ; Scheler, U. ; Shirakawa, M. ; Sugase, K. :
Effects of weak nonspecific interactions with ATP on proteins. -
Journal of the American Chemical Society 143 (2021)31. - S. 11982-11993

Niu, W. ; Fu, Y. ; Komber, H. ; Ma, J. ; Feng, X. ; Mai, Y. ; Liu, J. :
Sulfur-doped nanographenes containing multiple subhelicenes. -
Organic Letters 23 (2021)6. - S. 2069-2073



O'Brien, C. T. ; Virtanen, T. ; Donets, S. ; Jennings, J. ; Guskova, O. ; Morrell, A. H. ; Rymaruk, M. ; Ruusuvirta, L. ; Salmela, J. ; Setala, H. ; Sommer, J.-U. ; Ryan, A. J. ; Mykhaylyk, O. O. :
Control of the aqueous solubility of cellulose by hydroxyl group substitution and its effect on processing. -
Polymer 223 (2021). - Article Number: 123681

Obst, F. ; Mertz, M. ; Mehner, P. J. ; Beck, A. ; Castiglione, K. ; Richter, A. ; Voit, B. ; Appelhans, D. :
Enzymatic synthesis of sialic acids in microfluidics to overcome cross-inhibitions and substrate supply limitations. -
ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)41. - S. 49433-49444

Paleo, A. J. ; Krause, B. ; Cerqueira, M. F. ; Melle-Franco, M. ; Pötschke, P. ; Rocha, A. M. :
Thermoelectric properties of polypropylene carbon nanofiber melt-mixed composites: exploring the role of polymer on their Seebeck coefficient. -
Polymer Journal 53 (2021)10. - S. 1145-1152

Pang, L. ; Meier-Haack, J. ; Huang, S. ; Qi, L. ; Cui, H. ; Ruan, S. ; Zeng, Y. :
Antibiofouling thin-film nanocomposite membranes for sustainable water purification. -
Advanced Sustainable Systems 5 (2021)6. - Article Number: 2000279

Payal, R. S. ; Sommer, J.-U. :
Crystallization of polymers under the influence of an external force field. -
Polymers 13 (2021)13. - Article Number: 2078

Pedziwiatr-Werbicka, E. ; Gorzkiewicz, M. ; Michlewska, S. ; Ionov, M. ; Shcharbin, D. ; Krajnert-Maculewicz, B. ; Pena-Gonzalez, C. ; Sanchez-Nieves, J. ; Gomez, R. ; de la Mata, J. F. ; Bryszewska, M. :
Evaluation of dendronized gold nanoparticles as siRNAs carriers into cancer cells. -
Journal of Molecular Liquids 324 (2021). - Article Number: 114726

Pfukwa, H. ; Coetzee, C. ; Johani, J. ; Carstens, A. ; Lederer, A. ; Pasch, H. :
Aldehyde-functionalized polymers from the reverse iodine transfer polymerization of lignin-derivable compounds. -
ACS Applied Polymer Materials 3 (2021)8. - S. 3941-3952

Piehl, S. ; Hauk, R. ; Robbe, E. ; Richter, B. ; Kachholz, F. ; Schilling, J. ; Lenz, R. ; Fischer, D. ; Fischer, F. ; Labrenz, M. ; Schernewski, G. :
Combined approaches to predict microplastic emissions within an urbanized estuary (Warnow, Southwestern Baltic Sea). -
Frontiers in Environmental Science 9 (2021). - Article Number: 616765

Plüsckie, L. ; Ndiripo, A. ; Mundil, R. ; Merna, J. ; Pasch, H. ; Lederer, A. :
Fractionation of chain walking polyethylene and elucidation of branching, conformation and molar mass distributions. -
Int. J. Polymer Analysis & Characterization 26 (2021)1. - S. 47-59

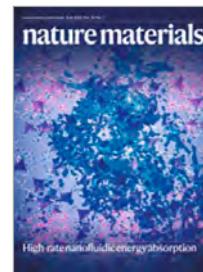
Plyusnin, A. ; He, J. ; Elschner, C. ; Nakamura, M. ; Kulkova, J. ; Spickenheuer, A. ; Scheffler, C. ; Lassila, L. ; Moritz, N. :
A polymer for application as a matrix phase in a concept of in situ curable bioresorbable bioactive load-bearing continuous fiber reinforced composite fracture fixation plates. -
Molecules 26 (2021)5. - Article Number: 1256

Pornhagen, D. ; Schneider, K. ; Stommel, M. :
Material parametrization of natural rubber based compound and characterization of crack propagation under consideration of dissipative effects. -
Journal of Rubber Research 24 (2021)2. - S. 201-209

Pospiech, D. ; Choinska, R. ; Flugrat, D. ; Sahre, K. ; Jehnichen, D. ; Korwitz, A. ; Friedel, P. ; Werner, A. ; Voit, B. :
Enzymatic synthesis of poly(alkylene succinate)s: Influence of reaction conditions. -
Processes 9 (2021)3. - Article Number: 411

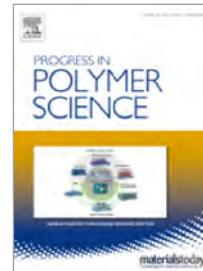
Pospiech, D. ; Korwitz, A. ; Komber, H. ; Jehnichen, D. ; Arnhold, K. ; Brünig, H. ; Scheibner, H. ; Müller, M. T. ; Voit, B. :
Polyesters with bio-based ferulic acid units: crosslinking paves the way to property consolidation. -
Polymer Chemistry 12 (2021)36. - S. 5139-5148

Preda, N. ; Costas, A. ; Lilli, M. ; Sbardella, F. ; Scheffler, C. ; Tirillò, J. ; Sarasini, F. :
Functionalization of basalt fibers with ZnO nanostructures by electroless deposition for improving the interfacial adhesion of basalt fibers/epoxy resin composites. -
Composites Part A 149 (2021). - Article Number: 106488



Probst, P. T. ; Mayer, M. ; Gupta, V. ; Steiner, A. M. ; Zhou, Z. ; Auernhammer, G. ; König, T. A. F. ; Fery, A. : **Mechano-tunable chiral meta-surfaces via colloidal assembly.** - Nature Materials 20 (2021)7. - S. 1024-1028

Pulikkalparambil, H. ; Parameswaranpillai, J. ; Siengchin, S. ; Pionteck, J. : **UV light triggered self-healing of green epoxy coatings.** - Construction and Building Materials 305 (2021). - Article Number: 124725



Qi, X. ; Yang, J. ; Zhang, N. ; Huang, T. ; Zhou, Z. ; Kühnert, I. ; Pötschke, P. ; Wang, Y. : **Selective localization of carbon nanotubes and its effect on the structure and properties of polymer blends.** - Progress in Polymer Science 123 (2021). - Article Number: 101471

Qiao, Z. ; Lissel, F. : **MALDI matrices for the analysis of low molecular weight compounds: rational design, challenges and perspectives.** - Chemistry - An Asian Journal 16 (2021)8. - S. 868-878

Qiu, H. ; Tu, Q. ; Gao, P. ; Li, X. ; Maitz, M.F. ; Xiong, K. ; Yang, Z. : **Phenolic-amine chemistry mediated synergistic modification with polyphenols and thrombin inhibitor for combating the thrombosis and inflammation of cardiovascular stents.** - Biomaterials 269 (2021). - Article Number: 120626

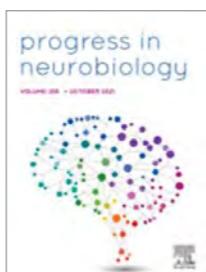
Radiev, Y. ; Widdascheck, F. ; Göbel, M. ; Hauke, A.A. ; Witte, G. : **Prepare with care: Low contact resistance of pentacene field-effect transistors with clean and oxidized gold electrodes.** - Organic Electronics 89 (2021). - Article Number: 106030

Raeisi, M. ; Kazerouni, Y. ; Mohammadi, A. ; Hashemi, M. ; Hejazi, I. ; Seyfi, J. ; Khonakdar, H. A. ; Davachi, S. M. : **Superhydrophobic cotton fabrics coated by chitosan and titanium dioxide nanoparticles with enhanced antibacterial and UV-protecting properties.** - International Journal of Biological Macromolecules 171 (2021). - S. 158-165

Razavi, M. ; Zhang, W. ; Khonakdar, H. A. ; Janke, A. ; Li, L. ; Wang, S.-Q. : **Inducing nano-confined crystallization in PLLA and PET by elastic melt stretching.** - Soft Matter 17 (2021)6. - S. 1457-1462

Reis, B. ; Gerlach, N. ; Steinbach, C. ; Carrasco, K. H. ; Oelmann, M. ; Schwarz, S. ; Müller, M. ; Schwarz, D. : **A complementary and revised view on the N-acylation of chitosan with hexanoyl chloride.** - Marine Drugs 19 (2021)7. - Article Number: 385


Enhancing the interfacial bonding between PE fibers and cementitious matrices through polydopamine surface modification. - Composites Part B: Engineering 217 (2021). - Article Number: 108817


Rizzo, S. A. ; Bartley, O. ; Rosser, A. ; Newland, B. : **Oxygen-glucose deprivation in neurons: implications for cell transplantation therapies.** - Progress in Neurobiology 205 (2021). - Article Number: 102126

Rodriguez, R. d. ; Shchadenko, S. ; Murastov, G.V. ; Lipovka, A. ; Fatkullin, M. ; Petrov, I. ; Tran, T. ; Khalelov, A. ; Saqib, M. ; Villa, N. E. ; Bogoslovskiy, V. ; Wang, Y. ; Hu, C.-G. ; Zinovyev, A. ; Sheng, W. ; Chen, J.J. ; Amin, I. ; Sheremet, E. : **Ultra-robust flexible electronics by laser-driven polymer-nanomaterials integration.** - Advanced Functional Materials 31 (2021)17. - Article Number: 2008818

Rokade, D. ; Chougale, S. ; Patil, P. ; Bhattacharjee, T. ; Gawande, D. ; Pol, H. ; Dhadwal, R. : **Controlling draw resonance during extrusion film casting of nanoclay filled linear low-density polyethylene: An experimental study and numerical linear stability analysis.** - Journal of Plastic Film & Sheeting 37 (2021)3. - S. 367-396

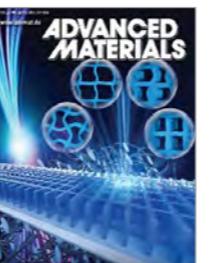
Romeis, D. ; Saphiannikova, M. : **A cascading mean-field approach to the calculation of magnetization fields in magnetoactive elastomers.** - Polymers 13 (2021)9. - Article Number: 1372

Rossner, C. ; König, T. A. F. ; Fery, A. : **Plasmonic properties of colloidal assemblies.** - Advanced Optical Materials 9 (2021)8. - Article Number: 2001869

Roy, A. K. ; Faisal, S. N. ; Spickenheuer, A. ; Scheffler, C. ; Wang, J. ; Harris, A. T. ; Minett, A. I. ; Islam, M. S. : **Loading dependency of 2D MoS₂ nanosheets in the capacitance of 3D hybrid microfiber-based energy storage devices.** - Carbon Trends 5 (2021). - Article Number: 100097

Ruder, A. ; Wright, B. ; Feder, R. ; Kilic, U. ; Hilfiker, M. ; Schubert, E. ; Herzinger, C. M. ; Schubert, M. : **Mueller matrix imaging microscope using dual continuously rotating anisotropic mirrors.** - Optics Express 29 (2021)18. - S. 28704-28724

Rudolph, W.W. ; Fischer, D. ; Irmer, G. : **Hydration and ion-pair formation of NaNO₃(aq): A vibrational spectroscopic and density functional theory study.** - Applied Spectroscopy 75 (2021)4. - S. 395-411


Ruland, A. ; Schenker, S. ; Schirmer, L. ; Friedrichs, J. ; Meinhardt, A. ; Schwartz, V. B. ; Kaiser, N. ; Konradi, R. ; MacDonald, W. ; Helmecke, T. ; Sikosana, M. ; Valtin, J. ; Hahn, D. ; Renner, L. ; Werner, C. ; Freudenberg, U. : **Amphiphilic copolymers for versatile, facile, and *in situ* tunable surface biofunctionalization.** - Advanced Materials 33 (2021)42. - Article Number: 2102489

Salaeh, S. ; Das, A. ; Wiesner, S. : **Design and fabrication of thermoplastic elastomer with ionic network: A strategy for good performance and shape memory capability.** - Polymer 223 (2021). - Article Number: 123699

Salaeh, S. ; Das, A. ; Wiesner, S. ; Stapor, M. : **Vitrimer-like material based on a biorenewable elastomer crosslinked with a dimeric fatty acid.** - European Polymer Journal 151 (2021). - Article Number: 110452

Samanta, K. ; Sarkar, S. ; Acuna, S. ; Joseph, J. ; Ahluwalia, B. S. ; Agarwal, K. : **Blind super-resolution approach for exploiting illumination variety in optical-lattice illumination microscopy.** - ACS Photonics 8 (2021)9. - S. 2626-2634

Sambale, A. K. ; Maisl, M. ; Herrmann, H.-G. ; Stommel, M. : **Characterisation and modelling of moisture gradients in polyamide 6.** - Polymers 13 (2021)18. - Article Number: 3141

Sambale, A. K. ; Stanko, M. ; Emde, J. ; Stommel, M. : **Characterisation and FE modelling of the sorption and swelling behaviour of polyamide 6 in water.** - Polymers 13 (2021)9. - Article Number: 1480

Sarkar, S. ; Gupta, V. ; Tsuda, T. ; Gour, J. ; Singh, A. ; Afenieva, O. ; Steiner, A. M. ; Hoffmann, M. ; Kumar, S. ; Fery, A. ; Joseph, J. ; König, T. A. F. : **Plasmonic charge transfer in large-scale metallic and colloidal photonic crystal slabs.** - Advanced Functional Materials 31 (2021)19. - Article Number: 2011099

Satish, L. ; Santra, S. ; Tsurkan, M. ; Werner, C. ; Jana, M. ; Sahoo, H. : **Conformational changes of GDNF-derived peptide induced by heparin, heparan sulfate, and sulfated hyaluronic acid - Analysis by circular dichroism spectroscopy and molecular dynamics simulation.** - International Journal of Biological Macromolecules 182 (2021). - S. 2144-2150

Savchenko, V. ; Guskova, O. :
Molecular switch based on bithiophene-azobenzene: How to control conductance through the monolayer using light. - Herald of Tver State University. Series: Chemistry 3 (2021)45. - S. 7-20

Scales, B. S. ; Cable, R. N. ; Duhaime, M. B. ; Gerdts, G. ; Fischer, F. ; Fischer, D. ; Mothes, S. ; Hintzki, L. ; Moldaenke, L. ; Ruwe, M. ; Kalinowski, J. ; Kreikemeyer, B. ; Pedrotti, M.-L. ; Gorsky, G. ; Elineau, A. ; Labrenz, M. ; Oberbeckmann, S. :
Cross-hemisphere study reveals geographically ubiquitous, plastic-specific bacteria emerging from the rare and unexplored biosphere. - mSphere 6 (2021)3. - Article Number: e00851-20

Scetta, G. ; Euchler, E. ; Ju, J. ; Selles, N. ; Heuillet, P. ; Ciccotti, M. ; Creton, C. :
Self-organization at the crack tip of fatigue-resistant thermoplastic polyurethane elastomers. - Macromolecules 54 (2021)18. - S. 8726-8737



Schirmer, L. ; Atallah, P. ; Freudenberg, U. ; Werner, C. :
Chemokine-capturing wound contact layer rescues dermal healing. - Advanced Science 8 (2021)18. - Article Number: 2100293

Schirmer, L. ; Freudenberg, U. ; Werner, C. :
Chemokin-bindende Wundauflagen - neue Optionen zur Behandlung chronischer Wunden. - Spitzenforschung in der onkologischen Dermatologie (2021). - S. 22-32

Schletz, D. ; Schultz, J. ; Potapov, P. ; Steiner, A. M. ; Krehl, J. ; König, T. A. F. ; Mayer, M. ; Lubk, A. ; Fery, A. :
Exploiting combinatorics to investigate plasmonic properties in heterogeneous Ag-Au nanosphere chain assemblies. - Advanced Optical Materials 9 (2021)9. - Article Number: 2001983

Schmidt, H. ; Straub, B. ; Sandersberger, D. ; Bröckel, U. ; Monkman, G.J. ; Auernhammer, G. :
Collision and separation of nickel particles embedded in a polydimethylsiloxan matrix under a rotating magnetic field: A strong magneto active function. - Colloid and Polymer Science 299 (2021)6. - S. 955-967

Schmiegel, C.J. ; Berg, P. ; Obst, F. ; Schoch, R. ; Appelhans, D. ; Kuckling, D. :
Continuous flow synthesis of azoxybenzenes by reductive dimerization of nitrosobenzenes with gel-bound catalysts. - European Journal of Organic Chemistry 2021 (2021)11. - S. 1628-1636

Schneider, K. ; Bräuer, M. :
Experimental aspects of the determination of bond strength by means of peel test. - TPE Magazine international 13 (2021)4. - S. 198-204

Schubert, K. ; Gedan-Smolka, M. ; Marschner, A. ; Rietzschel, T. ; Uhlig, K. ; Löpitz, D. ; Wagner, D. ; Knobloch, M. :
Basic material and technology investigations for material bonded hybrids by continuous hybrid profile fabrication. - IOP Conf.Series: Materials Science and Engineering 1140 (2021). - Article Number: 012030

Schubotz, S. ; Honnigfort, C. ; Nazari, S. ; Fery, A. ; Sommer, J.-U. ; Uhlmann, P. ; Braunschweig, B. ; Auernhammer, G. :
Memory effects in polymer brushes showing co-nonsolvency effects. - Advances in Colloid and Interface Science 294 (2021). - Article Number: 102442

Schutzeichel, C. ; Kiriy, N. ; Kiriy, A. ; Voit, B. :
Self-replication of deeply buried doped silicon structures, which remotely control the etching process: a new method for forming a silicon pattern from the bottom up. - Advanced Functional Materials 31 (2021)25. - Article Number: 2100105

Schymanski, D. ; Oßmann, B. ; Benismail, N. ; Boukerma, K. ; Dallmann, G. ; Esch, E. von der ; Fischer, D. ; Fischer, F. ; Gilliland, D. ; Glas, K. ; Hofmann, T. ; Käppler, A. ; Lacorte, S. ; Marco, J. ; El Rakwe, M. ; Weisser, J. ; Witzig, C. ; Zumbülte, N. ; Ivleva, N.P. :
Analysis of microplastics in drinking water and other clean water samples with micro-Raman and micro-infrared spectroscopy: minimum requirements and best practice guidelines. - Analytical and Bioanalytical Chemistry 413 (2021)24. - S. 5969-5994

Seki, T. ; Yu, X. ; Zhang, P. ; Yu, C.-C. ; Liu, K. ; Gunkel, L. ; Dong, R. ; Nagata, Y. ; Feng, X. ; Bonn, M. :
Real-time study of on-water chemistry: Surfactant monolayer-assisted growth of a crystalline quasi-2D polymer. - Chem 7 (2021)10. - S. 2758-2770

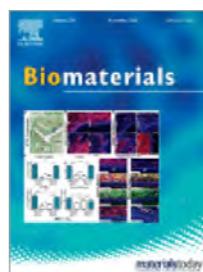
Seuffert, J. ; Bittrich, L. ; de Oliveira, L. C. ; Spickenheuer, A. ; Kärger, L. :
Micro-scale permeability characterization of carbon fiber composites using micrograph volume elements. - Frontiers in Materials 8 (2021). - Article Number: 745084

Shamraienko, V. ; Spittel, D. ; Hübner, R. ; Khoshkho, M. S. ; Weiss, N. ; Georgi, M. ; Borchert, K. ; Schwarz, D. ; Lesnyak, V. ; Eychmüller, A. :
Cation exchange on colloidal copper selenide nanosheets: a route to two-dimensional metal selenide nanomaterials. - Journal of Materials Chemistry C 9 (2021)46. - S. 16523-16535

Shao, Z. ; Jiang, X. ; Li, F. ; Zhu, M. ; Maitz, M.F. ; Song, T. :
Construction of corrosion resistant and osteogenic multiphase reinforced titanium/hydroxyapatite nanocomposites prepared by spark plasma sintering. - Composite Interfaces (2021). - DOI: 10.1080/09276440.2021.2019372



Siegel, H. ; Fischer, F. ; Lenz, R. ; Fischer, D. ; Jekel, M. ; Labrenz, M. :
Identification and quantification of microplastic particles in drinking water treatment sludge as an integrative approach to determine microplastic abundance in a freshwater river. - Environmental Pollution 286 (2021). - Article Number: 117524



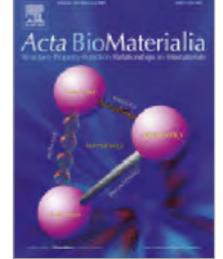
Sievers, J. ; Zimmermann, R. ; Friedrichs, J. ; Pette, D. ; Limasale, Y. D. P. ; Werner, C. ; Welzel, P. :
Customizing biohybrid cryogels to serve as ready-to-use delivery systems of signaling proteins. - Biomaterials 278 (2021). - Article Number: 121170

Silva, M. M. ; Lopes, P.E. ; Li, Y. ; Pötschke, P. ; Ferreira, F. N. ; Paiva, M. C. :
Polylactic acid/carbon nanoparticle composite filaments for sensing. - Applied Sciences 11 (2021)6. - Article Number: 2580

Simon, J.-C. ; Werner, C. :
12 years more than just skin and bones: the CRC Transregio 67. - Biological Chemistry 402 (2021)11. - S. 1269-1270

Simon, P. ; Pompe, W. ; Bobeth, M. ; Worch, H. ; Kniep, R. ; Formanek, P. ; Hild, A. ; Wenisch, S. ; Sturm, E. :
Podosome-driven defect development in lamellar bone under the conditions of senile osteoporosis observed at the nanometer scale. - ACS Biomaterials Science & Engineering 7 (2021)6. - S. 2255-2267

Singh, S. ; Horechyy, A. ; Yadav, S. ; Formanek, P. ; Hübner, R. ; Srivastava, R. ; Sapra, S. ; Fery, A. ; Nandan, B. :
Nanoparticle-stabilized perforated lamellar morphology in block copolymer/quantum dot hybrids. - Macromolecules 54 (2021)3. - S. 1216-1223

- Singh, S. ; Raulo, A. ; Singh, A. ; Mittal, M. ; Horechy, A. ; Hübner, R. ; Formanek, P. ; Srivastava, R. ; Sapra, S. ; Fery, A. ; Nandan, B. : **Enhanced photoluminescence of gold nanoparticle-quantum dot hybrids confined in hairy polymer nanofibers.** - ChemNanoMat 7 (2021)7. - S. 831-841
- Soelch, S. ; Beaufort, N. ; Lössner, D. ; Kotzsch, M. ; Reuning, U. ; Luther, T. ; Kirchner, T. ; Magdolen, V. : **Rab31-dependent regulation of transforming growth factor β expression in breast cancer cells.** - Molecular Medicine 27 (2021)1. - Article Number: 158
- Sommer, J.-U. ; Merlitz, H. ; Schiessl, H. : **Polymer-assisted condensation: a mechanism for hetero-chromatin formation and epigenetic memory.** - bioRxiv the Preprint Server for Biology (2021). - DOI: 10.1101/2021.10.13.464201
- Spörer, Y. ; Boldt, R. ; Androsch, R. ; Kühnert, I. : **Pressure- and temperature-dependent crystallization kinetics of isotactic polypropylene under process relevant conditions.** - Crystals 11 (2021)9. - Article Number: 1138
- Stanko, M. ; Lehmenkühler, P. ; Stommel, M. : **Determination of strain limits for dimensioning polyurethane components.** - Polymers 13 (2021)18. - Article Number: 3198
- Steiner, A. M. ; Lissel, F. ; Fery, A. ; Lauth, J. ; Scheele, M. : **Prospects of coupled organic-inorganic nanostructures for charge and energy transfer applications.** - Angewandte Chemie - International Edition 60 (2021). - S. 1152-1175
- Steiger, S. ; Mitsoulis, E. ; Walluch, M. ; Ebner, C. ; Kerschbaumer, R. C. ; Haselmann, M. ; Mostafaiyan, M. ; Kämpfe, M. ; Kühnert, I. ; Wiesner, S. ; Friesenbichler, W. : **On the influence of viscoelastic modeling in fluid flow simulations of gum acrylonitrile butadiene rubber.** - Polymers 13 (2021)14. - Article Number: 2323
- Stokey, M. ; Korlacki, R. ; Knight, S. ; Ruder, A. ; Hilfiker, M. ; Galazka, Z. ; Irmscher, K. ; Zhang, Y. ; Zhao, H. ; Darakchieva, V. ; Schubert, M. : **Optical phonon modes, static and high-frequency dielectric constants, and effective electron mass parameter in cubic In_2O_3 .** - Journal of Applied Physics 129 (2021)22. - Article Number: 225102
- Straub, B. ; Schmidt, H. ; Rostami, P. ; Henrich, F. ; Rossi, M. ; Kähler, C.J. ; Butt, H.-J. ; Auernhammer, G. : **Flow profiles near receding three-phase contact lines: influence of surfactants.** - Soft Matter 44 (2021)17. - S. 10090-10100
- Stuck, M. ; Krenz, I. ; Schulze Kökeösum, B. ; Boye, S. ; Voit, B. ; Lorenz, R. : **Improving glass transition temperature of unsaturated polyester thermosets:** **Conventional unsaturated polyester resins.** - Journal of Applied Polymer Science 138 (2021)6. - Article Number: 49825
-  Su, K. ; Sun, N. ; Tian, X. ; Li, X. ; Chao, D. ; Wang, D. ; Zhou, H. ; Chen, C. : **Novel polyamides with pendant p-phenylenediamine and α -/ β -substituted naphthalene: synthesis, characteristics, and effects of substitution sites on electro-switchable optical behaviors.** - Materials Today Chemistry 22 (2021). - Article Number: 100536
- Su, W. ; Qiu, T. ; Zhang, M. ; Hao, C. ; Zeng, P. ; Huang, Z. ; Du, W. ; Yun, T. ; Xuan, Y. ; Zhang, L. ; Guo, Y. ; Jiao, W. : **Systems biomarker characteristics of circulating alkaline phosphatase activities for 48 types of human diseases.** - Current Medical Research and Opinion (2021). - DOI: 10.1080/03007995.2021.2000715
- Sun, N. ; Zhang, S.T. ; Simon, F. ; Steiner, A. M. ; Schubert, J. ; Du, Y. ; Qiao, Z. ; Fery, A. ; Lissel, F. : **Poly(3-hexylthiophene) functionalized with N-heterocyclic carbene as robust and conductive ligands to stabilize gold nanoparticles.** - Angewandte Chemie - International Edition 60 (2021)8. - S. 3912-3917
- Surendran, A. ; Pionteck, J. ; Malanin, M. ; Vogel, R. ; Kalarikkal, N. ; Thomas, S. : **Miscibility, microstructure, and *in situ* cure analysis of epoxy-SAN-cloisite 20A nanocomposites.** - New Journal of Chemistry 45 (2021)3. - S. 1395-1403
- Sushmita, K. ; Formanek, P. ; Fischer, D. ; Pötschke, P. ; Madras, G. ; Bose, S. : **Ultrathin structures derived from interfacially modified polymeric nanocomposites to curb electromagnetic pollution.** - Nanoscale Advances 3 (2021)9. - S. 2632-2648
- Tang, X. ; Pionteck, J. ; Krause, B. ; Pötschke, P. ; Voit, B. : **Highly tunable piezoresistive behavior of carbon nanotube-containing conductive polymer blend composites prepared from two polymers exhibiting crystallization-induced phase separation.** - ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)36. - S. 43333-43347
- Tayebi, P. ; Asefnejad, A. ; Khonakdar, H. A. : **Water-based polyurethane/functionalized chitosan/zinc oxide nanoparticles nanocomposites: physical, mechanical and biocompatibility properties.** - Polymer-Plastics Technology and Materials 60 (2021)13. - S. 1474-1489
- Thoraval, M.-J. ; Schubert, J. ; Karpitschka, S. ; Chanana, M. ; Boyer, F. ; Sandoval-Naval, E. ; Snoeijer, J. H. ; Lohse, D. : **Nanoscopic interactions of colloidal particles can suppress millimetre drop splashing.** - Soft Matter 17 (2021)20. - S. 5116-5121
- Tsuda, T. ; Chae, S. ; Al-Hussein, M. ; Formanek, P. ; Fery, A. : **Flexible pressure sensors based on the controlled buckling of doped semiconducting polymer nanopillars.** - ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)31. - S. 37445-37454
- Tsurkan, M. ; Voronkina, A. ; Khrunyk, Y.Y. ; Wysokowski, M. ; Petrenko, I. ; Ehrlich, H. : **Progress in chitin analytics.** - Carbohydrate Polymers 252 (2021). - Article Number: 117204
-  Ucar, B. ; Kajtez, J. ; Foidl, B.M. ; Eigl, D. ; Werner, C. ; Long, K. R. ; Emnéus, J. ; Bizeau, J. ; Lomora, M. ; Pandit, A. ; Newland, B. ; Humpel, C. : **Biomaterial based strategies to reconstruct the nigrostriatal pathway in organotypic slice co-cultures.** - Acta Biomaterialia 121 (2021). - S. 250-262
- Uribe-Gomez, J. ; Posada-Murcia, A. ; Shukla, A. ; Ergin, M. ; Constante, G. ; Apsite, I. ; Dulle, M. ; Schwarzer, M. ; Caspari, A. ; Synotska, A. ; Salehi, S. ; Ionov, L. : **Shape-morphing fibrous hydrogel/elastomer bilayers fabricated by a combination of 3D printing and melt electrowriting for muscle tissue regeneration.** - ACS Applied Bio Materials 4 (2021)2. - S. 1720-1730
- Valtin, J. ; Behrens, S. ; Maitz, M.F. ; Schmieder, F. ; Sonntag, F. ; Werner, C. : **A modular *in vitro* flow model to analyse blood-surface interactions under physiological conditions.** - Current Directions in Biomedical Engineering 7 (2021)2. - S. 171-174
- Vasilev, A. ; Lorenz, T. ; Kamble, V. G. ; Wießner, S. ; Breitkopf, C. : **Thermal conductivity of polybutadiene rubber from molecular dynamics simulations and measurements by the heat flow meter method.** - Materials 14 (2021)24. - Article Number: 7737
- Viljoen, D. ; Fischer, M. ; Kühnert, I. ; Labuschagné, J. : **The tensile behaviour of highly filled high-density polyethylene quaternary composites: weld-line effects, DIC curiosities and shifted deformation mechanisms.** - Polymers 13 (2021)4. - Article Number: 527



Vorobyeva, E. ; Lissel, F. ;
Salanne, M. ; Lukatskaya, M.R. :
Bottom-up design of configurable oligomer-derived conducting metallocopolymers for high-power electrochemical energy storage. - ACS Nano 15 (2021)10. - S. 15422-15428

Vuijk, H. ; Merlitz, H. ; Lang, M. ; Sharma, A. ; Sommer, J.-U. :
Chemotaxis of cargo-carrying self-propelled particles. - Physical Review Letters 126 (2021)20. - Article Number: 208102

Wang, D. ; Moreno, S. ; Boye, S. ; Voit, B. ; Appelhans, D. :
Detection of subtle extracellular glucose changes by artificial organelles in protocells. - Chemical Communications 57 (2021)65. - S. 8019-8022

Wang, Q. ; Böckmann, S. ; Günther, F. ; Streiter, M. ;
Zerson, M. ; Scaccabarozzi, A.D. ; Tan, W. L. ; Komber, H. ;
Deibel, C. ; Magerle, R. ; Gemming, S. ; McNeill, C. R. ;
Caironi, M. ; Hansen, M. R. ; Sommer, M. :
Hydrogen bonds control single chain conformation, crystallinity and electron transport in isoelectronic diketopyrrolopyrrole copolymers. - Chemistry of Materials 33 (2021)7. - S. 2635-2645

Wang, Q. ; Lenjani, S.V. ; Dolynchuk, O. ;
Scaccabarozzi, A.D. ; Komber, H. ; Guo, Y. ; Günther, F. ;
Gemming, S. ; Magerle, R. ; Caironi, M. ; Sommer, M. :
Electron mobility of diketopyrrolopyrrole copolymers is robust against homocoupling defects. - Chemistry of Materials 33 (2021)2. - S. 668-677

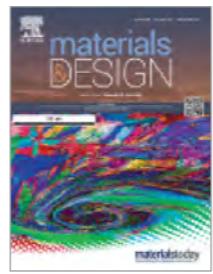
Wang, X. ; Lu, L. ; Bei, H. P. ; Li, X. ; Du, Z. ; Maitz, M.F. ;
Huang, N. ; Tu, Q. ; Zhao, X. ; Yang, Z. :
Self-protonating, plasma polymerized, superimposed multi-layered biomolecule nanoreservoir as blood-contacting surfaces. - Chemical Engineering Journal 410 (2021). - Article Number: 12831



Wang, X. ; Moreno, S. ; Boye, S. ;
Wang, P. ; Liu, X. ; Lederer, A. ;
Voit, B. ; Appelhans, D. :
Artificial organelles with orthogonal-responsive membranes for protocell systems: probing the intrinsic and sequential docking and diffusion of cargo into two coexisting avidin-polymersomes. - Advanced Science 8 (2021)11. - Article Number: 2004263



Wang, X. ; Moreno, S. ; Boye, S. ;
Wen, P. ; Zhang, K. ; Formanek, P. ;
Lederer, A. ; Voit, B. ; Appelhans, D. :
Feedback-induced and oscillating pH regulation of a binary enzyme-polymersome system. - Chemistry of Materials 33 (2021)17. - S. 6692-6700



Wang, X. ; Xu, K. ; Cui, W. ; Yang, X. ;
Maitz, M.F. ; Li, W. ; Li, X. ; Chen, J. :
Controlled synthesis of mussel-inspired Ag nanoparticle coatings with demonstrated *in vitro* and *in vivo* antibacterial properties. - Materials & Design 208 (2021). - Article Number: 109944

Wehr, R. ; dos Santos, E. C. ; Muthwill, M. ;
Chimisso, V. ; Gaitzsch, J. ; Meier, W. :
Fully amorphous isotactic block copolymers and their self-assembly into nano- and microscopic vesicles. - Polymer Chemistry 12 (2021)37. - Article Number: 5377-5389

Wei, Q. ; Imbrasas, P. ; Caldera-Cruz, E. ; Cao, L. ; Fei, N. ;
Thomas, H. ; Scholz, R. ; Lenk, S. ; Voit, B. ; Reineke, S. ; Ge, Z. :
Conjugation-induced thermally activated delayed fluorescence: photophysics of a carbazole-benzophenone monomer-to-tetramer molecular series. - Journal of Physical Chemistry A 125 (2021)6. - S. 1345-1354

Weigel, N. ; Männel, M. J. ; Thiele, J. :
Flexible materials for high-resolution 3D printing of microfluidic devices with integrated droplet size regulation. - ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)26. - S. 31086-31101

Weigel, N. ; Thiele, J. :
Photopolymer formulations for μ SL printing of hydrogel microstructures as swellable functional elements. - Proceedings of SPIE 11637 (2021). - Article Number: 116370A

Weißpflog, J. ; Vehlow, D. ; Müller, M. ;
Kohn, B. ; Scheler, U. ; Boye, S. ; Schwarz, S. :
Characterization of chitosan with different degree of deacetylation and equal viscosity in dissolved and solid state - Insights by various complimentary methods. - International Journal of Biological Macromolecules 171 (2021). - S. 242-261

Wen, P. ; Wang, X. ; Chen, H. ; Appelhans, D. ;
Liu, X. ; Wang, L. ; Huang, X. :
A pH self-monitoring heterogeneous multi-compartmental proteinosome with spatiotemporal regulation of insulin transportation. - Chinese Journal of Chemistry 39 (2021)12. - S. 3386-3392

Wen, P. ; Wang, X. ; Moreno, S. ; Boye, S. ;
Voigt, D. ; Voit, B. ; Huang, X. ; Appelhans, D. :
Construction of eukaryotic cell biomimetics: Hierarchical polymersomes-in-proteinosome multicompartiment with enzymatic reactions modulated protein transportation. - Small 17 (2021)7. - Article Number: 2005749

Wengenmayr, M. ; Dockhorn, R. ; Sommer, J.-U. :
Multimolecular structure formation with linear dendritic copolymers. - Macromolecules 54 (2021)14. - S. 6937-6946

Werner, M. :
Decoding interaction patterns from the chemical sequence of polymers using neural networks. - ACS Macro Letters 10 (2021). - S. 1333-1338

Wetzel, R. ; Hauser, S. ; Lin, W. ; Berg, P. ;
Werner, C. ; Pietzsch, J. ; Kempermann, G. ; Zhang, Y. :
Screening arrays of laminin peptides on modified cellulose for promotion of adhesion of primary endothelial and neural precursor cells. - Advanced Biology 5 (2021)2. - Article Number: 1900303

Witzmann, T. ; Ramsperger, A.F.R.M. ; Wieland, S. ;
Laforsch, C. ; Kress, H. ; Fery, A. ; Auernhammer, G. :
Repulsive interactions of eco-corona covered micro-plastic particles quantitatively follow modelling of polymer brushes. - arXiv:2111.08544 [cond-mat.soft] (2021). - 18 Seiten

Wölfel, E. ; Brünig, H. ; Curosu, I. ; Mechtcherine, V. ; Scheffler, C. :
Dynamic single-fiber pull-out of polypropylene fibers produced with different mechanical and surface properties for concrete reinforcement. - Materials 14 (2021)4. - Article Number: 722

Wong, F. ; Stokes, J. M. ; Cervantes, B. ; Penkov, S. ;
Friedrichs, J. ; Renner, L. ; Collins, J.J. :
Cytoplasmic condensation induced by membrane damage is associated with antibiotic lethality. - Nature Communications 12 (2021)1. - Article Number: 2321

Wong, F. ; Wilson, S. ; Helbig, R. ; Hegde, S. ; Aftenieva, O. ;
Zheng, H. ; Liu, C. ; Pilizota, T. ; Garner, E. ; Amir, A. ; Renner, L. :
Understanding beta-lactam-induced lysis at the single-cell level. - Frontiers in Microbiology 12 (2021). - Article Number: 712007

Wu, H.C. ; Lissel, F. ; Wang, G.N. ;
Koshy, D.M. ; Nikzad, S. ; Yan, H. ; Xu, J. ;
Luo, S.C. ; Matsuhisa, N. ; Cheng, Y. ;
Wang, F. ; Ji, B. ; Li, D. ; Chen, W.C. ;
Xua, G. ; Bao, Z. :
Metal-ligand based mechanophores enhance both mechanical robustness and electronic performance of polymer semiconductors. - Advanced Functional Materials 31 (2021)11. - Article Number: 2009201

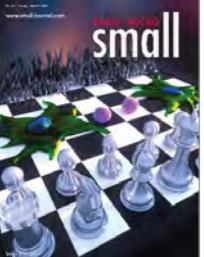
Wu, Y. ; Lu, C. ; Pan, N. ; Zhang, M. ; An, Y. ;
Xu, M. ; Zhang, L. ; Guo, Y. ; Tan, L. :
Serum lactate dehydrogenase activities as systems biomarkers for 48 types of human diseases. -
Scientific Reports 11 (2021)1. - Article Number: 12997

Xu, S.Q. ; Sun, H. ; Addicoat, M. ; Biswal, B.P. ;
He, F. ; Park, S. ; Paasch, S. ; Zhang, T. ; Sheng, W. ;
Brunner, E. ; Hou, Y. ; Richter, M. ; Feng, X. :
Thiophene-bridged donor-acceptor sp(2)-carbon-linked 2D conjugated polymers as photocathodes for water reduction. -
Advanced Materials 33 (2021)1. - Article Number: 2006274

Yandi, W. ; Nagy, B. ; Skallberg, A. ; Uvdal, K. ;
Zimmermann, R. ; Liedberg, B. ; Ederth, T. :
Polyampholytic poly(AEMA-co-SPMA) thin films and their potential for antifouling applications. -
ACS Applied Polymer Materials 3 (2021)11. - S. 5361-5372

Ye, J. ; Aftenieva, O. ; Bayrak, T. ; Jain, A. ;
König, T.A.F. ; Erbe, A. ; Seidel, R. :
Complex metal nanostructures with programmable shapes from simple DNA building blocks. -
Advanced Materials 33 (2021)29. - Article Number: 2100381

Yong, H. ; Molcrette, B. ; Sperling, M. ; Montel, F. ; Sommer, J.-U. :
Regulating the translocation of DNA through poly(N-isopropylacrylamide)-decorated switchable nanopores by cononsolvency effect. -
Macromolecules 54 (2021)9. - S. 4432-4442



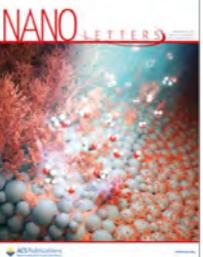
Yu, H. ; Qiu, H. ; Man, W. ;
Maitz, M.F. ; Tu, Q. ; Xiong, K. ;
Chen, J. ; Huang, N. ; Yang, Z. :
Endothelium-mimicking surface combats thrombosis and biofouling via synergistic long- and short-distance defense strategy. -
Small 17 (2021)24. -
Article Number: 2100729

Zahn, I. ; Stöbener, D. D. ; Weinhardt, M. ; Gögele, C. ;
Breier, A. ; Hahn, J. ; Schröpfer, M. ; Meyer, M. ; Schulze-Tanzil, G. :
Cruciate ligament cell sheets can be rapidly produced on thermoresponsive poly(glycidyl ether) coating and successfully used for colonization of embroidered scaffolds. -
Cells 10 (2021)4. - Article Number: 877

Zech, C. ; Hönicke, P. ; Kayser, Y. ;
Risse, S. ; Grätz, O. ; Stamm, M. ; Beckhoff, B. :
Polysulfide driven degradation in lithium-sulfur batteries during cycling - quantitative and high time-resolution operando X-ray absorption study for dissolved poly-sulfides probed at both electrode sides. -
Journal of Materials Chemistry A 9 (2021)16. - S. 10231-10239

Zhang, B. ; Yao, R. ; Hu, C. ; Maitz, M.F. ;
Wu, H. ; Liu, K. ; Yang, L. ; Luo, R. ; Wang, Y. :
Epigallocatechin gallate mediated sandwich-like coating for mimicking endothelium with sustained therapeutic nitric oxide generation and heparin release. -
Biomaterials 269 (2021). - Article Number: 120418

Zhang, B. ; Yao, R. ; Maitz, M.F. ; Mao, G. ;
Hou, Z. ; Hu, H. ; Luo, R. ; Wang, Y. :
Poly(dimethyl diallyl ammonium chloride) incorporated multilayer coating on biodegradable AZ31 magnesium alloy with enhanced resistance to chloride corrosion and promoted endothelialization. -
Chemical Engineering Journal 421, Part 2 (2021). -
Article Number: 127724



Zhao, B. ; Bonaccuso, E. ;
Auernhammer, G. ; Chen, L. :
Elasticity-to-capillarity transition in soft substrate deformation. -
Nano Letters 21 (2021)24. -
S. 10361-10367

Zhao, B. ; Jia, Y. ; Xu, Y. ; Bonaccuso, E. ;
Deng, X. ; Auernhammer, G. ; Chen, L. :
What can probing liquid-air menisci inside nanopores teach us about macroscopic wetting phenomena? -
ACS Applied Materials & Interfaces 13 (2021)5. - S. 6897-6905

Zhao, X. ; Piontek, J. :
Electrochemical performance of polydopamine modified PANI/rGO composites: Dependency on preparation sequence. -
Journal of Applied Polymer Science 138 (2021)28. -
Article Number: e50663

Zhu, H. ; Liu, S. ; Guo, Z. ; Yan, K. ; Shen, J. ;
Zhang, Z. ; Chen, J. ; Guo, Y. ; Liu, L. ; Wu, X. :
Strong histamine torsion Raman spectrum enables direct, rapid, and ultrasensitive detection of allergic diseases. -
iScience 24 (2021)11. - Article Number: 103384

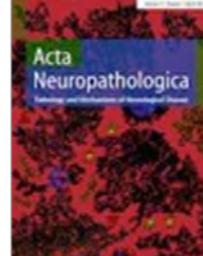


Zhu, S. ; Göbel, M. ; Formanek, P. ;
Simon, F. ; Sommer, M. ; Choudhury, S. :
Mask-painting symmetrical micro-supercapacitors based on scalable, pore size adjustable, N-doped hierarchical porous carbon. -
Journal of Materials Chemistry A 9 (2021)24. - S. 14052-14063

Zhyhalo, M. ; Horechyy, A. ; Meier-Haack, J. ; Formanek, P. ;
Malanin, M. ; Arnhold, K. ; Schneider, K. ; Yevchuk, I. ; Fery, A. :
Proton conductive membranes from covalently cross-linked poly(acrylate)/silica interpenetrating networks. -
Macromolecular Materials and Engineering 306 (2021)4. -
Article Number: 2000776

Zieber, F. ; Kulic, I.M. :
How influenza's spike motor works. -
Physical Review Letters 126 (2021)21. - Article Number: 218101

Zimmerer, C. ; Putzke, S. ; Reinhardt, M. ;
Janke, A. ; Stommel, M. ; Hofinger, J. ; Simon, F. :
Bioinspirierte Metallisierung von Polyolefinen. -
Kunststoffe (2021). - www.kunststoffe.de/a/fachartikel/bioinspirierte-metallisierung-von-polyol-324299. -



Zoupi, L. ; Booker, S.A. ; Eigel, D. ;
Werner, C. ; Kind, P.C. ; Spires-Jones, T.L. ;
Newland, B. ; Williams, A. :
Selective vulnerability of inhibitory networks in multiple sclerosis. -
Acta Neuropathologica 141 (2021)3. -
S. 415-429 ■

Preise und Auszeichnungen

1 Dr. Silvia Moreno Pinilla

MaterialVital Preis 2020 –

Best Young Investigator der BMBF-Fördermaßnahme

„Materialinnovationen für gesundes Leben: ProMatLeben“

2 Dr. Muhamad Al-Aiti

WAK-Röchling-Preis

vom Wissenschaftlichen Arbeitskreis der

Universitäts-Professoren der Kunststofftechnik (WAK)

für seine Dissertation „On the morphology and structure

formation of lignin-based carbon fibers“

3 Markus Kämpfe

Förderpreis

der Deutschen Kautschuk-Gesellschaft

für die Diplomarbeit „Rheologische Stoffdaten ermittlung und

das spritzgieß- relevante Fließverhalten von Copolymer-TPE“

4 Dr. Laura Plüsckie, Dr. Ron Dockhorn,

Dr. Martin Geisler, Prof. Dr. Jens-Uwe Sommer

und Prof. Dr. Albena Lederer

Innovationspreis des IPF und

des Fördervereins des IPF

für ihre synthetischen, analytischen und theoretischen Arbeiten
zur Aufklärung der Verzweigungsmechanismen bei der

Synthese von Polyolefinen mittels Chain-Walking-Katalyse

5 Dr. Franziska Obst

Doktorandenpreis

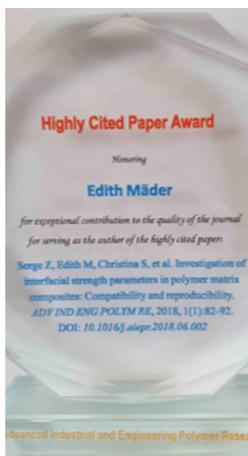
des Fördervereins des IPF

für ihre Dissertation „Enzyme immobilization in compartmentalized microfluidic devices for serial and parallel multi-enzymatic cascade reactions“

6 Berthold Ludwig Reis

Professor-Franz-Brandstetter-Preis

für seine Masterarbeit zum Thema „Thermoresponsive Polyelectrolytkomplexe für die kontrollierte Freisetzung von Wirkstoffen aus Beschichtungen von Knochenersatzmaterialien“



Prof. Edith Mäder

Highly Cited Paper Award
und Crystal Award

der Zeitschrift Advanced Industrial and Engineering Polymer Research

für die Veröffentlichung „Investigation on interfacial strength parameters in polymer matrix composites: Compatibilization and reproducibility“
Autoren: S. Zhandarov, Ch. Scheffler, G. Kalinka, C. Poitzsch, St. Fliescher



7 Prof. Dr.-Ing. Axel Spickenheuer

Outstanding Technical Paper Award

der Society of Automotive Engineers (Japan)

für die Veröffentlichung „Design and fabrication of lightweight automotive parts with continuous fiber composite using topology optimization and Tailored Fiber Placement“

Dr. Petra Pötschke,

Dr. Jürgen Pionteck, Dr. Beate Krause

Posterpreis auf der NanoCarbon Annual Conference 2021

für das Poster „Overview of thermoelectric materials based on polymers and CNTs“

9 Dr. Susanne Boye und Dr. Martin Geisler

Preise für die besten Pitch Presentations

auf dem 10th International Symposium on the Separation and

Characterization of Natural and Synthetic Macromolecules

„A critical assessment of the application of multidetection SEC and AF4 for the separation of single-chain nanoparticles“

Autoren: J. Engelke, S. Boye, B.T. Tuten, L. Barner,

Ch. Barner-Kowollik, A. Lederer

„The role of solubility in thermal FFF: A revised approach for tuning the separation of chain walking polymerized polyethylene“

Autoren: M. Geisler, L. Plüsckie, J. Merna, A. Lederer

10 Patrick Probst

Posterpreis auf der Bunsen-Tagung 2021

für das Poster „Dynamic tuning of giant circular dichroism in templated colloidal assemblies“

Autoren: P. Probst, M. Mayer, V. Gupta, A. M. Steiner, Ziwei Zhou, G. K. Auernhammer, T. A. F. König, A. Fery



Graduierungsarbeiten

11 Victoria Sarangova

Beste Posterpräsentation

im Herbstmeeting des Transregio-Sonderforschungsbereichs (TRR) 12 „Biologie der xenogenen Zell-, Gewebe- und Organtransplantation von der Grundlagenforschung zur klinischen Anwendung“

„Porcine islet macroencapsulation for the treatment of patients with insulin-dependent diabetes mellitus“

Autoren: C. Heller, B. Ludwig, P. Welzel, C. Werner

12 Muskan Kularia

Preise des Indian Institute of Technology Delhi (IIT)

Dr. Shankar Dayal Sharma Gold Medal

für die beste Gesamtleistung,

Perfect 10 Gold Medal

für Erreichen der Maximalnoten bzw. -punktzahl,

Buti Foundation Award

für die beste weibliche Absolventin des Instituts

P.K. Katti Award

als beste M.Tech.-Studentin im Bereich Physik des IIT Delhi

für die teilweise am IPF entstandene Masterarbeit

„Plasmonic nanoparticles self-assembly on a fiber end face“

Gaurav Gupta

Shri Harbans Singh Memorial Award

des Indian Institute of Technology Delhi (IIT)

als bester Student in Masterstudiengang Angewandte

Optik für die teilweise am IPF entstandene Masterarbeit

„Plasmonic colloid-to-film-coupled cavities

for tailored light-matter interaction“

13 Martin Mayer

Recognition Price for 3D Representation

in der Scientific Image Competition des Centre of Advancing Electronic Dresden (caed)

für die Visualisierung der Filterung der Lichtpolarisationen durch chirale gestapelte Nanopartikellinen

Prof. Andreas Fery

Ernennung zum Humboldt-Scout

im Henriette-Herz-Scouting-Programm der Alexander-von-Humboldt-Stiftung

14 DermaPurge GmbH

Max Schnepf, Jonas Schubert, Felix Klee (Ausgründer)

Wiley Analytical Science Award 2022

in der Kategorie „Separation, Lab Automation & Lab Equipment“ für das Produkt nano-ex zur Entfernung von Nanopartikeln von der Haut

15 Marie Haase

Auszeichnung als

jahrgangsbeste Absolventin

der Industrie- und

Handelskammer Dresden

in der Ausbildung zum Chemielaboranten



14

15 Leibniz-Institut für

Polymerforschung Dresden e. V.

Ehrung als Ausgezeichneter

Ausbildungsbetrieb 2020

durch die Industrie- und

Handelskammer Dresden ■



13

15

Promotionen

Sofya Dedova (Gorelowa)

Beschreibung von Deformation und Rissausbreitung in Elastomeren unter multiaxialer Belastung

Technische Universität Dresden

Dmitri Eigel

Engineering cryogels for applications in neurosciences

Technische Universität Dresden

Johanna Engelke

In-depth understanding of the folding behavior of single-chain polymer nanoparticles

Technische Universität Dresden

Maximilian Fusenig

Targeting the leukaemic stem cells niche:
An opportunity for novel therapeutic treatment options

Technische Universität Dresden

Martin Geisler

Topology and thermophoresis characterization of complex polymers by thermal field-flow fractionation

Technische Universität Dresden

Carolin Heller

Design of a macroencapsulation device for pancreatic islets for diabetes therapy

Technische Universität Dresden

Kilian Horatz

Development of novel polymer matrices for MALDI MS and MALDI MS imaging

Technische Universität Dresden

Ying Huang

Preparation of toughened melt-spinnable polylactide (PLA) by electron-induced reactive processing

Technische Universität Dresden

Benjamin Kemper

Degradation von historischem Celluloseacetat:
Auswirkungen äußerer Einflüsse am Beispiel der
Gläsernen Figuren sowie Vorschläge zu deren Erhaltung

Technische Universität Dresden

Patrick Probst

Linear alignment of nanoparticles employing wrinkle-structured templates

Technische Universität Dresden

Christopher Schutzeichel

A novel method for the bottom-up micro-structuring of silicon patterning of polymers

Technische Universität Dresden

Jana Sievers

Development of a mineralized biphasic *in vitro* hydrogel model for the study of breast cancer bone metastasis

Technische Universität Dresden

Xin Lei Tang

Piezoresistive behavior of poly(vinylidene fluoride) based ternary composites using a miscible second polymer matrix

Technische Universität Dresden

David Vehlow

Spezifische Anbindung und Freisetzung von Bortezomib an katecholhaltigen Polyelektrolytkomplex-Nanopartikeln

Technische Universität Dresden

Xueyi Wang

Different pH-responsive polymersomes as artificial organelles and subcompartments of novel artificial cells

Technische Universität Dresden



Martin Wengenmayr

Theoretical physics of dendrimers
in complex environments

Technische Universität Dresden

Huaisong Yong

Polymer phase separation in competition solvents

Technische Universität Dresden

Diplom- und Masterarbeiten

Luise Andreas

Herstellung und Untersuchung von Beschichtungen
mittels photoinduzierter Härtung unter Verwendung des
Fettes von Hermetia illucens in Kombination
mit pflanzlichen Ölen

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Maria Gracia Benedicto Maldonado

3D-bioplotting of hydrogels for cell-free protein synthesis

Technische Universität Dresden

Sascha Bruk

Untersuchung zur Aktuierbarkeit von Multi-Matrix-
Faserkunststoffverbunden mittels Drähten aus
Formgedächtnislegierung unter Verwendung des
Tailored Fiber Placement-Verfahrens

Technische Universität Dresden

Kristin Fichna

Stability of enzyme-loaded polymersomes in presence
of simulated body fluids and peptidases

Technische Universität Dresden

Karina Haro Carrasco

Adsorptionsuntersuchungen von Schwermetallsalzen
an porösen Poly(melamin-co-formaldehyd)-Partikeln

Technische Universität Dresden

Julian Heinrich

Monomer synthesis for oxidation responsive
polyesters from radical ring-opening polymerization

Technische Universität Dresden

Stephanie Ihmann

Entwicklung eisenoxidhaltiger Polymerkomposite
für die heterogene Fentonreaktion zum Abbau
von Spurenschadstoffen

Technische Universität Dresden

Kateryna Ivanova

Dynamic protein crowding in microscopic hydrogels

Technische Universität Dresden

Pallavi Jha

Electrically conductive hydrogels for controlled drug release

Technische Universität Dresden

Carlos Alejandro Jimenez Rodriguez

Organic electrochemical transistors based on bio-hybrid
electrically conductive hydrogels as biosensing platform

Technische Universität Dresden

Erik Kalz

Diffusion under the effect of Lorentz force

Technische Universität Dresden

Sophie Klempman

Untersuchungen zur statistischen Physik aktiver Moleküle

Technische Universität Dresden

Tom Kösterke

Synthesis of macromonomers for hydrogels with redox
reversible bonds from β -CD-ferrocene host-guest complex

Technische Universität Dresden

Fabian Mehner

Synthesis of highmolecular weight polyesters via
ring opening polymerization of cyclic ketene acetals

Technische Universität Dresden

Yu-Hsuan Peng

Development of programmable DNA-crosslinked
hydrogels for biomedical applications

Technische Universität Dresden

Hifsa Pervez

Experimental investigation of the resin transfer
moulding infiltration of tailored fiber placement structures

Technische Universität Dresden

Tina Ramberg

A novel 3D kidney cell culture with PTEC/TERT1
for high-throughput toxicity screening

**Hochschule Anhalt - Anhalt University
of Applied Sciences**

Pedro Rangel de Faria

Investigation of the single cell growth
behavior of Escherichia coli expressing the
GASP phenotype under various conditions

Technische Universität Dresden

Toni Rietzschel

Zweistufig vernetzbare Uretdion-Pulverlacke
auf Basis modifizierter Ligninharze

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Pablo Sanchez Quintana

High-resolution 3D-printing for cell-free biotechnology

Technische Universität Dresden

Victoria Sarangova

Oxygen production and distribution in an islet
encapsulation device for the treatment of diabetes

Technische Universität Dresden

Erik Schöne

Stoffliche und technologische Einflussfaktoren auf die
selektive Lokalisierung und mechanischen Eigenschaften
sowie das Selbstheilungsverhalten von Ruß/Silica-
Hybridfüllstoffen in Brom-Butyl-Kautschuk (BIR)

Technische Universität Dresden

Sezer Seçkin

Study of polyimine based two-dimensional
conjugated polymers by spectroscopic methods

Technische Universität Dresden

Sebastian Städter

Immobilization of enzyme-loaded polymeric
vesicles on a solid support for bioassays

Technische Universität Dresden

Michelle Vigogne

Mikroskopische Hydrogеле mit
verschiedenen optischen Eigenschaften

Technische Universität Dresden

Yuemeng Wang

Assembly of donor: Acceptor
nanoparticles and study of their properties

Technische Universität Dresden

Cameron Welker

Theoretische und experimentelle Untersuchungen
an beuloptimierten CFK-Zylinderschalen mit
variabelaxialem Faserdesign

Technische Universität Dresden

Linxia Zhang

Validating the stability of liposomes and dendrimersomes for
the integration in coacervate and proteinosomes protocells

Technische Universität Dresden

Sebastian Zink

Synthese von polymeren ionischen Flüssigkeiten,
Eigenschaftscharakterisierung und Verwendung
in Lithium-Ionen-Batterien

Technische Universität Dresden

Bachelorarbeiten

Caroline Börner

Synthese von porösen Harzpartikel
aus Poly(melamin-co-formaldehyd)

Technische Universität Dresden

Morten Breidung

Optimierung der Synthese von Goldpartikeln
mittels maschinellen Lernens

Technische Universität Dresden

Vincent Bretschneider

Anordnung von Goldpartikeln mit Schalen aus leitfähigem Polymer mittels Rotationsbeschichtung

Technische Universität Dresden

Li Chen

Synthese eines komplett hydrophoben AB-Blockcopolymers mit fotovernetzbarem und enzymatisch abbaubarem Block

Technische Universität Dresden

Tina Marie Hauser

Morphogen gradient in heparin-based hydrogels for directing human cell fate stratification

Staatliche Studienakademie Riesa

Lukas Klähn

Adsorptions- und Flockungsuntersuchungen mit Hefezellen

Technische Universität Dresden

Lucie Marx

Qualitative und quantitative Bestimmung von Mikroplastik in Umweltproben mit RAMAN-Spektroskopie

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Lorenzo Pilch

Systematische Untersuchung von Strukturparametern nano- und mikrostrukturierter Oberflächen auf Benetzung, Proteinadsorption und Blutverträglichkeit

Staatliche Studienakademie Riesa

Johanna Stroetmann

Thermoresponsive Verhalten von nanoskaligen PDMAEMA

Technische Universität Dresden

Linda Sturm

Innovative *in vitro* Gewebe- und Krankheitsmodelle basierend auf makropösen starPEG-Heparin-Cryogelen

Staatliche Studienakademie Riesa ■

Wissenschaftleraustausch

IPF-Fellows

Prof. Dr. Mahmoud Al-Hussein

University of Jordan, Department of Physics, Jordanien

Prof. Dr. Leonid Ionov

Universität Bayreuth, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Bayreuth, Deutschland

Prof. Dr. Hossein Ali Khorakdar

Iran Polymer & Petrochemical Institute, Tehran, Iran

Dr. Igor Kulic

CNRS, Institut Charles Sadron, Strasbourg, Frankreich

Prof. Dr. Ivan Minev

The University of Sheffield, Department of Automatic Control and Systems Engineering, Sheffield, Großbritannien

Prof. Dr. Tilo Pompe

Universität Leipzig, Institut für Biochemie, Leipzig, Deutschland

Prof. Kim Williams

Colorado School of Mines, Department of Chemistry, Golden, Colorado, USA

Gastwissenschaftler (Auswahl)

Alexander-von-Humboldt-Stiftung-Stipendiaten**Dr. Quinn Alexander Besford**

University of Melbourne, Australia
Investigation of co-nonsolvency effects in polymer coatings
01.09.2019 bis 31.08.2021

Dr. Soosang Chae

Korea Research Institution of Chemical Technology, South Korea
Nacre-inspired stretchable fibre electrodes
01.05.2018 bis 30.04.2021

Dr. Yue Dong

South China Normal University, Guangzhou, China
Hybrid cholesteric hydrogels with stimulus-responsive chiral plasmonic structure
01.06.2021 bis 31.02.2023

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

Meisam Shabani

Standard Research Institute, Iran
Synthesis of a new series of partially hydrolyzed polyacrylamides for improving shale stability and thermal resistance of drilling mud
01.02.2021 bis 31.07.2022

Prof. Joseph Tracy

North Carolina State University, USA
Optically and magnetically responsive three-dimensional printed nanocomposite hydrogels
22.06.2021 bis 16.08.2021

Dr. Ziwei Zhou

Jilin University, China
Dynamically tunable chiral plasmonics of strongly coupled 3D nano-enantiomers
01.03.2019 bis 28.02.2021

Liebig-Stipendium**Po Yuen Ho**

Synthesis and investigation of ruthenium-based polymetallaynes
16.10.2019 bis 31.10.2021

Dr. Franziska Lissel

Stiftung des Verbandes der Chemischen Industrie e. V.
Organometallic donor-acceptor polymers for (opto)electronic applications
01.04.2018 bis 31.03.2021

Dr. Christian Rossner

Maßgeschneiderte Nanohybridmaterialien für die plasmonenverstärkte Photokatalyse
01.12.2019 bis 30.11.2022

Shayan Vazirieh Lenjani

Analyzing interfacial effects in hybrid core-shell nanoparticles
01.12.2020 bis 30.11.2022

Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD)

Matthew Robert Clary

North Carolina State University, USA
3D-printed magnetic elastomer composites with integrated sensing for feedback-controlled actuation
22.06.2021 bis 17.09.2021

Kedar Nath Dhakal

Tribhuvan University, India
Meltspun nanofibers based on biodegradable poly(butylene adipate-co-terephthalate)/ multiwalled carbon nanotubes nanocomposites for strain sensor application
01.10.2019 bis 30.09.2021

Kriti Kapil

Carnegie Mellon University Pittsburgh, USA
Characterization of polymer-protein/polymer-bioscicle hybrids
01.09.2021 bis 31.10.2021

Kajari Mazumder

Materials Science Centre Indian Institute of Technology, India
Preparation of functional polymers and explore their applications
01.10.2019 bis 31.03.2022

Stipendium des chinesischen State Scholarship Funds vergeben über China Scholarship Council (CSC)**Wenhui Dong**

DNA-pi-conjugated polymer conjugated bioelectronics
08.10.2018 bis 07.10.2021

Yixuan Du

Shanghai University, Shanghai, China
Design of Janus structures for high-performance organic optoelectronic devices with plasmonic particles
14.11.2018 bis 30.09.2022

Chen Jiao

Hydrogels with non-linear and selective response on chemical information for microfluidic application
01.10.2019 bis 30.09.2023

Prof. Yongyue Luo

Agricultural Products Processing Research Institute, Hainan, China
Functional bio-based flame-retardant polymers for advanced application
01.07.2021 bis 30.06.2022

Zhi Qiao

Development of reactive polymer matrices for MALDI and MALDI MSI
01.02.2020 bis 31.01.2023

Peng Wang

Non-covalent interactions for the fabrication of complex polyplexes for imaging study
11.10.2017 bis 31.12.2021

Ruosong Wang

Surface plasmon enhanced upconversion based on Ln-doped nanoparticles
01.11.2018 bis 30.09.2021

Xiaoying Xu

Donghua University, China
Artificial cell mimics based on polymersomes and multicompartment for capturing pathogens
01.10.2018 bis 31.03.2022

Junming Zhang

Lanzhou University, China
Absorption performance of self-assembled plasmonic nanostructures
01.02.2021 bis 31.01.2022

Kehu Zhang

Integrating attachable, self-sorting, multi-stimuli-responsive polymersomes for applications in microfluidic channels
01.10.2019 bis 31.03.2023

Kenan Zhang

Novel solution-processable semiconducting polymers for vertical transistors
01.09.2017 bis 31.08.2021 und 12.10.2021 bis 31.10.2021

Stipendium des 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

ERASMUS - Stipendium**Laia Lopez Fernandez**

Universitat Autònoma de Barcelona, Spain
Electrochemical characterization of polymersomes.
Modification of different carbon electrodes with polymersomes in order to sense metal ions or biomolecules.
07.07.2021 bis 07.01.2022

Stipendium der Evonik-Stiftung**Fabian Mehner**

Synthese eines bioabbaubaren PEK-Surrogats mittels radikalischer Ringöffnungspolymerisation von zyklischen Ketenacetalen
01.11.2021 bis 31.10.2023

International Graduate Education Scholarship (YLSY), Türkei**Zeynep Tansu Atasavum**

Investigation of the effects of extracellular matrix on neurodegeneration from a molecular and matrix biology perspective
17.08.2020 bis 16.08.2024

Gaststudenten am IPF (Auswahl)**Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD)****Abhijeet Agarwal**

Indian Institute of Technology Kharagpur, India
Functionalization of cellulose and preparation of cellulose rubber composites
01.11.2021 bis 31.03.2022

Narayanan Arivalagan

Rubber Technology Centre, IIT Kharagpur, India
Development of structurally tailored chalcogenide ornamented graphene and PVDF based thermoelectric nanocomposites
01.10.2020 bis 31.03.2021

Kartik Gaur

Indian Institute of Technology Delhi, India
Spectroscopic properties of whispering gallery modes fabricated by colloidal self-assembly
01.11.2021 bis 31.03.2022

Gaurav Gupta

Indian Institute of Technology Delhi, India
Plasmonic colloid-to-film-coupled cavities for tailored light-matter interaction
01.10.2020 bis 31.03.2021

Anu Muthukamatchi

Rubber Technology Centre, IIT Kharagpur, India
Exploring oxygen-metal-complex network formation in epoxidised natural rubber (ENR) based blends
01.10.2020 bis 31.03.2021

Jishnu Nirmala Suresh

Rubber Technology Centre, IIT Kharagpur, India
Influence of functional fillers on actuation behavior of dielectric elastomeric materials
15.10.2020 bis 31.03.2021

Nandhini Saravanan

Indian Institute of Technology Kharagpur, India
Effect of surface modification of lignin on the mechanical behaviour of rubber-lignin biocomposites
01.11.2021 bis 31.03.2022

Mukesh Singh

Indian Institute of Technology Kharagpur, India
Surface modification of natural fibers for biodegradable green composites
01.11.2021 bis 31.03.2022

Satish Kumar Singh

Rubber Technology Centre, IIT Kharagpur, India
Development of a new method based on the wetting concept for determination of the selective localization of a hybrid-filler system in binary rubber blends
01.10.2020 bis 31.03.2021

Shubham Verma

Rubber Technology Centre, IIT Kharagpur, India
Self-healing elastomer (SHE) via ionic modification of a commercially available rubber
01.10.2020 bis 31.03.2021

ERASMUS - Stipendium**Enxhi Myftari**

Agricultural University of Athens, Greece
Enzyme-loaded polymersomes as oxidative-responsive organelle mimics
01.03.2021 bis 31.05.2021

Ralfs Vevers

Riga Technical University, Latvia
Development and characterization of membranes for drinking water treatment of surface waters with low fouling tendency
16.08.2021 bis 16.10.2022 ■

Veranstaltungen

Veranstaltungen

Wissenschaftliche Veranstaltungen

27. NDVaK:
Sensorik auf polymeren Oberflächen
17. und 18. März 2021 – online

29. Seminar
„**Kunststoffrecycling in Sachsen**“
als Online-Seminare (alle zwei Wochen)
vom 27. April bis 22. Juni 2021

HI-WATER Project Closing Week
Abschlussstagung des m.era-net-Projekts
„Efficient and affordable water treatment
technologies to minimize waterborne diseases“
24. bis 28. Mai 2021 – online

EKFZ InnoDays
Jahrestreffen des Else Kröner Fresenius
Zentrums für Digitale Gesundheit
24. und 25. September 2021

**7th Young Polymer Scientists Conference
and Short Course des European Centre
of Nanostructured Polymers**
27. und 18. September – online (Lodz, Poland)

**Polymer Brushes: New Developments and
Perspectives in Experiment, Theory and Applications**
11. bis 13. Oktober 2021 – online

**1 FFF 2021: 1st Virtual Symposium
on Field- and Flow-based Separations**
11. bis 13. Oktober 2021 – online

**2 17th Dresden Polymer Discussion:
Adaptive Polymer Synthesis Methodologies**
24. bis 27. Oktober 2021 – Meißen,

**3 Aachen-Dresden-Denkendorf
International Textile Conference**
9. und 10. November 2021 – online

30. Seminar „Kunststoffrecycling in Sachsen“
19. Oktober 2021 – Dresden, hybrid

**„Fasern, Schichten, Matrices -
nachhaltige Werkstoffe in FKV“**
Sitzung der Arbeitsgruppen Faser-Matrix-Haftung und
Matrices des Clusters Ost des Composites United e. V.
2. Dezember 2021 – online



Veranstaltungen für die allgemeine Öffentlichkeit

DRESDEN-concept-Wissenschaftsausstellung
„Wie werden wir in Zukunft leben?
Dezember 2020 bis April 2021 – Rathaus Dresden
Mai bis November 2021 – Technische Sammlungen Dresden

Fame Lab
Himanshu Patel: „Rheology of complex fluids“
Regionalwettbewerb Dresden
17. März 2021

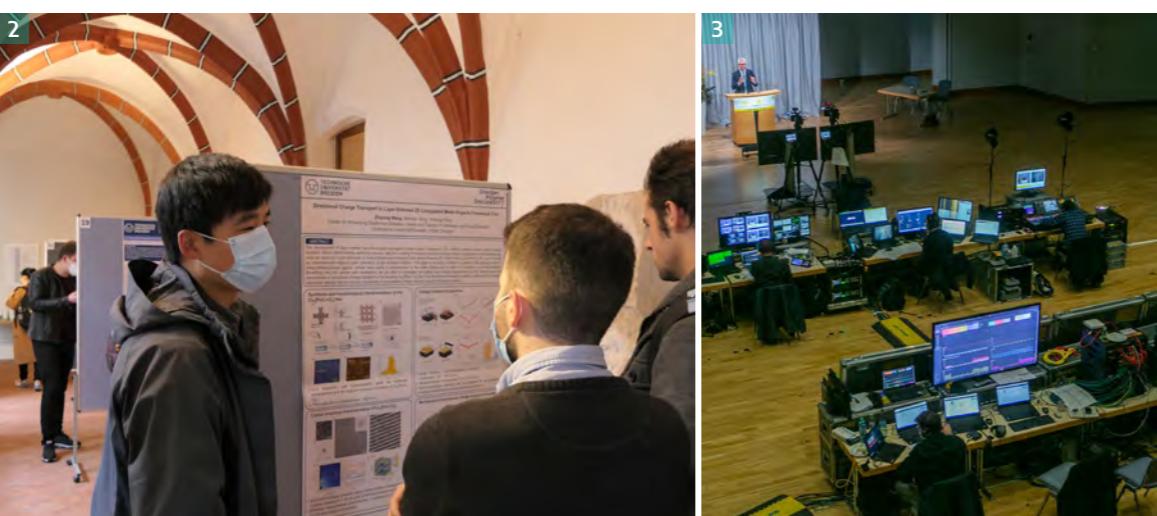
5 European Rover Challenge
Unterstützung des IPF / IPW für Team STAR Dresden bei
Entwicklung und Fertigung des Chassis für den Rover Electra
9. bis 12. September 2021 – Kielce, Polen



7 Dresden Lange Nacht der Wissenschaften
• **Vorträge:** „Große Moleküle – große Ideen“
und „Rotes Gold (Plasmonik)“
• **Virtuelle Laborführung** „Wie Polymere BioNTech
und Co aus dem Frost helfen können“
• **Chats** „Berufsausbildung in der Forschung“ und
„Warum und wie Wissenschaftler Firmen gründen“
• **Online-Ausstellung**
„Mikroplastik: Was, wieviel, woher, wohin?“
• **Video-Experimente-Quiz**
„Wissenschaft für's Kinderzimmer“
• **Video-Premiere** „Organische und Bioelektronik“
und weitere Videos auf Abruf
9. Juli 2021 – online

6 Girls' Day
„Ingenieurin werden – Zukunft mitgestalten“
42 Teilnehmerinnen aus ganz Deutschland
22. April 2021 – online

4 Virtual Lab Day
im Rahmen des Programms Virtual Lab Days und Werkstoff-
ferien des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
15. September 2021



Kolloquien

Dr. Berat Taskin

FMZ Universität Würzburg
Fabrication of cell-instructive ECM analogs via electrospinning
19. Mai 2021 – online

Ryohei Seto

Wenzhou Institute,
University of Chinese Academy of Sciences
Migration and jamming in pressure-driven flows of non-Brownian suspensions
8. Juli 2021 – online

Ilka Hermes

Park Systems Europe GmbH
Correlative piezoresponse force and photoluminescence microscopy on MAPbI₃ perovskite
9. Juli 2021 – online

Dr. Aldona Mzyk

University Medical Center Groningen,
Department of Biomedical Engineering, Netherlands
Nanoscale MRI for real-time free radical detection in living cells
1. September 2021 – online

Prof. Frieder Muggele

University Twente,
Institute for Nanotechnology, Netherlands
Swelling of partially saturated hydrophobic polymer brush layers and facet-dependent charging of semi-conducting colloidal nanoparticles – new insights on two distinct topics.
5. Oktober 2021

Dr. Axel Guenther

University of Toronto,
Department of Mechanical & Industrial Engineering, Canada
Biofabrication strategies for protein-based biomaterials and tissues
13. Oktober 2021

Prof. Maikson Tonatto

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-CS), Brazil
Structural analysis of offloading houses using composites and advanced polymeric materials
28. Oktober 2021

Prof. Dr. Sabine Fuchs

Hochschule Hamm-Lippstadt
Novel approaches towards halogen-free flame retardant styrenic polymers and polystyrene foams
8. November 2021

Prof. Holger Ruckdäschel

Universität Bayreuth,
Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe
Polymers in a state of change and its opportunities
22. November 2021

Justus Kuhnigk

Universität Bayreuth
Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe
Influence of the molecular weight on the bead foaming and bead fusion behavior of linear PBT
22. November 2021

Prof. Dr. Mirosława El Fray

West Pomeranian University of Technology Szczecin, Poland
Green Polymer Blends
14. Dezember 2021 – online ■

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

Bereich Ingenieurwissenschaften,
Fakultät Maschinenwesen

Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel –

Professur für Polymerwerkstoffe

Prof. Dr.-Ing. Sven Wießner –

Professur für Elastomere Werkstoffe

Weitere Lehraufträge von IPF-Mitarbeitern

Technische Universität Dresden

Bereich Mathematik und Naturwissenschaften

Dr. Tobias A. F. König – TUD Young Investigator

in der Fakultät Chemie und Lebensmittelchemie und
Privatdozentur im Gebiet Physikalische Chemie

Dr. Elisha M. Krieg – 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 Physik

Dr. Julian Thiele – TUD Young Investigator

in der Fakultät Chemie und Lebensmittelchemie

Andere Einrichtungen

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme

Prof. Dr.-Ing. Udo Wagenknecht –

Honorarprofessur für Kunststofftechnik

Stellenbosch University, Südafrika

Department of Chemistry and Polymer Science

Prof. Dr. Albena Lederer –

SASOL Chair in Analytical Polymer Science

Bereich Ingenieurwissenschaften

PD Dr. Marina Grenzer – Privatdozentur
für Rheologie komplexer Fluide
Dr.-Ing. Ines Kühnert – 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. Jens Gaitzsch

Graduiertenkolleg 2250
„Impaktsicherheit von Baukonstruktionen
durch mineralisch gebundene Komposite“
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
Dr. Julian Thiele – Lecturer

**Dresden International Graduate School
for Biomedicine and Bioengineering**
Prof. Dr. Carsten Werner

Center for Advancing Electronics Dresden – cfaed

(mit integrierter Graduate School)
Prof. Dr. Brigitte Voit
Prof. Dr. Andreas Fery
PD Dr. Tobias A. F. König
Dr. Franziska Lissel

International Helmholtz Graduate School NanoNet

Prof. D. Brigitte Voit
Dr. Franziska Lissel

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät
Institut für Organische Chemie und
Makromolekulare Chemie
Dr. Franziska Lissel – Vertretungsprofessur
„Funktionale Farbstoffe, Marker und molekulare Sensoren“

**Brandenburgische Technische Universität
Cottbus-Senftenberg**

Fakultät Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme
Dr.-Ing. Ines Kühnert – Lehraufträge
„Verarbeitungsbedingte Materialstrukturen“ und
„Aufbau und Materialverhalten der Kunststoffe“

Fakultät Umwelt und Naturwissenschaften

Dr. Jens Gaitzsch – Lehrauftrag „Polymerchemie“
im B.Sc. Studiengang Materialchemie

**Hochschule für Technik und Wirtschaft
Dresden**

Fakultät Design
Prof. Dr. Axel Spickenheuer – Honorarprofessur
für Werkstoffe und Simulationstechnik

**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 Beruflichen Schulzentrum Meißen-Radebeul und der Sächsischen Bildungsgesellschaft für Umweltschutz und Chemieberufe Dresden werden Chemielaboranten ausgebildet. 2021 befanden sich 12 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. 2021 war das IPF für 12 Berufsakademiestudenten Praxispartner bzw. Ausbildungsunternehmen.

In der Ausbildung zum Verfahrensmechaniker, die in Kooperation mit MEA-Metall- und Elektroausbildung GmbH Kesselsdorf erfolgt, wurden 2021 am IPF zwei Auszubildende 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, Lilja Kusnez

Layout und Satz

Judith Nelke

Druck

Druckhaus Dresden, Neue Süddeutsche Verlagsdruckerei GmbH
www.druckhaus-dresden.de

Bildnachweis

Titelbild Jörg Simanowski;
Seite 4,5 v.l.n.r.: Jörg Simanowski, IPF/Sebastian Kühn, IPF/Soosang Chae,
Sven Döring, Marco Werner, Jörg Simanowski;
Seite 7, 8/9 Portraits, 12, 13, 14, 15, 29, 49, 67, 81, 86, 87 Jörg Simanowski;
Seite 28 IPF, Sebastian Kühn;
Seite 48 IPF, Soosang Chae;
Seite 66 Sven Döring;
Seite 80 Adaptiert aus „System X - Xserve G5 supercomputing cluster“ von Christopher Bowns,
u. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spherulite2de.svg> von Roland.chem Material-
scientist, von Marco Werner <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>;
Seite 126 [1] Jörg Simanowski, [3] Reinhold Fechter, [4] [5] Stephan Floss, oben: Edith Mäder;
Seite 127 [2] Katharina Eusterbrock, [6] Stephan Floss, [7] Jörg Simanowski, [8] Chen Jiao,
[9] Kerstin Wustrack, [10] Tobias A. F. König;
Seite 128 [11] Victoria Sarangova, [12] Muskan Kularia, [13] Tobias A. F. König,
[14] Wiley-VCH GmbH, [15] IHK Dresden, Daniel Viol;
Seite 136 [1] Susanne Boye, [2] Railia Biktimirova, [3] DITF Denkendorf, Roberto Bulgrin;
Seite 137 [5] Taddeus Erhardt.

Redaktionsschluss

11. März 2022

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.