



**Fraunhofer**  
IGB

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR GRENZFLÄCHEN- UND BIOVERFAHRENSTECHNIK IGB

# JAHRESBERICHT 2015 | 16



### **Prüfung des Nährmediums während der Kultivierung von Zellen für die Bildung der *click*ECM**

Im Projekt *click*ECM entwickeln Forscherinnen und Forscher aus Zellbiologie und Materialwissenschaften eine bioverträgliche und stabile Beschichtung für Implantate. Sie besteht aus der extrazellulären Matrix (engl. extracellular matrix, ECM) primärer Zellen, der natürlichen Umgebung der Zellen im Gewebe. Hierzu kultivieren die Forscher menschliche Zellen in einer Nährlösung, die einen mit einer Click-Funktion modifizierten Zucker enthält. Während des Wachstums verstoffwechseln die Zellen den click-funktionalisierten Zucker und bauen die Click-Funktion so in die Glykanstrukturen ihrer ECM mit ein. Wird die *click*ECM isoliert und auf eine mit einer komplementären click-Funktion ausgestattete Materialoberfläche gebracht, verbinden sich beide über stabile kovalente Bindungen (siehe S. 60).

**JAHRESBERICHT**  
**2015 | 16**

# INHALT

## 6 VORWORT

### PROFIL

- 10 Kurzprofil
- 11 Kuratorium des Fraunhofer IGB
- 12 Angebot und Infrastruktur
- 14 Das Institut in Zahlen
- 16 Organigramm
- 18 Fraunhofer IGB in Netzwerken
- 20 Fraunhofer CBP in Netzwerken
- 21 Fraunhofer-Verbünde und -Allianzen

### HIGHLIGHTS 2015

- 22 Forschung – Kooperationen und Projekte
- 26 Fraunhofer IGB international
- 30 Personalien, Preise, Auszeichnungen
- 32 Nachwuchsförderung
- 34 Forschung im Kontext gesellschaftlicher Herausforderungen

### KOMPETENZEN

- 36 Die Fraunhofer-Gesellschaft
- 38 Grenzflächentechnologie und Materialwissenschaft
- 40 Molekulare Biotechnologie
- 42 Physikalische Prozesstechnik
- 44 Umweltbiotechnologie und Bioverfahrenstechnik
- 46 Zell- und Tissue Engineering
- 48 Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP
- 50 Bio-, Elektro- und Chemokatalyse BioCat
- 52 Translationszentrum »Regenerative Therapien für Krebs- und Muskuloskelettale Erkrankungen«
- 54 Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP

## AUSGEWÄHLTE FORSCHUNGSERGEBNISSE

# 2015 →

### 58 MEDIZIN

- 60 *click*ECM – Eine innovative biologische Beschichtung für Implantate
- 62 AmbuLung – Bioartifizielle Lunge
- 64 Aufbau eines funktionalen dreischichtigen Hautmodells
- 66 Next-Generation-Diagnostik von Sepsis
- 68 Kardiale Stammzellendifferenzierung und nicht-invasives Monitoring
- 70 ImmuStick– Das angeborene Immunsystem als Teststreifen
- 72 Sichere Lebensmittel durch physikalische Entkeimung

### 74 PHARMAZIE

- 76 Humane 3D-In-vitro-Testsysteme für Infektionsstudien
- 78 Herstellung Virus-ähnlicher Partikel für pharmazeutische Anwendungen
- 80 Humane In-vitro-Blut-Hirn-Schranken-Modelle für die Medikamentenentwicklung
- 82 Analyse der Partikelverteilung in Gewebemodellen mittels IR-Mikroskopie
- 84 In-vitro-Infektionsmodelle mit Immunkompetenz



## 86 CHEMIE

- 88 Leitprojekt »Kritikalität Seltener Erden«
- 90 Nanofibrilläre Cellulose
- 92 Entwicklung transparenter Hochleistungspolyamide aus Abfällen der Holzindustrie
- 94 Verfahrensskalierung zur Herstellung von Bioaromaten aus Lignin
- 96 Raps-Bioraffinerie – Wertstoffgewinnung aus Raps
- 98 Leitprojekt »Strom als Rohstoff« – Elektrochemische Verfahren für fluktuierende Energie- und Rohstoffsysteme
- 100 Biobasierte Monomere für die Polymerchemie – Vom Labor in den Pilotmaßstab
- 102 Elektrolytische Erzeugung der Basischemikalie Wasserstoffperoxid
- 104 McCure – Neue Technologie zur effizienten Reparatur und Aushärtung von Beton
- 106 Verbesserte Proteinfraktionierung für die Lebensmittelindustrie
- 108 Kaskadennutzung von Mikroalgenbiomasse

## 110 UMWELT

- 112 ePhos® – Elektrochemische Phosphorrückgewinnung
- 114 Die Ultraeffizienzfabrik – Verlustfrei produzieren in lebenswerter Umgebung
- 116 Morgenstadt – City Lab Tiflis
- 118 Ein Wassertest für jeden Haushalt
- 120 Leitprojekt E<sup>3</sup>-Produktion – Effizient, emissionsarm, ergonomisch

## 122 ENERGIE

- 124 EtaMax – Biogas aus lignosecellulosearmen Abfall- und Algenreststoffen
- 126 Transportkonditionierung von Lignocellulose-Biomasse durch Torrefizierung
- 128 Speicherung regenerativer Energie in chemischen Energieträgern

- 130 Weitere Daten und Fakten
- 132 Informationsservice
- 133 Impressum

---

## LIEBE LESERINNEN UND LESER,

wir blicken auf ein in vielerlei Hinsicht ereignisreiches Jahr 2015 zurück. Ende September gab unser Institutsleiter Prof. Dr. Thomas Hirth seine Entscheidung bekannt, ab 2016 neue Herausforderungen im Präsidium des Karlsruher Instituts für Technologie KIT annehmen zu wollen. Daher blicken Ihnen nun zwei neue, aber – als Abteilungsleiter – vertraute Gesichter an dieser Stelle unseres Jahresberichts entgegen. Seit Anfang 2016 nehmen wir mit Freude und im Sinne einer lückenlosen Kontinuität für die Geschäftsbeziehungen des Instituts unser neues Amt als kommissarische Institutsleiter wahr. In gewohnter Weise möchten wir auf das vergangene Jahr zurückblicken und gleichzeitig den Blick auf die Zukunft des Instituts lenken.

Acht Jahre leitete Professor Hirth das Fraunhofer IGB; Mitarbeiterzahl und Gesamthaushalt des Instituts verdoppelten sich in dieser Zeit. Mit dem forschungspolitisch und strategisch aktuellen Thema Bioökonomie, dessen Ansätze das Institut bereits zuvor in vielen Facetten erforschte, machte Hirth das IGB weithin sichtbar. Der Aufbau dreier Projektgruppen – eine in Sachsen-Anhalt, zwei in Bayern – trug zum Wachstum des Instituts bei. Seit Beginn 2015 sichern sie als dauerhafte Institutsteile die Anbindung an die Grundlagenforschung der jeweils benachbarten Universitäten sowie den Zugang zu entsprechenden Landesförderprogrammen.

Professor Hirth ist es auch zu verdanken, dass dem IGB an dem 2015 gestarteten Fraunhofer-Leitprojekt »Strom als Rohstoff« eine führende Rolle zukommt. Das IGB ist eines von zehn beteiligten Instituten und übernimmt die Koordination eines Teilprojekts. Die damit verbundene Forschung im Bereich der Elektrochemie wird unser Kompetenzportfolio auch über das Projekt hinaus nachhaltig stärken und neue Marktsegmente im Geschäftsfeld Chemie eröffnen. Eine Synergie ergibt sich auch zum »Centrum für Energiespeicherung«, dem Gemeinschaftsprojekt unseres Straubinger Institutsteils BioCat und Fraunhofer UMSICHT Sulzbach-Rosenberg.

Im Bereich Umwelt konnten wir im Herbst 2015 mit der US-amerikanischen Firma OVIVO einen ersten Partner für die Markteinführung unseres ePhos<sup>®</sup>-Verfahrens zum Phosphorrecycling aus Abwasser gewinnen. Aufgrund der Novellierung der Klärschlammverordnung und steigender Preise für Düngemittel ist auch in Deutschland das Interesse an der Phosphorrückgewinnung wieder gewachsen. Dies stimmt uns optimistisch, auch auf dem europäischen Markt Lizenzpartner zu finden.



Mit der Bewilligung einer Attract-Gruppe zum Thema »Organ-on-a-chip« sind wir auf dem Weg zu einer neuen technologischen Basis im Bereich der Gesundheitsforschung. Im März 2016 hat der zuletzt in den USA tätige Physiker Dr. Peter Loskill seine Arbeit am IGB aufgenommen. Seine Gruppe ist in der – jüngst umstrukturierten und umbenannten – Abteilung Zell- und Tissue Engineering angesiedelt. Mit dem neuen von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Graduiertenkolleg »3D Infect« an der Universität Würzburg wird die Infektionsforschung am IGB gestärkt. Unser Würzburger Institutsteil ist mit der Entwicklung dreidimensionaler Infektionsmodelle aus humanen Geweben maßgeblich daran beteiligt. Des Weiteren bereiten wir derzeit zwei Ausgründungen vor, welche auf unseren Forschungsarbeiten der letzten Jahre im Geschäftsfeld Medizin basieren.

Das Berufungsverfahren für die Nachfolge Hirths, als Institutsleiter des Fraunhofer IGB und unseres Partnerinstituts IGVP an der Universität Stuttgart in Personalunion, ist in die Wege geleitet. Die vor uns liegende Zeit ist somit eine Zeit des Übergangs und Wandels. Unserer Verantwortung gegenüber unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, unseren Geschäftspartnern und Zuwendungsgebern sind wir uns dabei bewusst. Wir wollen das IGB daher auf dem eingeschlagenen Weg zu wissenschaftlicher Exzellenz und wirtschaftlichem Erfolg weiterführen. Das vorrangige Ziel ist dabei ein solider Haushalt. Damit dies gelingt, arbeiten wir mit vereinten Kräften daran, unsere strategische Ausrichtung an die aktuellen Erfordernisse des Marktes und im Sinne unserer Kunden anzupassen.

Bei unseren Kunden und Partnern bedanken wir uns für die vertrauensvolle Zusammenarbeit im vergangenen Jahr und freuen uns auf die kommenden Herausforderungen. Wir wünschen Ihnen eine kurzweilige Lektüre und hoffen, dass der vorliegende Jahresbericht Impulse für Ihre Arbeit zu setzen und Sie zu Ideen für eine (weitere) Zusammenarbeit mit dem IGB inspirieren vermag.

Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit und einen regen Austausch mit Ihnen.

Katja Schenke-Layland

Christian Oehr

## FRAUNHOFER IGB IM PROFIL 2015

---



186 Studierende

46 Doktoranden

10 Auszubildende

483

47 % Frauenanteil

2 Preise und Auszeichnungen

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

92 Uni-Mitarbeitende

25 391

Fraunhofer-Mitarbeitende

Nationalitäten

11 BoGy-Schüler

12 Mitarbeiter mit Lehraufträgen

73,4 % Eigenerträge

11,5 Mio € Sachaufwand

14,5 Mio € Personalaufwand

27,8 Mio € Gesamthaushalt

1,8 Mio € Investitionen

3 Institutsteile

2 Fraunhofer-Verbünde

5

Abteilungen

10

21 Kuratoren  
Fraunhofer-Allianzen

# PROFIL

---

## KURZPROFIL

Das Fraunhofer IGB entwickelt und optimiert Verfahren und Produkte für die Geschäftsfelder Medizin, Pharmazie, Chemie, Umwelt und Energie. Neben Forschung und Entwicklung (FuE) bieten wir auch analytische Dienstleistungen an und beraten Sie bei der Einführung neuer Technologien. Zu unseren Kunden zählen industrielle Unternehmen unterschiedlichster Branchen sowie die EU, Bund, Länder und Kommunen.

---

### Anwendungsorientiert und interdisziplinär

---

Unser Ziel ist es, FuE-Ergebnisse aus Natur- und Ingenieurwissenschaften in wirtschaftlich attraktive und gleichzeitig nachhaltige Verfahren und Produkte umzusetzen. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab gehören dabei zu den Stärken des Instituts.

Der Erfolg neuer Verfahren und Produkte erfordert mehr denn je das interdisziplinäre Zusammenspiel von Naturwissenschaften und Verfahrenstechnik. Wissenschaftler und Techniker aus Chemie, Physik, Biologie und den Ingenieurwissenschaften arbeiten am Fraunhofer IGB in Stuttgart sowie den Institutsteilen in Leuna, Straubing und Würzburg und unserem Partnerinstitut IGVP an der Universität Stuttgart erfolgreich zusammen. Diese konstruktive Zusammenarbeit der verschiedenen Disziplinen eröffnet in Bereichen wie Medizintechnik, Nanotechnologie, industrieller Biotechnologie oder Umwelttechnologie neue Ansätze und innovative Lösungen.

---

### Kernkompetenzen

---

#### Abteilungen, Standort Stuttgart

- Grenzflächentechnologie und Materialwissenschaft
- Molekulare Biotechnologie
- Physikalische Prozesstechnik
- Umweltbiotechnologie und Bioverfahrenstechnik
- Zell- und Tissue Engineering

#### Institutsteile

- Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP, Institutsteil Leuna
- Bio-, Elektro- und Chemokatalyse BioCat, Institutsteil Straubing
- Translationszentrum »Regenerative Therapien für Krebs- und Muskuloskelettale Erkrankungen«, Institutsteil Würzburg

---

### Leitbild: Mission und Vision

---

»Am Fraunhofer IGB forschen wir nach den Grundsätzen guter wissenschaftlicher Praxis auf der Basis unserer Kompetenzen und Leitsätze anwendungsorientiert in den Bereichen Medizin, Pharmazie, Chemie, Umwelt und Energie und tragen mit unseren Innovationen zur nachhaltigen Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft bei.«

**GEMEINSAM IMMER BESSER.**

---

# KURATORIUM DES FRAUNHOFER IGB

Die Kuratorien der Fraunhofer-Institute stehen dem Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft und der Institutsleitung beratend zur Seite. Ihnen gehören Personen der Wissenschaft, der Wirtschaft und der öffentlichen Hand an.

---

## Mitglieder

---

### Dr. Susanne Arbogast

Roche Diagnostics GmbH

### Dr. Gerd Eßwein

Freudenberg New Technologies SE & Co. KG

### MinR Dr. Hans-Jürgen Froese

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

### Prof. Dr. Matthias Frosch

Medizinische Fakultät, Universität Würzburg

### MinDirig Dipl.-Ing. Peter Fuhrmann

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

### Dr.-Ing. Bernd Krause

Gambro Dialysatoren GmbH

### Dr. Henk van Liempt (bis August 2015)

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

### Dr. Caroline Liepert

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg

### Dr. Christian Naydowski

VOITH Paper Holding GmbH & Co. KG

### Prof. Dr. Klaus Pfizenmaier

Institut für Zellbiologie und Immunologie, Universität Stuttgart

### Prof. Dr. Dr. h. c. Ralf Riedel

Fachgebiet »Disperse Feststoffe«, TU Darmstadt

### Prof. Dr. techn. Günter Scheffknecht

Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik, Universität Stuttgart

### Dipl.-Ing. Otmar Schön

HYDAC Technology GmbH

### MinDirig Dr. Jörg Wagner

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

### MinR Dr. Joachim Wekerle

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg

### Dr. Günter Wich

Wacker Chemie AG

### Prof. Dr. Karl-Heinz Wiesmüller

EMC microcollections GmbH

### Dr. Wieland Wolf

ProBioGen AG

### Dr. Markus Wolperdinger

(Vorsitzender)

Linde Engineering Dresden GmbH

---

## Ständige Gäste

---

### Prof. Dr. Herwig Brunner

(Ehemaliger Institutsleiter)

### Prof. Dr. Dieter Jahn

(Vorsitzender des Kuratoriums 1999 bis 2013)



## ANGEBOT UND INFRASTRUKTUR

Die Forschung und Entwicklung (FuE) am Fraunhofer IGB reicht von den naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen bis hin zu Entwicklungen im Labor-, Technikums- und Pilotmaßstab. Beratung, Patentrecherchen und Machbarkeitsstudien zählen ebenso zu unserem Angebot wie Analyse- und Prüfleistungen oder der Bau und Testbetrieb von Pilotanlagen. Führungskräfte bilden wir in unseren Seminaren und Workshops weiter, Schüler und Studenten führen wir in die faszinierende Welt der Forschung ein.

### Infrastruktur, Labor- und Geräteausstattung

Das Fraunhofer IGB verfügt über moderne Labors (bis Biologische Sicherheitsstufe 2) mit einer hervorragenden Ausstattung. Ein neues Technikum wird im Sommer 2016 in Betrieb genommen. Unser zentrales Chemikalien- und Schadstofflager wird vom gesamten Stuttgarter Fraunhofer-Institutszentrum genutzt.

### Qualitätssysteme

Am Fraunhofer IGB stellen etablierte, standardisierte Abläufe und Prozesse sicher, dass die Qualität unserer Dienstleistungen und Produkte den jeweiligen Anforderungen entspricht. So sorgt ein Qualitätsmanagementsystem dafür, dass unsere Prüfungen nach der Norm DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert wurden. Ein Qualitätssicherungssystem gewährleistet, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Richtlinien der Guten Herstellungspraxis (GMP) und der Guten Laborpraxis (GLP) erfüllt sind.

### Akkreditierter Prüfbereich

Die Akkreditierung ausgewählter Prüflabore und Prüfverfahren in unserer Analytik garantiert, dass auch eigene, am Fraunhofer IGB entwickelte Methoden (Hausverfahren) im erforderlichen Umfang validiert werden und die Qualität unserer Prüfungen auch dann gewährleistet ist, wenn keine genormten Methoden zur Verfügung stehen.

Folgende Prüfarten/Prüfverfahren sind nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert:

- Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)
- Ionenchromatographie (IC)
- Gaschromatographie (GC, GC/MS)
- Atomemissionsspektrometrie (ICP-AES)
- Elektronenspektroskopie zur chemischen Analyse (ESCA/XPS)
- In-vitro-Prüfung der Zytotoxizität von Medizinprodukten
- In-vitro-Prüfung der Phototoxizität von Lösungen und Substanzen

### Akkreditierte Prüfung der Biokompatibilität und Phototoxizität

Die Prüfung der Zytotoxizität von Medizinprodukten führen wir nach DIN ISO 10993-5 unter Verwendung einer humanen Zelllinie durch. Im Jahr 2014 wurde zudem die Prüfung der Phototoxizität in den akkreditierten Prüfbereich aufgenommen. Mit unserem Hausverfahren können wir Lösungen und Substanzen hinsichtlich ihres phototoxischen Potenzials untersuchen. Die Testmethode ist an die OECD-Richtlinie 432 und das INVITTOX-Protokoll Nr. 121 angelehnt. Die Untersuchung der potenziell photoaktiven Substanzen erfolgt an unserem dreidimensionalen Hautmodell.



### **Gute Laborpraxis – GLP-Prüfeinrichtung**

In unserer GLP-Prüfeinrichtung nach Prüfkategorie 9 (»Zellbasierte Testsysteme zur Bestimmung biologischer Parameter«) untersuchen wir unterschiedliche biologische Parameter von Proben bzw. Substanzen nach der Guten Laborpraxis mithilfe zellbasierter Testsysteme. Beispiele sind Bioaktivitäts-, Zytotoxizitäts- und Immunogenitätsprüfungen, das Screening von TLR-Agonisten/Antagonisten oder die Testung auf antimikrobielle Eigenschaften von Substanzen oder Oberflächen sowie der Nachweis pyrogener und mikrobieller Rückstände.

### **GMP-Einheit zur Herstellung klinischer Prüfware**

Um Medizinprodukte herstellen oder Zell- und Tissue-Engineering-Produkte als Gewebeersatz in die Klinik überführen zu können, entwickeln wir entsprechende Prozesse nach Richtlinien der Guten Herstellungspraxis (Good Manufacturing Practice, GMP) in unserer 215 m<sup>2</sup> umfassenden GMP-Einheit am Standort Stuttgart – auch im Auftrag industrieller Partner. Herstellungserlaubnisse für Kollagen, Knorpel, Haut, Gefäße und adulte Stammzellen wurden bereits erteilt.

---

### **Spezielle Dienstleistungen**

---

#### **Physikalisch-chemische Analytik**

Qualitätskontrolle, Lebensmittelanalytik, Spuren-, Rückstands- und Umweltanalytik, Wasseranalytik

#### **Hochauflösende 400-MHz-NMR-Analytik**

Molekülstrukturaufklärung, Reaktionsverfolgung, Entwicklung neuer experimenteller NMR-Analytik-Methoden, Tieftemperaturanalytik

#### **Oberflächen- und Partikelanalytik**

Charakterisierung chemischer, physikalischer und morphologischer Eigenschaften von Materialoberflächen, dünnen Schichten, Pulvern und Partikeln

### **Mikrobiologische Bewertung**

Prüfung der antimikrobiellen Wirkung von Oberflächen einschließlich photokatalytischer Eigenschaften

### **Biochemische und molekularbiologische Analytik**

Microarrays für die Diagnostik, Proteinexpressionsprofile, Proteinanalytik u. a. mit MALDI-TOF/TOF-Massenspektrometrie (auch quantitativ)

### **Next-Generation-Sequenzierung**

De-novo-Genom-/Transkriptomsequenzierung, Meta-Genom- und Meta-Transkriptomanalysen, Mikrobiomuntersuchungen, Next-Generation-Diagnostik (Infektionen, COPD etc.)

### **Zellbiologische Analytik**

Zellcharakterisierung, Einzelzell-Entnahme/Mikrodissektion, durchflusszytometrische Analysen, Qualitäts- und Sterilitätskontrolle von Tissue-Engineering-Produkten

### **Zell-Material-Wechselwirkungen**

Untersuchung der Zytotoxizität/Biokompatibilität von Medizinprodukten, Beurteilung der Phototoxizität von Substanzen und Lösungen, Bewertung und Prüfung von Chemikalien (REACH) und Nanomaterialien

---

**Weitere Informationen zu  
unserem Analytik-Leistungsangebot  
finden Sie unter:**

[www.igb.fraunhofer.de/analytik](http://www.igb.fraunhofer.de/analytik)

---



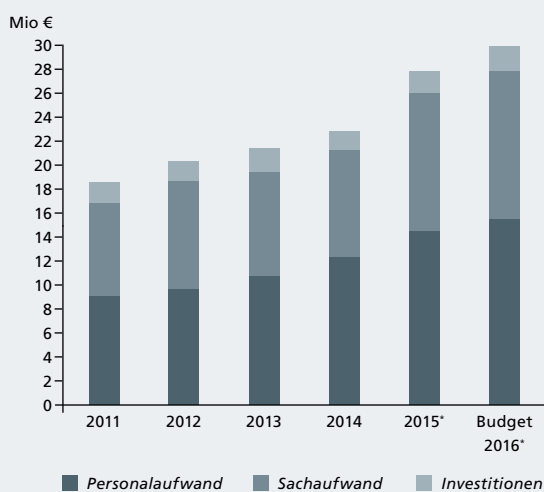
## DAS INSTITUT IN ZAHLEN

### Haushalt

Der Gesamthaushalt umfasste im Berichtsjahr ein Volumen von 27,8 Mio €. Auf den Betriebshaushalt entfielen 26,0 Mio €, davon 14,5 Mio € auf den Personalaufwand und 11,5 Mio € auf den Sachaufwand. Investitionen wurden in Höhe von 1,8 Mio € getätigt.

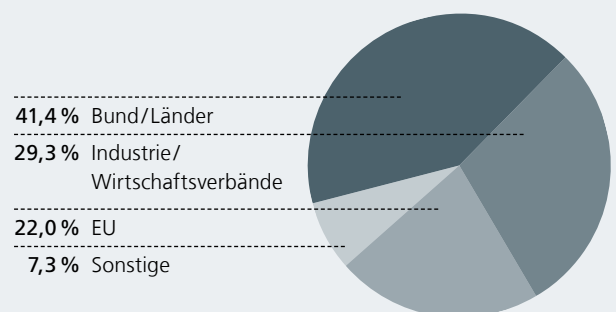
73,4 Prozent des Betriebshaushaltes waren eigene Erträge. 29,3 Prozent der Eigenenerträge stammen aus Projekten, die unmittelbar für industrielle Auftraggeber abgewickelt wurden.

#### Entwicklung des Gesamthaushalts



\* inkl. CBP (nach Abschluss der Anschubfinanzierungsphase)

#### Herkunft der eigenen Erträge 2015



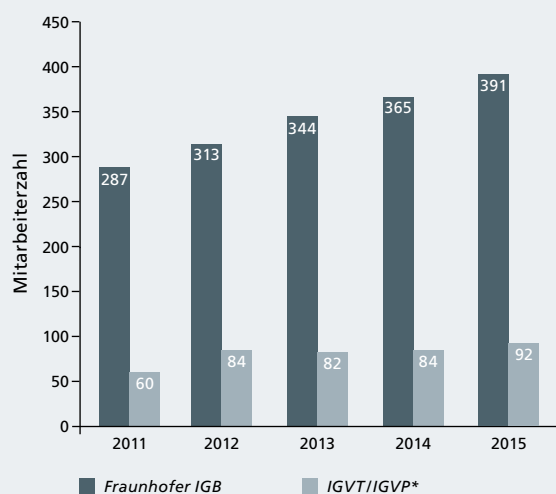
## Personal

Am 31. Dezember 2015 waren am Fraunhofer IGB in Stuttgart und seinen Institutsteilen in Straubing, Würzburg und Leuna 391 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig, davon über 90 Prozent im wissenschaftlichen und technischen Bereich. Der Frauenanteil betrug 50 Prozent.

92 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Doktorandinnen und Doktoranden, zudem technisches Personal und studentische Hilfskräfte, zählte das Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP der Universität Stuttgart zum 31. Dezember 2015. Der Frauenanteil am IGVP betrug 33 Prozent.

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IGB, seiner Institutsteile und des IGVP arbeiten eng vernetzt. Bemerkenswert ist auch die kulturelle Vielfalt der Einrichtung: 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kommen aus 25 verschiedenen Ländern außerhalb Deutschlands.

Entwicklung der Mitarbeiterzahlen



\* Das IGVP entstand 2012/2013 mit Integration des Instituts für Plasmaforschung (IPF) in das Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik IGVT. Die Mitarbeiterzahlen 2011 beziehen sich nur auf das IGVT.

Mitarbeiterzahl zum 31.12.2015	Fraunhofer IGB	IGVP
Wissenschaftlerinnen/Wissenschaftler	98	18
Technisches Personal	99	12
Doktorandinnen/Doktoranden	–	33
Verwaltung/Sekretariate	36	4
Auszubildende	10	4
Stipendiaten	5	10
Studierende mit Abschlussarbeiten (Master, Bachelor), Praktikanten	27	(30)*
Studentische/wissenschaftliche Hilfskräfte	116	13
	<b>391</b>	<b>92</b>

\* Studierende mit Abschlussarbeiten am IGVP wurden nicht als Mitarbeitende gezählt.

# ORGANIGRAMM

## Institutsleitung (kommissarisch, geschäftsführend)



Prof. Dr. Katja Schenke-Layland  
Telefon +49 711 970-4082  
katja.schenke-layland@  
igb.fraunhofer.de

## Institutsleitung (kommissarisch)



Dr. Christian Oehr  
Telefon +49 711 970-4137  
christian.oehr@igb.fraunhofer.de

## Stellvertretende Institutsleitung



apl. Prof. Dr. Steffen Rupp  
Telefon +49 711 970-4045  
steffen.rupp@igb.fraunhofer.de

## Assistenz der Institutsleitung



Christine Demmler  
Telefon +49 711 970-4401  
christine.demmler@igb.fraunhofer.de

## Assistenz der Institutsleitung



Brigitte Haag  
Telefon +49 711 970-4402  
brigitte.haag@igb.fraunhofer.de

## GRENZFLÄCHENTECHNOLOGIE UND MATERIALWISSENSCHAFT



Dr. Christian Oehr  
Telefon +49 711 970-4137  
christian.oehr@igb.fraunhofer.de



Dr. Achim Weber  
Telefon +49 711 970-4022  
achim.weber@igb.fraunhofer.de

- Anorganische Grenzflächen und Membranen
- Partikuläre Systeme und Formulierungen
- Plasmatechnik und dünne Schichten
- Polymere Grenzflächen, Biomaterialien und Biopolymere

## MOLEKULARE BIOTECHNOLOGIE



apl. Prof. Dr. Steffen Rupp  
Telefon +49 711 970-4045  
steffen.rupp@igb.fraunhofer.de



Dr. Kai Sohn  
Telefon +49 711 970-4055  
kai.sohn@igb.fraunhofer.de



Dr. Anke Burger-Kentischer  
Telefon +49 711 970-4023  
anke.burger-kentischer@  
igb.fraunhofer.de

- Infektionsbiologie und Arraytechnologie
- Functional Genomics
- Molekulare Zelltechnologie
- Enzym-, Stamm- und Prozessentwicklung für die Biotechnologie
- Analytik

## PHYSIKALISCHE PROZESSTECHNIK



Dipl.-Ing. Siegfried Egner  
Telefon +49 711 970-3643  
siegfried.egner@igb.fraunhofer.de



Dr. Thomas Scherer  
Telefon +49 711 970-4091  
thomas.scherer@igb.fraunhofer.de



Dr. Ana Lucía Vásquez-Caicedo  
Telefon +49 711 970-3669  
analucia.vasquez@igb.fraunhofer.de

- Wärme- und Sorptionssysteme
- Physikalisch-chemische Wassertechnologien
- Nährstoffmanagement
- Aseptische Technologien
- Prototypenentwicklung



---

**Verwaltungsleitung  
Controlling und Finanzen**



Dipl.-Kfm. Michael Bangert  
Telefon +49 711 970-4019  
michael.bangert@igb.fraunhofer.de

**Forschungsplanung und  
strategische Geschäftsfeldentwicklung**



Dipl.-Kffr. Jenny Bräutigam  
Telefon +49 711 970-4070  
jenny.braeutigam@igb.fraunhofer.de

**Forschungsplanung und  
strategische Geschäftsfeldentwicklung**



Dr. Uwe Vohrer  
Telefon +49 711 970-4134  
uwe.vohrer@igb.fraunhofer.de

**Verwaltungsleitung  
Personal und Organisation**



Katja Rösslein M. A.  
Telefon +49 711 970-4009  
katja.roesslein@igb.fraunhofer.de

**Forschungsplanung und  
strategische Geschäftsfeldentwicklung**



Dipl.-Agr.-Biol. Sabine Krieg MBA  
Telefon +49 711 970-4003  
sabine.krieg@igb.fraunhofer.de

**Presse und Öffentlichkeitsarbeit**



Dr. Claudia Vorbeck  
Telefon +49 711 970-4031  
claudia.vorbeck@igb.fraunhofer.de

---

**UMWELTBIOTECHNOLOGIE  
UND BIOVERFAHRENSTECHNIK**



Dr.-Ing. Ursula Schließmann  
Telefon +49 711 970-4222  
ursula.schliessmann@  
igb.fraunhofer.de



Prof. Dr. Dieter Bryniok  
Telefon +49 711 970-4211  
dieter.bryniok@igb.fraunhofer.de



Dr. Iris Trick  
Telefon +49 711 970-4217  
iris.trick@igb.fraunhofer.de

- Algentechnik
- Bioprozesstechnik
- Bioenergie
- Integriertes Wassermanagement

---

**ZELL- UND  
TISSUE ENGINEERING**



Prof. Dr. Petra Kluger  
Telefon +49 711 970-4072  
petra.kluger@igb.fraunhofer.de



Prof. Dr. Katja Schenke-Layland  
Telefon +49 711 970-4082  
katja.schenke-layland@  
igb.fraunhofer.de



Dr. Svenja Hinderer  
Telefon +49 711 970-4196  
svenja.hinderer@igb.fraunhofer.de

- Testsysteme und Implantate
- Kardiovaskuläre Systeme, Biomaterialien und Bioimaging
- Attract-Gruppe »Organ-on-a-chip«

---

**INSTITUTSTEILE**

**Fraunhofer CBP, Leuna**



Dipl.-Chem. (FH) Gerd Unkelbach  
Telefon +49 3461 43-9101  
gerd.unkelbach@cbp.fraunhofer.de

---

**BioCat, Straubing**



Prof. Dr. Volker Sieber  
Telefon +49 9421 187-300  
volker.sieber@igb.fraunhofer.de

---

**Translationszentrum Regenerative Therapien,  
Würzburg**



Prof. Dr. Heike Walles  
Telefon +49 931 31-88828  
heike.walles@igb.fraunhofer.de

## FRAUNHOFER IGB IN NETZWERKEN

Das Fraunhofer IGB ist aktives Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Forschungsnetzwerken. Kooperationen mit verschiedenen Universitätsinstituten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anderen Fraunhofer-Instituten ergänzen die eigenen Kompetenzen und ermöglichen es uns, Synergien im Sinne unserer industriellen Kunden zu nutzen. Ebenso sind wir aktiv daran beteiligt, strategische, wirtschaftliche und nachhaltige Positionen im forschungspolitischen Umfeld voranzutreiben.

### Vernetzung mit Universitäten

Die Erforschung der Grundlagen ermöglicht die Anwendungen von morgen. Daher halten wir am Institut die Kontakte zu den benachbarten Universitäten so eng wie möglich; über wissenschaftliche Kooperationen ebenso wie über eine Universitätsprofessur oder Lehrbefugnis unserer Mitarbeiter. Durch die Einbindung unserer Institutsteile in Straubing, Würzburg und Leuna konnten wir unser wissenschaftliches Netzwerk auch auf Standorte außerhalb Stuttgarts ausdehnen. Das Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP an der Universität Stuttgart (siehe S. 54) ist dem Fraunhofer IGB besonders eng verbunden.

- **Priv.-Doz. Dr. Susanne Bailer**  
Lehrbefugnis in der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik, Universität Stuttgart
- **Dr. Kirsten Borchers**  
Lehrauftrag in der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik, Universität Stuttgart
- **Prof. Dr. Dieter Bryniok**  
Professur für Umweltbiotechnologie, Hochschule Hamm-Lippstadt
- **Prof. Dr. Thomas Hirth**  
Professur, Lehrstuhl und Institutsleiter am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP, Universität Stuttgart (bis Dezember 2015)
- **Prof. Dr. Petra Kluger**  
Professur für Tissue Engineering an der Hochschule Reutlingen, Fakultät Angewandte Chemie
- **Dr. Christian Oehr**  
Lehrauftrag der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik, Universität Stuttgart
- **apl. Prof. Dr. Steffen Rupp**  
Außerplanmäßige Professur und Lehrbefugnis in der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik, Universität Stuttgart
- **Prof. Dr. Katja Schenke-Layland**  
Professorin für Biomaterialien in der Kardiovaskulären Regenerativen Medizin, Department für Frauengesundheit, Forschungsinstitut für Frauengesundheit, Eberhard Karls Universität Tübingen;  
Adjunct Associate Professor an der Medizinischen Fakultät, Abteilung Kardiologie, University of California Los Angeles (UCLA), Los Angeles, Kalifornien, USA
- **Dr.-Ing. Ursula Schließmann**  
Lehrtätigkeit in der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik, Universität Stuttgart



■ **Prof. Dr. Volker Sieber**

Professur und Lehrstuhl für Chemie Biogener Rohstoffe, Technische Universität München

■ **apl. Prof. Dr. Günter Tovar**

Außerplanmäßige Professur und Lehrbefugnis in der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik und in der Fakultät Chemie, Universität Stuttgart;  
Kommissarischer Institutsleiter des Instituts für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP, Universität Stuttgart (seit Januar 2016)

■ **Prof. Dr. Heike Walles**

Professur und Lehrstuhl für Tissue Engineering und Regenerative Medizin, Universität Würzburg

das einen regelmäßigen Austausch zu konkreten Fragestellungen bei Kooperationen mit internationalen Partnern bietet. Auf der Basis von Best-Practice-Beispielen können Kooperationsprojekte effizienter angebahnt und verfolgt werden. Das Netzwerk steht im engen Austausch mit dem Bereich International Business Development der Fraunhofer-Gesellschaft. Beim Netzwerktreffen 2015 am Fraunhofer ILT in Aachen fanden daher wieder gemeinsame Gespräche mit Kollegen aus dem International Business Development sowie erstmals auch aus dem Corporate Business Development statt. Highlight war ein Impulsvortrag der European Association of Research and Technology Organisations EARTO.

---

**Fraunhofer-Netzwerk Nachhaltigkeit**

Nachhaltige Entwicklung ist das vermutlich bedeutendste politische Leitziel unserer Zeit. Was Nachhaltigkeit für die Fraunhofer-Gesellschaft bedeutet, hat das Netzwerk Nachhaltigkeit mit über 20 teilnehmenden Instituten frühzeitig erarbeitet. Das Fraunhofer IGB war an diesem Prozess maßgeblich beteiligt; Sprecher des Netzwerks war Professor Thomas Hirth. Aufgrund ihrer Vorreiterrolle in der deutschen Forschungslandschaft koordiniert Fraunhofer zudem die Entwicklung eines Nachhaltigkeitsmanagement-Leitfadens. Mehr über diese aktuellen Entwicklungen lesen Sie im Kapitel Highlights auf den Seiten 34/35.

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

---

**Fraunhofer-Netzwerk International Business Development (IBD)**

Internationale Kooperationen und gemeinsame Entwicklungen mit weltweit agierenden Partnern sind für Fraunhofer von wachsender strategischer Bedeutung. Das Fraunhofer IGB engagiert sich im Hinblick auf seine Internationalisierungsstrategie aktiv im Netzwerk International Business Development,

---

**Fraunhofer-EU-Netzwerk**

Das EU-Netzwerk bietet allen Fraunhofer-Mitarbeitenden eine Plattform für den Informations- und Erfahrungsaustausch zu strategischen Aspekten und zur effektiven Handhabung von Antrags- und Angebotsverfahren sowie der Umsetzung EU-finanzierter Projekte.

---

**EU-Arbeitskreis der wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg**

Das Fraunhofer IGB ist Mitglied im EU-Arbeitskreis der wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg und engagiert sich damit auf regionaler Ebene für die gemeinsame Gestaltung adäquater EU-Förderung außeruniversitärer Forschungseinrichtungen.

## FRAUNHOFER CBP IN NETZWERKEN

### Spitzencluster BioEconomy

Der Spitzencluster BioEconomy verbindet die für die Bio-ökonomie relevanten Forschungs- und Industriebereiche in Mitteldeutschland. Ziel des Clusters ist die nachhaltige Wertschöpfung aus Non-Food-Biomasse wie Holz zur Herstellung von Werkstoffen, Chemieprodukten und Energie. Bei der Skalierung und industriellen Umsetzung der entwickelten Produktionsverfahren übernimmt das Fraunhofer CBP eine zentrale Rolle.

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

### Wissenschaftscampus Pflanzenbasierte Bioökonomie Halle (WCH)

Der Wissenschaftscampus Halle verfolgt den systematischen und nachhaltigen Aufbau eines disziplinübergreifenden Zentrums für pflanzenbasierte Bioökonomie. Damit liefert der WCH wichtige Grundlagen für zukünftige Anwendungen, wie sie im regional benachbarten Spitzencluster BioEconomy wirtschaftlich umgesetzt werden sowie interdisziplinär geschulte Fachkräfte für die Wirtschaft. Das Fraunhofer CBP ist assoziiertes Mitglied des WCH.

[www.sciencecampus-halle.de](http://www.sciencecampus-halle.de)

### Kompetenzzentrum für Holzverbundwerkstoffe und Holzchemie (Wood k plus)

Das Kompetenzzentrum Wood k plus gehört zu den führenden Forschungseinrichtungen auf den Gebieten der Holzverbundwerkstoffe und der Holzchemie. Das Fraunhofer CBP ist

Partner im COMET-Programm (Competence Center of Excellent Technologies) und bringt dort seine Kompetenzen in den Bereichen Lignocellulose-Fraktionierung sowie Entwicklung biotechnologischer und chemischer Prozesse ein.

[www.wood-kplus.at](http://www.wood-kplus.at)

### Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany (HYPOS)

HYPOS verfolgt das Ziel, überschüssigen erneuerbaren Strom in den speicherfähigen chemischen Energieträger Wasserstoff umzuwandeln und durch eine intelligente Verknüpfung der Wasserstoffherzeugung mit der Infrastruktur von Gaspipelines und Gasspeichern in das Energiesystem zu integrieren. Über den »grünen« Wasserstoff werden das Chemiestoffstromnetz, das Erdgasnetz und die elektrischen Netze in Ostdeutschland modellhaft verbunden. Innerhalb von HYPOS agiert das Fraunhofer CBP als Forschungspartner hauptsächlich für die Nutzung des »grünen« Wasserstoffs.

[www.hypos-eastgermany.de](http://www.hypos-eastgermany.de)

### ZIM-Kooperationsnetzwerk Bioraffinerien (BioRaf)

Im Kooperationsnetzwerk BioRaf werden Konzepte und Geschäftsfelder für Bioraffinerien sowie innovative Produkte und Verfahren speziell für kleinere und mittlere Unternehmen erarbeitet. Außerdem sollen Synergieeffekte herausgestellt werden, um alle Potenziale im Bereich Bioraffinerie zu erschließen. Das Fraunhofer CBP ist assoziiertes Mitglied des BioRaf-Netzwerkes.

[www.bioraf-netzwerk.de](http://www.bioraf-netzwerk.de)

---

# FRAUNHOFER-VERBÜNDE UND -ALLIANZEN

Fachlich verwandte Fraunhofer-Institute organisieren sich in Verbänden, treten gemeinsam am FuE-Markt auf und wirken in der Fraunhofer-Unternehmenspolitik mit. Institute bzw. Abteilungen mit einander ergänzenden Kompetenzen kooperieren in Fraunhofer-Allianzen, um ein Geschäftsfeld gemeinsam zu bearbeiten und Lösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu vermarkten. Das Fraunhofer IGB, dem Fraunhofer-Verbund Life Sciences zugeordnet und aufgrund seiner materialwissenschaftlichen Ausrichtung zusätzlich Gast im Verbund MATERIALS, ist über die Allianzen bestens in der Fraunhofer-Gesellschaft vernetzt.

---

## Fraunhofer-Verbünde

---

Fraunhofer-Verbund Life Sciences  
[www.lifesciences.fraunhofer.de](http://www.lifesciences.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe und Bauteile –  
MATERIALS (Gast)  
[www.vwb.fraunhofer.de](http://www.vwb.fraunhofer.de)

---

## Fraunhofer-Allianzen

---

Fraunhofer-Allianz Bau  
[www.bau.fraunhofer.de](http://www.bau.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Big Data  
[www.bigdata.fraunhofer.de](http://www.bigdata.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Energie  
[www.energie.fraunhofer.de](http://www.energie.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Food Chain Management  
[www.fcm.fraunhofer.de](http://www.fcm.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung  
[www.generativ.fraunhofer.de](http://www.generativ.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie  
[www.nano.fraunhofer.de](http://www.nano.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Photokatalyse  
[www.photokatalyse.fraunhofer.de](http://www.photokatalyse.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen POLO®  
[www.polo.fraunhofer.de](http://www.polo.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik  
[www.allianz-reinigungstechnik.de](http://www.allianz-reinigungstechnik.de)

Fraunhofer-Allianz SysWasser  
[www.syswasser.de](http://www.syswasser.de)

Darüber hinaus forschen Fraunhofer-Institute innerhalb von Fraunhofer-Forschungsprogrammen zusammen. Das IGB ist an den aktuellen Leitprojekten »Theranostische Implantate«, »Seltene Erden«, »E<sup>3</sup>-Produktion« und »Strom als Rohstoff« beteiligt.

---

**Weitere Informationen zu  
Verbänden und Allianzen  
mit dem IGB finden Sie unter:**  
[www.igb.fraunhofer.de/netzwerk](http://www.igb.fraunhofer.de/netzwerk)

---



# HIGHLIGHTS 2015

## FORSCHUNG – KOOPERATIONEN UND PROJEKTE

---

### Erweiterter WasserCheck

1

Schon seit zehn Jahren analysiert das Fraunhofer IGB in einer deutschlandweiten Studie mit der österreichischen Firma AQA Wasserproben privater Haushalte. Beim chemisch-physikalischen WasserCheck werden die Proben mit modernsten Methoden auf 24 relevante Parameter, beispielsweise auf Metalle, Spurenelemente und Salze, analysiert. Im vergangenen Jahr beschlossen AQA und das Fraunhofer IGB, den WasserCheck um bakteriologische Tests zu erweitern. Damit können Verbraucher zukünftig ihr Trinkwasser auch auf Bakterien wie *Escherichia coli*, Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa* untersuchen lassen. Lesen Sie hierzu auch den Bericht auf Seite 118.

---

### Neues Fraunhofer-Leitprojekt »Strom als Rohstoff«

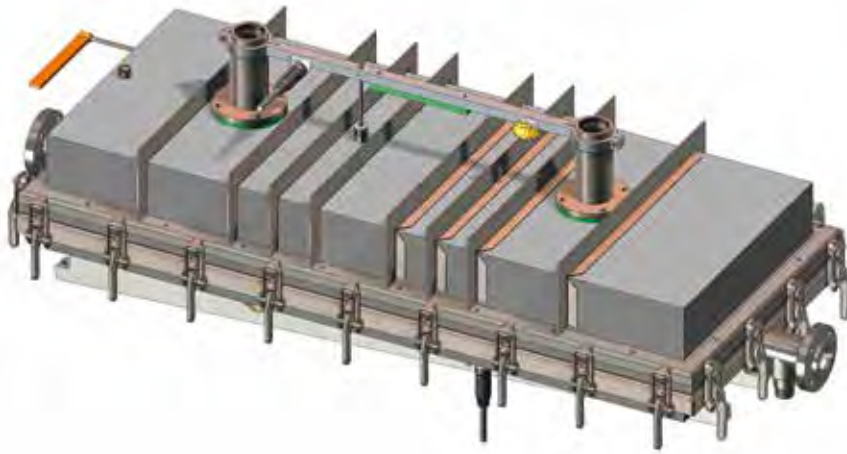
Mit der Energiewende und dem Ausbau der regenerativen dezentralen Stromerzeugung steht zukünftig – witterungsabhängig – kostengünstiger durch Windkraft und Solaranlagen gewandelter Strom zur Verfügung. Wird dieser fluktuierend anfallende Überschussstrom flexibel für elektrochemische Reaktionen genutzt und gleichzeitig CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle verwendet, können Basischemikalien, für die bislang meist Erdöl verbraucht wurde, nachhaltig hergestellt werden. Hier setzt das Fraunhofer-Leitprojekt »Strom als Rohstoff« an, das Ende Oktober 2015 startete. Innerhalb des Leitprojekts koordiniert das Fraunhofer IGB die Entwicklung eines neuen einstufigen Verfahrens, mit dem Ethen elektrochemisch in nur einem Verfahrensschritt aus CO<sub>2</sub> und Wasser hergestellt werden soll. Weitere Informationen finden Sie im Bericht auf Seite 98.

---

### ePhos® – erste Lizenzvereinbarung in den USA

Das am Fraunhofer IGB entwickelte und patentierte Verfahren zur elektrochemischen Phosphatfällung aus Abwasser ePhos® wurde 2015 erfolgreich am Markt eingeführt. Mit der US-amerikanischen Firma OVIVO, einem etablierten Anbieter für Ausrüstungen und Systeme der Wasserwirtschaft, haben wir einen Lizenznehmer für den Markt in den USA, Kanada und Mexiko gewinnen können.

Beim ePhos®-Verfahren werden Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) und Phosphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) im Abwasser rein elektrochemisch mit einer Magnesium-Opferelektrode als Struvit ausgefällt. Durch Änderungen der Betriebsbedingungen oder der Auflagen für die Betreiber von Kläranlagen, beispielsweise aufgrund reduzierter Ablaufgrenzwerte für Phosphor, ist der Bedarf an Technologien zur Phosphorelimination bzw. zur -rückgewinnung aus kommunalem Abwasser gewachsen. Mit dem ePhos®-Verfahren werden Ammonium und Phosphat als hochwertiger Dünger zurückgewonnen.



1

### Vom Nachweis der Machbarkeit zum marktgerechten Produkt

Nach dem Nachweis der Machbarkeit und der Entwicklung eines geeigneten Reaktorkonzepts war für eine erfolgreiche Markteinführung des ePhos®-Verfahrens auch die ausreichende Verfügbarkeit von Magnesium sicherzustellen, das in Form von Opferelektroden bei der elektrochemischen Struvitbildung verbraucht wird. Die Versorgung mit Magnesium-Gussbarren konnten wir zusammen mit dem weltgrößten Lieferanten für Roh-Magnesium technisch und organisatorisch klären. Aufgrund der Quaderform der Magnesium-Barren wurde das entwickelte Reaktorkonzept von einer ursprünglich tubularen auf eine kubische Geometrie umgestellt. Hilfreich für die Entwicklung waren zudem zahlreiche Informationen und Anforderungen, die wir in Gesprächen mit potenziellen Kunden erhoben haben. Vor allem flossen wichtige Erkenntnisse ein, die in einer ersten Pilotphase auf einer Kläranlage mit biologischer Phosphorelimination in Norddeutschland gewonnen werden konnten (siehe Seite 112).

Auf der Water Environment Federation's Annual Technical Exhibition and Conference WEFTEC im Oktober 2015 in Chicago haben wir das Verfahren zusammen mit unserem Lizenznehmer an dessen Messestand vorgestellt. Hierbei konnten wir abermals wichtige Anregungen und Wünsche interessierter Kunden, z. B. bezüglich der Automatisierung, aufnehmen und in der Entwicklungsarbeit berücksichtigen. Die Firma OVIVO wird die Anlagentechnik in Nordamerika nach unseren Spezi-

fikationen bauen und verkaufen, während das Fraunhofer IGB die Technologie weiterentwickelt und dem Unternehmen und dessen Kunden für die spezifische Beratung bei der Anwendung zur Verfügung steht.

Das mit ePhos® gewonnene Struvit ist frei von Biomasse und kann direkt als hochwertiger landwirtschaftlicher Dünger eingesetzt werden. Überraschend war die Erfahrung am Messestand in Chicago, dass viele der US-amerikanischen Kläranlagenbetreiber, die eine ePhos®-Anlage einsetzen wollen, das Struvit selbst lokal vermarkten möchten, anstatt es einem externen Abnehmer zur Vermarktung zu übergeben.

Die Motivation zur Investition in die neue Technologie zur Phosphorrückgewinnung ergibt sich in den USA aus den neuen, extrem niedrigen Ablaufgrenzwerten für Phosphor. Dazu sind in den USA Bio-P-Anlagen mit anaerober Schlammfäulung zunehmend populär, bei denen aber die Spontanausfällung von Struvit ein betriebliches Problem mit erheblichen Kosten darstellt. Auch in Deutschland ist, resultierend aus der Novellierung der Klärschlammverordnung und stetig steigenden Preisen für Düngemittel, das aktuelle Interesse gewachsen. Daher werden wir die Gespräche mit industriellen Partnern für Deutschland und Europa wieder intensivieren, um anlässlich der kommenden Leitmesse IFAT im Mai 2016 auch in Europa mit der Markteinführung beginnen zu können.



---

### **DFG-Graduiertenkolleg zur Infektionsforschung in Würzburg**

---

Die molekularen Mechanismen, wie mikrobielle Erreger in den Menschen eindringen, sich verbreiten oder dem Angriff des Immunsystems entgehen, sind vielfach noch ungeklärt. Die Untersuchung solcher Fragestellungen ist Ziel des im November 2015 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) bewilligten Graduiertenkollegs »3D Infect – 3D Tissue Models for Studying Microbial Infections by Human Pathogens« an der Universität Würzburg. Gemeinsam mit dem Würzburger Institutsteil des Fraunhofer IGB sollen hierzu aus menschlichen Zellen hergestellte dreidimensionale Gewebemodelle optimiert werden, um die Infektionsmechanismen realitätsnah zu studieren. Klassische Eintrittspforten wie Haut und Schleimhäute der Atemwege stehen dabei im Mittelpunkt der Forschung, genauso wie die innere Auskleidung des Darm- und des Urogenitaltrakts. Die Arbeiten beginnen im April 2016 und werden von der DFG mit 5 Mio Euro über die nächsten vier Jahre gefördert.

---

### **Neue Attract-Gruppe Organ-on-a-chip**

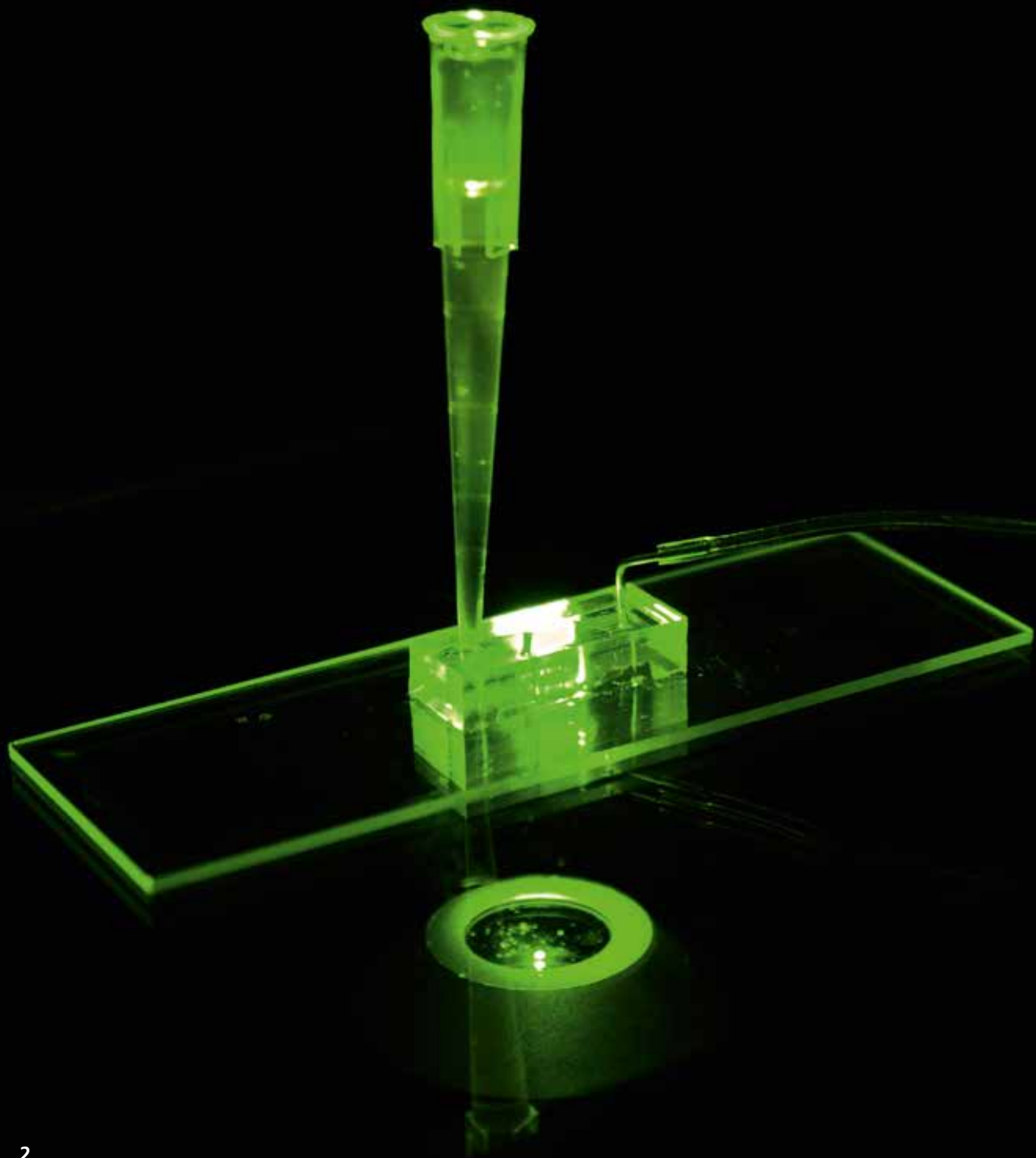
---

2

Im Herbst 2015 bewilligte die Fraunhofer-Gesellschaft eine neue Attract-Gruppe, die zum 1. März 2016 ihre Arbeit am Fraunhofer IGB aufnahm. Leiter der Gruppe ist der interdisziplinär forschende Physiker Dr. Peter Loskill. Ziel des von der University of California, Berkeley, in den USA kommenden Wissenschaftlers ist, die kleinste funktionelle Einheit eines Gewebes oder Organs mithilfe mikrofluidischer Systeme auf einem Chip nachzubilden – um potenzielle Arzneimittelkandidaten bereits in einem frühen Stadium der Entwicklung mit höherer Aussagekraft testen zu können. Damit die entwickelten Organ-on-a-chip-Systeme schließlich für das Hochdurchsatzscreening eingesetzt werden können, will Loskill die Chips parallelisieren und automatisieren. Die Systeme können helfen, Tierversuche zu minimieren und Kosten in der Arzneimittelentwicklung zu reduzieren.

Der Fokus liegt zunächst auf In-vitro-Modellen von Herzmuskel- und weißem Fettgewebe, welche aus menschlichen, induziert pluripotenten Stammzellen gewonnen werden sollen. Da die Kardiotoxizität der häufigste Grund für das Scheitern eines Arzneimittelkandidaten ist, spielt Herzgewebe in der Entwicklung von Medikamenten eine wichtige Rolle. Weißes Fettgewebe ist nicht nur für die Speicherfunktion von besonderer Bedeutung, sondern auch bei den zunehmend häufig auftretenden Krankheiten Adipositas und Diabetes. Die Fraunhofer-Gesellschaft fördert die Arbeiten über fünf Jahre mit 2,5 Mio Euro.







## FRAUNHOFER IGB INTERNATIONAL

### Neue EU-Projekte in Horizont 2020

Horizont 2020 ist das achte Rahmenprogramm für Forschung und Innovation der Europäischen Union und gleichzeitig das weltweit größte in sich geschlossene Forschungs- und Innovationsprogramm mit fast 80 Mrd. Euro Förderung für einen Zeitraum von sieben Jahren von 2014 bis 2020. Horizont 2020 möchte eine erstklassige Forschung in Europa sicherstellen, Hindernisse für Innovationen beseitigen sowie den Zugang des öffentlichen und privaten Sektors zu Innovationen öffnen. Ziel ist es, eine wissens- und innovationsgestützte Gesellschaft sowie eine wettbewerbsfähige Wirtschaft in ganz Europa aufzubauen und dabei gleichzeitig zu einer nachhaltigen Wirtschaft beizutragen.

Im Sommer 2015 sind die Einreichungsfristen des ersten zweijährigen Arbeitsprogramms von Horizont 2020 verstrichen. Das Fraunhofer IGB zieht eine positive Bilanz und freut sich darüber, bereits an sechs neuen Projekten beteiligt zu sein und bei zwei weiteren die Koordination zu übernehmen.

### Neues Projekt in der Säule I

#### »Wissenschaftsexzellenz«

##### Amicrex

1

Das Fraunhofer IGB darf seine erste Marie-Sklodowska-Curie-Stipendiatin unter Horizont 2020, Dr. Katalin Solyom, begrüßen. Seit Mai 2015 forscht die ungarische Wissenschaftlerin in ihrem Projekt Amicrex an der Entwicklung eines integrierten Prozesses zur Gewinnung hochwertiger unpolarer Komponenten aus Rückständen der Lebensmittel- und Landwirtschaftsproduktion für die Anwendung als Zusatzstoffe in der Lebensmittel- oder Kosmetikindustrie.

### ERIFORE

Zum 1. Januar 2016 startete zudem das Projekt ERIFORE mit Beteiligung des Fraunhofer CBP. Hierbei handelt es sich um eine transeuropäische Netzwerkmaßnahme im Bereich der Circular Forest Bioeconomy.

### Neue Projekte in der Säule II

#### »Führende Rolle der Industrie«

Das Fraunhofer IGB ist an der Koordinierungs- und Unterstützungsmaßnahme FERTINNOWA aus dem Bereich Wasser beteiligt, welche einer transeuropäischen Vernetzungsfunktion in diesem Bereich nachkommen wird. Das Projekt startete im Januar 2016. Hinzu kommt die erst kürzlich bekanntgegebene Beteiligung an dem »Fast Track to Innovation«-Projekt ELSI, welches mit starker Industriebeteiligung im Themenfeld Photovoltaikmodul-Recycling forschen wird. Dieses Projekt wird in Kürze beginnen.

### Neue Projekte in der Säule III

#### »Gesellschaftliche Herausforderungen«

Seit dem 1. August 2015 sind Wissenschaftler des IGB am Projekt CARBOSURF der öffentlich-privaten Partnerschaft BBI, kurz für Bio-Based Industries, beteiligt. Im Bereich Gesundheit freuen wir uns über eine Beteiligung im Projekt BIO-CHIP, welches am 1. November 2015 startete und sich innovativen Therapiemöglichkeiten für Knieknorpelverletzungen widmet. Im November 2015 erhielten wir zudem die Förderbewilligung für eine Beteiligung im Bereich Bioökonomie: das Projekt CELBICON begann am 1. März 2016.

# Es geht um den Menschen

Internationalisierung  
Entwicklungsländer  
globale Herausforderungen  
Zusammenarbeit weltweit  
Teilhabe  
Verantwortung  
Forschungszusammenarbeit  
Vielfältigkeit  
Innovationspotenziale nachhaltig  
Bildung

## Abgeschlossene Projekte aus dem 7. Forschungsrahmenprogramm

Im Jahr 2015 konnten einige Projekte des 7. Forschungsrahmenprogramms erfolgreich abgeschlossen werden. Darunter waren unter anderem die vom Fraunhofer IGB koordinierten Projekte VascuBone, PhosFarm, MCure, Whey2Food sowie Noveed. Nähere Informationen zu den einzelnen Projekten finden Sie auf den jeweiligen Projektwebsites sowie auf der Homepage des Fraunhofer IGB.

## Ausblick EU

Im Herbst 2015 wurde das zweite Arbeitsprogramm von Horizont 2020 für die Jahre 2016 und 2017 veröffentlicht. Auch hierfür konnte das Fraunhofer IGB bereits einige relevante Bekanntmachungen identifizieren und hat sich an den ersten Einreichungsrunden im Dezember 2015 und Januar 2016 bereits mit spannenden Projektideen beteiligt.

**Weitere Informationen zu den  
EU-Projekten des Fraunhofer IGB  
finden Sie unter:**  
[www.igb.fraunhofer.de/leu](http://www.igb.fraunhofer.de/leu)



## Internationales – Besuche, Projektkooperationen, Programme

Es geht um den Menschen – das Fraunhofer IGB ist auch über die Grenzen der EU-Förderung hinweg international aktiv. Mit dem Ziel, die wissenschaftliche und wirtschaftliche Wertschöpfung für Fraunhofer und die internationalen Partner auszubauen, bestehen strategische Kontakte mit Brasilien, USA, Israel, China und Australien. Die Internationalisierung am Fraunhofer IGB steht dabei im Zeichen der Menschen, die gemeinsam mit anderen einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung auf der Basis exzellenter Forschung leisten. Dies spiegelt sich auch in einer wachsenden Anzahl internationaler Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Institut wider.

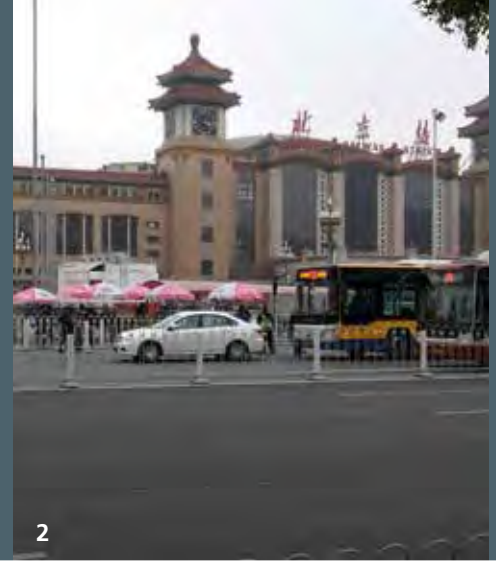
## Irland – Technologien für die Biomedizin Gespräche mit Dublin City University

Im Juli 2015 trafen sich am Fraunhofer IGB Repräsentanten der Dublin City University (DCU) und dessen »Biomedical Diagnostics Institute BDI« mit Wissenschaftlern der Abteilungen Molekulare Biotechnologie, Grenzflächentechnologie und Materialwissenschaft und Zell- und Tissue Engineering sowie weiteren Fachkollegen aus dem Fraunhofer-Verbund Life Sciences. Hintergrund des Treffens war ein erstes gemeinsames fachliches Kompetenz-Mapping und -Matching im Bereich Technologienentwicklung für biomedizinische Anwendungen. Während des Treffens, bei dem die Vorträge als Themenimpulse für die anschließende wissenschaftliche Diskussion gehalten wurden, entstanden spontan gemeinsame Ideen für die weitere Zusammenarbeit.

Das Treffen gehört zu einer Reihe von Zusammenkünften mit exzellenten internationalen Partnern, die alle das Ziel verfolgen, strategische Partnerschaften anzubahnen und zu entwickeln. Anhand des zentralen Themas Mikrofluidik und deren Anwendung im biomedizinischen Kontext wurden auch Themen wie der Austausch von Wissenschaftlern, gemeinsame Promotoren und bilaterale Förderkonzepte eingehend diskutiert. Ein weiteres Treffen ist für das erste Quartal 2016 geplant.



1



2

### USA – Herzmuskelstammzellforschung Erfolgreicher Projektabschluss

Das auf deutscher Seite durch das BMBF und auf amerikanischer Seite durch das California Institute for Regenerative Medicine (CIRM) finanzierte Projekt »Charakterisierung und Bioengineering der kardialen Stammzellnische«, welches in enger Kooperation zwischen den Forschergruppen von Prof. Dr. Katja Schenke-Layland am Fraunhofer IGB, Prof. Dr. Ali Nsair an der University of California in Los Angeles und Prof. Dr. Shu Chien an der University of California in San Diego durchgeführt wurde, konnte im Dezember 2015 erfolgreich beendet werden. Der Fokus des Projekts lag auf der Aufklärung der Zusammensetzung und Funktion der Islet-1-positiven Zellcluster und deren Mikroumgebung im sich entwickelnden menschlichen Herzen. Islet-1 wurde als ein wichtiger Marker zur Identifizierung von Herzmuskelvorläuferzellen (engl. cardiac progenitor cells, CPCs) beschrieben.

Die zur Herzmuskelregeneration fähigen CPCs sind von großem Interesse für Forscher, die nach neuen Therapien zur Funktionsverbesserung des Herzens nach einem Herzinfarkt suchen. Haupthürden bei der klinischen Verwendung von CPCs sind eine ungenaue Definition geeigneter Subpopulationen von CPCs im Menschen sowie die Gewinnung dieser Zellen in einer für eine Therapie notwendigen Zahl. Das übergeordnete Ziel des Projekts war es, die Mikroumgebung der Islet-1-positiven Zellcluster in einem Bioreaktorsystem nachzubilden, um ein In-vitro-Zellexpansionssystem zu entwickeln, mit dem die für eine klinische Therapie erforderliche Anzahl an CPCs hergestellt werden kann. In zukünftigen Studien planen die Forscher Großtierversuche, um die In-vivo-Funktion der im Bioreaktor gewonnenen CPCs innerhalb von Myokardinfarkten auszutesten.

### China – Semi-dezentrales Wassermanagement 1 + 2 Gastwissenschaftler am IGB

Durch den Aufenthalt des Gastwissenschaftlers Dr. Liangfei Dong aus Changzhou konnte die Kooperation des Fraunhofer IGB mit China deutlich intensiviert werden. Liangfei Dong arbeitete von Oktober 2014 bis September 2015 am IGB und unterstützte die Wissenschaftler bei der Projektarbeit. Zusätzlich vertrat er das IGB im Juni auf dem BAU Congress China 2015 in Peking. Zudem organisierte er den Besuch von Vertretern des Changzhou Science & Technology Bureau am Fraunhofer IGB im September 2015.

Zu einem Gegenbesuch kam Dr.-Ing. Marius Mohr im November 2015 nach Changzhou, wo er mit Dr. Liangfei Dong mehrere an einer Kooperation interessierte Unternehmen besuchte und an der Universität einen Vortrag über semi-dezentrales Wassermanagement hielt. Danach besuchten Mohr und Liangfei Dong gemeinsam die Messe Water Expo in Peking, wo sie zusammen mit anderen Vertretern des European Network Architecture (ena) einen Ausstellungsbereich am Gemeinschaftsstand Baden-Württemberg hatten. Mit zahlreichen Kontakten und interessanten Ansätzen soll die Kooperation mit China in den nächsten Jahren weiter ausgebaut werden.

### Australien – Herzklappenersatz 3 Wissenschaftlicher Austausch

Für das in ihrer Doktorarbeit »Electrospinning – a suitable method to generate scaffolds for regenerative medicine applications« entwickelte elektrogewebene Trägersubstrat wurde Dr. Svenja Hinderer am 26. November 2015 durch Bundestagspräsident Norbert Lammert mit dem von der Körber-Stiftung verliehenen Deutschen Studienpreis ausgezeichnet. Das stabile und dank natürlicher Proteine zugleich elastische Trägersubstrat ist biokompatibel und sterilisierbar – und damit für medizinische Anwendungen hervorragend geeignet. Zukünftiges Ziel ist es, ein zellfreies Medizinprodukt zu entwickeln, das sich erst nach dem Einsetzen in den Patienten selbst besiedelt. Das Material hat neben anderen positiven Eigenschaften auch das



3

Potenzial, im Patienten mitzuwachsen und eignet sich daher auch für den Einsatz bei Kindern.

Um dieses ganz besondere Herzklappenmaterial gemeinsam mit exzellenten Kollegen weiter zu verbessern, machte sich die außergewöhnliche Wissenschaftlerin auf den Weg um die halbe Welt. Ihr Ziel: das Material um eine zweite, aus Tropoelastin bestehende Schicht zu erweitern. In der Arbeitsgruppe des weltweit führenden Experten im Bereich Tropoelastin und Biomaterialien Prof. Dr. Tony Weiss an der University of Sydney entwickelte sie von Juli bis September 2015 Material aus einem elektrogewebenen Substrat und einem Tropoelastin-Seide-Film und stellte gleichzeitig die Weichen für die Entwicklung einer besonderen wissenschaftlichen Partnerschaft. Ihr Aufenthalt wurde finanziell durch Mittel der Fraunhofer TALENTA-Förderung und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Anbahnung internationaler Kooperationen unterstützt.

## Russland – Abwasserreinigung

### DBU-Stipendiatin bei BioCat in Straubing

Als neue wissenschaftliche Mitarbeiterin des Straubinger Institutsteils »Bio-, Elektro- und Chemokatalyse BioCat« des Fraunhofer IGB widmet sich die russische Ingenieurin Olesia Dolganova der Erforschung phytotechnologischer Ansätze für die Abwasserreinigung. Dank eines Stipendiums der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) führt die russische Nachwuchswissenschaftlerin ihre Forschungen gemeinsam mit den deutschen Kollegen am Fraunhofer IGB durch. Olesia Dolganova hat an der Staatlichen Technischen Universität Kaliningrad ihren Ingenieur-Abschluss im Bereich »Nutzung und Schutz von Wasserressourcen« erworben. Sie ist Trägerin des UMNIK-Förderpreises, der begabte junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zwischen 18 und 28 Jahren bei der Entwicklung von neuen Technologien unterstützt. Mit dem Fördergeld soll engagierten Wissenschaftlern eine Unternehmensgründung ermöglicht werden. Am Institutsteil Straubing des Fraunhofer IGB führte sie ihre Forschung für

## Kontakt

### Forschungsplanung und strategische Geschäftsfeldentwicklung



#### Dipl.-Agr.-Biol. Sabine Krieg MBA

Internationale Kontakte,  
Projektanbahnung  
Telefon +49 711 970-4003  
sabine.krieg@igb.fraunhofer.de



#### Dipl.-Kffr. Jenny Bräutigam

EU-Projekte, Projektmanagement  
Telefon +49 711 970-4070  
jenny.braeutigam@igb.fraunhofer.de

das deutsch-russische Pilotprojekt unter der Betreuung von Dr. Tobias Gärtner, Leiter der BioCat-Forschungsgruppe »Chemische Katalysatoren – Design und Entwicklung«, erfolgreich fort.





1

## PERSONALIA, PREISE, AUSZEICHNUNGEN

### Professur für Dr. Steffen Rupp

1

Im Mai 2015 wurde Dr. Steffen Rupp zum außerplanmäßigen Professor der Universität Stuttgart am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP ernannt. Zuvor war der stellvertretende IGB-Institutsleiter und Leiter der Abteilung Molekulare Biotechnologie dort als Privatdozent tätig. Mit der Berufung würdigt die Hochschule die langjährige Lehrtätigkeit des studierten Chemikers. Mit der Universität ist Rupp seit jeher eng verbunden – 1990 schloss er dort sein Studium mit einem Diplom ab, gefolgt von seiner Promotion auf dem Gebiet der Biochemie.

### Dr. Svenja Hinderer erhält Deutschen Studienpreis

2

Der jährlich verliehene Deutsche Studienpreis der Körber-Stiftung würdigt die Arbeit der besten deutschen Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler. IGB-Mitarbeiterin Dr. Svenja Hinderer erhielt im November 2015 die Auszeichnung für ihre Doktorarbeit »Electrospinning – a suitable method to generate scaffolds for regenerative medicine applications« am IGVP der Universität Stuttgart. Für ihre Promotion hatte Sie am IGB unter der Leitung von Prof. Dr. Katja Schenke-Layland an künstlichen Herzklappen geforscht. Inzwischen ist Hinderer Leiterin der Gruppe Kardiovaskuläre Systeme, Biomaterialien und Bioimaging innerhalb der Abteilung Zell- und Tissue Engineering des IGB.

### Science4Life-Gründerpreis für foxySpec-Massenspektrometer

Die Gründerinitiative Science4Life e.V. zeichnet jährlich besonders erfolgversprechende Geschäftsideen aus der Wissenschaft aus und fördert somit junge akademische Existenzgründer. Ein Forschungsteam um die IGB-Ingenieure Matthias Stier und Stephan Scherle erhielt im Dezember 2015 einen der Gründerpreise für das innovative foxySpec-Massenspektrometer, mit dem sich erstmals simultan bis zu 30 verschiedene Komponenten sowohl aus der Gas- als auch der Flüssigphase in Echtzeit analysieren lassen. Mit der Verleihung würdigt Science4Life e.V. das enorme Potenzial dieser Produktentwicklung, insbesondere für die Prozessindustrie.

### Wechsel in der Verwaltungsleitung

Der langjährige Verwaltungsleiter des IGB, Ulrich Laitenberger, wechselte im Herbst 2015 ans benachbarte Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Die Institutsverwaltung erhielt daraufhin eine Doppelspitze, bestehend aus Katja Rösslein und Michael Bangert. Rösslein, Leiterin des Personalwesens, übernimmt die Aufgabenbereiche Personal und Organisation, während Controller Michael Bangert für die Bereiche Controlling und Finanzen verantwortlich ist.



---

**apl. Prof. Dr. Günter Tovar übernimmt  
kommissarische IGVP-Leitung** 3

---

Zum Jahreswechsel 2015/2016 hat die Universität Stuttgart apl. Prof. Dr. Günter Tovar zum kommissarischen Leiter des IGVP berufen. Damit übernimmt Tovar bis auf Weiteres die Aufgaben von Prof. Dr. Thomas Hirth, der bis Ende 2015 sowohl das IGB als auch das Universitätsinstitut leitete und zum Januar 2016 in das Präsidium des Karlsruher Instituts für Technologie KIT wechselte. Tovar bekleidete am IGVP zuvor die Position des stellvertretenden Institutsleiters.



## NACHWUCHSFÖRDERUNG

Junge Menschen für eine Zukunft in der Wissenschaft begeistern – das ist ein erklärtes Ziel der Fraunhofer-Gesellschaft. Das Institutszentrum Stuttgart und das Fraunhofer IGB engagieren sich aus diesem Grund ganz besonders, wenn es darum geht, Schülerinnen und Schülern Berufe im MINT-Bereich näher zu bringen. Darüber hinaus gibt es am Standort Stuttgart auch Angebote für Studierende naturwissenschaftlicher Fächer, um sie in ihrer Studienwahl zu bekräftigen und für eine Karriere bei Fraunhofer zu gewinnen.

### Fraunhofer Talent School

Die Fraunhofer Talent School bietet Schülerinnen und Schülern ab 15 Jahren die Chance, ein Wochenende lang einen umfassenden Einblick in das Forschen und Arbeiten bei Fraunhofer in Stuttgart zu erhalten. Die beteiligten Institute organisierten in diesem Rahmen Workshops, in denen die Jugendlichen Forschung hautnah erleben und sich selbst an interessanten Projekten ausprobieren können.

Für das Fraunhofer IGB beteiligte sich die Abteilung Molekulare Biotechnologie mit dem Workshop »CSI Stuttgart«. Hier konnten die zehn Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit den Mitteln der Forensik einen Kriminalfall lösen, indem sie im Labor aus Speichelproben selbst DNA isolierten und molekular charakterisierten.

[www.stuttgart.fraunhofer.deltalents](http://www.stuttgart.fraunhofer.deltalents)

### Girls' Day

Bereits zum 15. Mal fand im April 2015 der bundesweite Girls' Day statt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat diesen Aktionstag initiiert, um junge Mädchen für eine Zukunft in den MINT-Berufen zu begeistern. Denn obwohl die junge Mädchengeneration bestens dafür ausgebildet ist, entscheiden sich immer noch verhältnismäßig wenige Mädchen

für eine Karriere in diesem Bereich und tendieren weiterhin zu »typisch weiblichen« Berufsfeldern.

2015 kamen 79 Schülerinnen aus den Klassenstufen 7 bis 10 zum Girls' Day am Stuttgarter Institutszentrum. Vier Institute boten ihnen acht Führungen an, um die verschiedenen Berufs- und Forschungsfelder am Stuttgarter Fraunhofer-Campus kennenzulernen. Das Fraunhofer IGB zeigte den Teilnehmerinnen in zwei Führungen zu den Themen »Maßgeschneiderte Gewebe aus dem Labor« und »Wasser und Rohstoffe aus Abwasser und Abfällen«, welche Berufsmöglichkeiten das Institut in den Bereichen Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik bietet und wie hier interdisziplinär zusammengearbeitet wird.

[www.stuttgart.fraunhofer.de/girls-day](http://www.stuttgart.fraunhofer.de/girls-day)

### BOGY – Berufs- und Studienorientierung an Gymnasien

Für Gymnasiastinnen und Gymnasiasten boten die Stuttgarter Fraunhofer-Institute auch 2015 wieder zahlreiche einwöchige BOGY-Praktika an. Elf Schülerinnen und Schüler kamen in diesem Jahr in zwei Wochen im Frühjahr und im Herbst ans Fraunhofer IGB. Besonders erfreulich war der hohe Anteil interessierter Schülerinnen – acht der elf Teilnehmenden waren weiblich. Während ihres Praktikums erhielten die Schülerinnen und Schüler einen Einblick in die Arbeits- und Forschungsgebiete des Instituts. Dabei konnten sie die Tätigkeiten von





2

Wissenschaftlern und Doktoranden verschiedener Fachrichtungen kennenlernen und sich über die typischen Ausbildungsberufe an einer Forschungseinrichtung informieren.  
[www.stuttgart.fraunhofer.de/bogy](http://www.stuttgart.fraunhofer.de/bogy)

### Checkpoint Zukunft

1

Der »Checkpoint Zukunft« ist der Tag für Studierende am Fraunhofer-Institutszentrum Stuttgart. Bei der diesjährigen Veranstaltung am 27. November 2015 konnten sich Studierende verschiedenster Fachrichtungen über Fraunhofer als Arbeitgeber und über Karrierechancen in der Wissenschaft informieren. Neben einer Vorstellung aller Stuttgarter Institute und einer Podiumsdiskussion zum Thema »Karriere bei Fraunhofer« bot der Studierenden-Tag den Teilnehmenden zahlreiche Führungen durch die Institute. So erhielten sie einen Einblick in die wissenschaftliche Arbeit und einen Überblick über die vielfältigen Forschungsthemen bei Fraunhofer. Das Fraunhofer IGB beteiligte sich in diesem Jahr mit Führungen zu den Themen »Die Natur als chemische Fabrik«, »Tissue Engineering – Maßgeschneiderte Gewebe aus dem Labor« und »Algentechnologie«.

[www.stuttgart.fraunhofer.de/checkpoint](http://www.stuttgart.fraunhofer.de/checkpoint)

### »Your future in Stuttgart« – Fachtag für international Studierende

2

Am 18. April 2015 fand im Stuttgarter Rathaus der erste Fachtag für international Studierende statt. Die Informationsveranstaltung wurde von der Stadt initiiert, um Studierende aus dem Ausland, die an den regionalen Hochschulen eingeschrieben sind, für eine berufliche Zukunft am Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Stuttgart zu begeistern. Am Informationsprogramm und an der begleitenden Jobbörse beteiligten sich das Stuttgarter Fraunhofer-Institutszentrum und andere Wirtschaftsunternehmen und Forschungseinrichtungen.

[www.stuttgart.delenyour-future](http://www.stuttgart.delenyour-future)

### Duale Ausbildung am Fraunhofer IGB

Neben der Ausbildung und Förderung von Studierenden ist dem Fraunhofer IGB auch die nicht-universitäre Berufsausbildung wichtig. Daher bietet das Institut Stellen in verschiedenen Ausbildungsberufen an. Im Jahr 2015 gab es zwei Neueinstellungen. Damit beläuft sich die Gesamtzahl der Auszubildenden auf acht junge Frauen und Männer.

Am Fraunhofer IGB haben die Auszubildenden die Möglichkeit, neben der Berufsschule in den vielfältigen Arbeitsbereichen eines Forschungsinstituts mitzuarbeiten und sich so das Rüstzeug für eine spätere Tätigkeit in der Forschung oder der Industrie zu sichern. Wählen Auszubildende im Anschluss daran die Möglichkeit eines Studiums oder einer berufsbegleitenden Weiterbildung, wird dies vom Institut unterstützt.

Die Verwaltung bietet jungen Menschen die Möglichkeit, eine Ausbildung zur Kauffrau oder zum Kaufmann für Büromanagement zu absolvieren. Aktuell durchlaufen vier Mitarbeiterinnen diese dreijährige Ausbildung. Darüber hinaus bildet das Fraunhofer IGB im IT-Bereich zurzeit zwei Fachinformatiker für Systemintegration aus. Und auch in den Forschungsabteilungen gibt es Ausbildungsplätze. Naturwissenschaftlich interessierte und begabte junge Menschen können sich am Institut zu Chemie- oder Biologielaboranten ausbilden lassen. Aktuell befinden sich zwei Chemielaboranten in der Ausbildung.

[www.igb.fraunhofer.de/ausbildung](http://www.igb.fraunhofer.de/ausbildung)

Weitere Informationen zu  
 Ausbildung und Nachwuchsförderung  
 am IGB finden Sie unter:

[www.igb.fraunhofer.de/karriere](http://www.igb.fraunhofer.de/karriere)





## FORSCHEN IM KONTEXT GESELLSCHAFTLICHER HERAUSFORDERUNGEN

2015 waren die globalen Auswirkungen sozialer Ungleichgewichte und regionaler Krisen in besonderem Maße zu spüren. Gleichzeitig haben die Vereinten Nationen neue Ziele für eine nachhaltige Entwicklung verabschiedet (Abb. 1). Sie adressieren Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft gleichermaßen.

### IGB als Wegbereiter für Nachhaltigkeit

Ziele wie »Gesundheit weltweit«, »Wasser und Sanitärversorgung für alle« oder »Nachhaltige Energie und Elektrizität für alle« unterstreichen die Relevanz unserer Forschungsthemen am Fraunhofer IGB. Nachhaltigkeit ist ebenso ein Querschnittsthema, das sich auf die Art und Weise, wie wir forschen, auswirkt. Über das eigene Portfolio hinaus engagiert sich das Fraunhofer IGB seit 2007 im Fraunhofer-Netzwerk Nachhaltigkeit und entwickelt dort Strategien und Handlungshilfen zur Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in die Forschung. Prof. Dr. Thomas Hirth, Mitbegründer des Netzwerks und Sprecher bis Ende 2015, war Wegbereiter für eine Professionalisierung und strategische Verankerung des Nachhaltigkeitsmanagements in der Fraunhofer-Gesellschaft und am Standort Stuttgart.

Neben der internationalen Debatte spiegelt auch die Forschungsagenda auf nationaler und europäischer Ebene die gesellschaftliche Erwartung wider, dass sich Forschung und Entwicklung stärker an den großen Herausforderungen unserer Zeit ausrichten und den Wandel hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft nicht nur begleiten, sondern auch gestalten sollte. Die Komplexität der Probleme erfordert dabei eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Forschungsrichtungen, aber auch mit praxisnahen, nicht-wissenschaftlichen Wissens- und Erfahrungsträgern. Systemische Ansätze und die

nutzerorientierte Entwicklung von Lösungen setzen Forscher am IGB bereits in Projekten wie dem Leitprojekt »E<sup>3</sup>-Produktion« (Seite 120) oder »Ultraeffizienzfabrik« (Seite 114) um.

### Nachhaltigkeitsmanagement für Forschungsorganisationen

2 + 3

Kriterien wie Inter- und Transdisziplinarität sind wesentliche Merkmale eines verantwortungsvollen Forschungsprozesses, folgt man den bisherigen Ergebnissen aus dem Verbundprojekt »Leitfaden Nachhaltigkeitsmanagement in außeruniversitären Forschungseinrichtungen (LeNa)«. Koordiniert von Fraunhofer, arbeiten in dem Projekt seit 2013 Wissenschaftler und Experten aus Verwaltung und Management aus 25 Einrichtungen der drei Forschungsorganisationen Fraunhofer, Leibniz und Helmholtz zusammen (Abb. 2). Ziel ist es, ein gemeinsames Verständnis über den Beitrag von Forschungsorganisationen zu einer nachhaltigen Entwicklung herzustellen. Als Ergebnis soll ein Leitfaden entwickelt werden, der einen Aktionsrahmen mit klaren Handlungsoptionen, praxisnahen Handreichungen und anregenden Best-Practice-Beispielen enthält. Der Leitfaden bezieht sich auf die Themenkomplexe »Forschen in gesellschaftlicher Verantwortung«, »Personal« und »Bau und Betrieb«. Diese werden in drei Teilprojekten vertieft und ergänzt durch die forschungsspezifische Interpretation von Grundprinzipien und Managementprozessen auf



der Basis internationaler Nachhaltigkeitsstandards. Ein sowohl organisationsübergreifend als auch mit externen Stakeholdern geführter Dialog (Abb. 3) macht Unterschiede zwischen den Einrichtungen aufgrund ihrer Größe, Organisationsform und Kultur sowie Konfliktfelder und Erfolgsfaktoren deutlich, die bis Ende 2016 systematisiert und in ein gut kommunizierbares Format gebracht werden. Die Beteiligung mehrerer Fraunhofer-Institute in dem Projekt beeinflusst auch die interne Zusammenarbeit positiv. Das Netzwerk Nachhaltigkeit will auf dieser Basis künftig stärker als Impulsgeber und Ideenpool zwischen Forschung, Politik und Gesellschaft fungieren und Position zu relevanten Themen beziehen. Beispielsweise beteiligte sich das Netzwerk 2015 am Konsultationsprozess zur Citizen Science Strategie 2020 für Deutschland.

---

### Fraunhofer-weiter Dialog für die Zukunft

---

Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft ist das Fraunhofer IGB selbst Stakeholder: Beispielsweise tragen die hier stark vertretenen Frauen in Führungspositionen mit ihren Erfahrungen zu einer verantwortungsvollen Unternehmensführung (Corporate Social Responsibility) bei. Nach dem Erscheinen des Nachhaltigkeitsberichts 2014 wurde bei einem Dialog in der Zentrale mit Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft über die Weiterentwicklung des Nachhaltigkeitsmanagements bei Fraunhofer diskutiert. Auch hier wurde deutlich, dass von Fraunhofer nicht nur zukunftsweisende Innovationen erwartet werden, sondern auch eine Auseinandersetzung besonders mit den gesellschaftlichen Wirkungen. Diesen Auftrag gilt es nun verstärkt in Projekte einfließen zu lassen.

- 1 UN Sustainable Development Goals.
- 2 Projektkonsortium LeNa.
- 3 Organisationsübergreifender Dialog zum Leitfaden Nachhaltigkeitsmanagement.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Birgit Haller**

Telefon +49 711 970-4083

[birgit.haller@igb.fraunhofer.de](mailto:birgit.haller@igb.fraunhofer.de)

### Förderung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projekts »Leitfaden Nachhaltigkeitsmanagement in außeruniversitären Forschungseinrichtungen (LeNa)«, Förderkennzeichen 13NKE003A.

### Weitere Informationen

[www.lena-projekt.de](http://www.lena-projekt.de)

---

### Weitere Informationen zum Thema Nachhaltigkeit am Fraunhofer IGB:

[www.igb.fraunhofer.de/nachhaltigkeit](http://www.igb.fraunhofer.de/nachhaltigkeit)




---

### Weitere Informationen zu Nachhaltigkeit und Forschung in der Fraunhofer-Gesellschaft:

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







# KOMPETENZEN

## DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 67 Institute und Forschungseinrichtungen. 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen über 1,8 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Mehr als 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

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

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

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

<sup>1</sup> Joseph von Fraunhofer (1787–1826).



## GRENZFLÄCHENTECHNOLOGIE UND MATERIALWISSENSCHAFT

Grenzflächen spielen eine tragende Rolle in vielen technischen Bereichen wie beispielsweise im Automobilbau, bei technischen Textilien oder in der Medizintechnik. Für viele Werkstoffoberflächen sind ganz andere Eigenschaften gefordert als sie das Material im Volumen besitzt. Neben diesen Werkstoffoberflächen gewinnen zunehmend innere Grenzflächen in Verbundmaterialien an Bedeutung. Dies betrifft sowohl Membranen für die Trenntechnik als auch Materialien für die Energietechnik, beispielsweise Separatoren in Brennstoffzellen oder dünne Schichten in der Photovoltaik, aber auch Barrieren für Verpackungsmaterialien. Schließlich werden durch die wachsende Komplexität der Anforderungen verschiedene technische Verfahren unter Aspekten der Material- und Energieeffizienz kombiniert. Für die technologische Umsetzung haben wir verschiedene Verfahren etabliert, mit denen entweder aus der Gasphase heraus Schichten abgeschieden oder aus der flüssigen Phase dünne Schichten oder Partikel erzeugt werden.

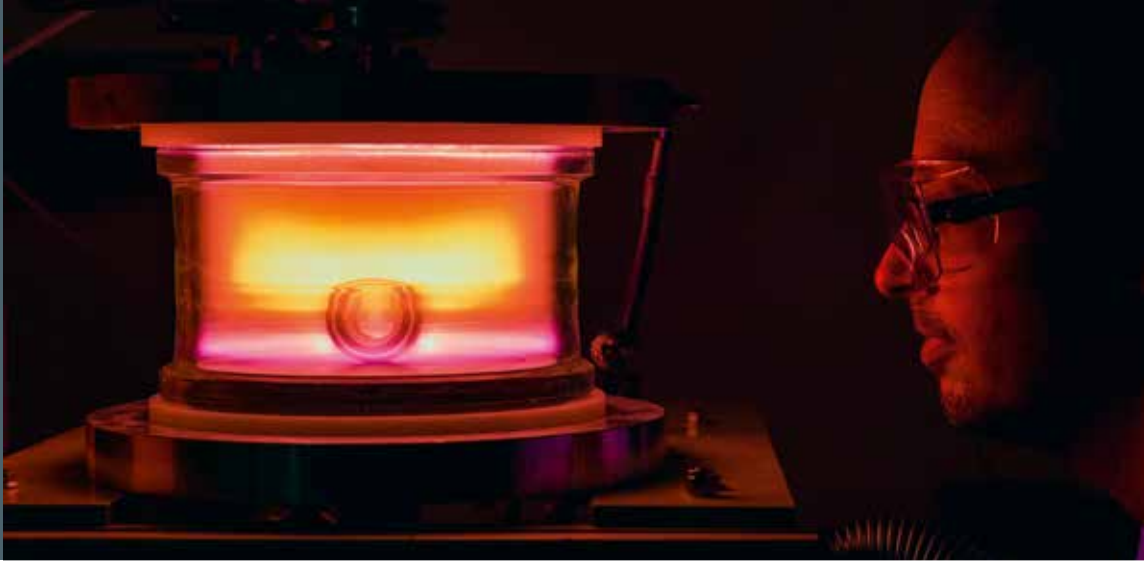
### Etablierte Herstellungsverfahren

- Abscheidung dünner Schichten mit chemischen und physikalischen Methoden aus der Gasphase
- Abscheidung von Nanopartikeln mit verschiedenen Polymerisationstechniken
- Erzeugung von Membranen mit Sol-Gel-Prozessen und Sinterung
- Abscheidung dünner Schichten durch Layer-by-Layer-Methoden oder mittels selbstorganisierender Monoschichten
- Auftrag dünner polymerer Filme durch Spin Coating
- Abscheidung von Nanofasern mittels Elektrosponnen

Für eine adäquate Verfahrens- und Produktentwicklung müssen die einzelnen Schritte kontrolliert und die Produkte charakterisiert werden. Hierzu steht uns eine Vielzahl analytischer Methoden zur Verfügung, mit denen wir die Prozesse teilweise auch in situ untersuchen und kontrollieren können (Prozessdiagnostik). Da ein Großteil unserer Produkte durch nanometerdünne Schichten oder Nanopartikel bestimmt ist, nutzen wir vor allem Methoden, die orts aufgelöste Informationen bis in den Nanometerbereich ermöglichen. Anwendungsrelevante Eigenschaften wie Separations- und Permeationseigenschaften dünner Schichten (Membranen, Barrieren, Korrosionsschutz), die Stofftrennung mit polymeren Absorberpartikeln und die Dispergierfähigkeit von modifizierten Kohlenstoffnanoröhren und Graphen werden in speziellen Versuchsanordnungen bestimmt.

### Etablierte Charakterisierungs- und Diagnostikverfahren

- Bestimmung der Grenzflächenspannung mit diversen Tensiometern
- Erfassung der Topographie und geometrischen Struktur von Oberflächen bis in Nanometerdimensionen mit verschiedenen AFM-Varianten, Elektronenmikroskopie und digitaler Lichtmikroskopie
- Bestimmung der Adsorptionseigenschaften entweder mikrokalorimetrisch oder durch Gasadsorption bei gleichzeitiger Bestimmung der spezifischen Oberfläche (BET)
- Bestimmung der Schichtdicke entweder ellipsometrisch oder mit mikroskopischen Techniken
- Bestimmung der chemischen Funktionen an Oberflächen und in dünnen Filmen mit IR-Spektroskopie im ATR-Modus, IR-Mikroskopie, konfokaler Raman- und Fluoreszenzspektroskopie sowie mit MALDI-TOF-MS (matrix-assisted laser desorption-ionisation time-of-flight mass spectroscopy)



- Erfassung der Elementzusammensetzung mit Elektronenspektroskopie für die chemische Analyse (ESCA) und energiedispersiver Röntgenmikroanalyse (EDX)
- Quantitative Erfassung von chemischen Radikalen mit Elektronenspinresonanz-Spektroskopie
- Prozessdiagnostik für Plasmen mit Sondenmessungen, optischen und massenspektrometrischen Methoden

Neben der Qualität der Produkte steht vor allem die Material- und Energieeffizienz der entwickelten Verfahren im Vordergrund. Eine Möglichkeit ist, ganze Funktionseinheiten zu miniaturisieren und durch Kombination verschiedener dünner Schichten zu realisieren. Bei diesen dünnen Schichten ist dann auch die innere Struktur und chemische Zusammensetzung von Bedeutung, die den Transport von Stoffen (Membranen), von Elektronen (Leiter, Halbleiter) oder von Photonen (Lichtleiter) modulieren und Dünnschicht-Komponenten für die Photovoltaik, für Batterien und für die organische Elektronik zugänglich machen. Herausforderung und Gegenstand unserer verfahrenstechnischen Entwicklungen ist es, die mit verschiedenen Dünnschichttechniken zugänglichen dünnen Schichten geeignet zu kombinieren.

Durch den kombinierten Einsatz von Präparationsverfahren und analytischen Methoden sind wir in der Lage, Entwicklungsaufgaben für unsere Kunden in allen Geschäftsfeldern des Fraunhofer IGB – Medizin, Pharmazie, Chemie, Umwelt und Energie – erfolgreich zu bearbeiten.

#### Leistungsangebot

- Prozessentwicklung zur Plasmamodifizierung von Oberflächen
- Schichtentwicklung für Schutzschichten (Kratz-, Korrosionsschutz), Barrieren gegen Permeation, Schichten als Reservoir für die Freisetzung von Stoffen (Formulierungen)
- Funktionalisierung von Oberflächen (chemisch und biochemisch)
- Verfahrens- und Anlagenentwicklung

#### Kontakt



#### Dr. rer. nat. Christian Oehr

Abteilungsleiter,  
kommissarischer Institutsleiter  
Telefon +49 711 970-4137  
christian.oehr@igb.fraunhofer.de

- Entwicklung und Bewertung von Plasmareinigungs- und -sterilisationsprozessen
- Entwicklung von Tinten durch Verwendung von Biomaterialien für die Herstellung biokompatibler oder bioaktiver gedruckter Strukturen
- Synthese und Präparation nanostrukturierter Materialien mit maßgeschneiderter Oberfläche
- Entwicklung von neuartigen Formulierungen mittels Kern-Schale-Partikeln
- Charakterisierung von Nanopartikeln, Messung der Partikelgröße und Partikelgrößenverteilung mit optischen Methoden oder im elektrischen Feld
- Entwicklung von Membranen und Membranmodulen
- Herstellung und Testung von Membranen im Pilotmaßstab
- Oberflächen- und Schichtcharakterisierung
- Scale-up von Laborprozessen zur Herstellung dünner Schichten auf großflächige Formate und Skalierung der Nanopartikelherstellung zu größeren Volumina

#### Infrastruktur und Geräteausstattung

- Anlagen zur Plasmabehandlung (Reinigung, Sterilisation, Beschichtung, Funktionalisierung)
- Anlagen zum Sputtern und zur Parylenbeschichtung
- Elektronenmikroskope und Rasterkraftmikroskope
- Geräte zur Oberflächen- und Dünnschichtanalytik
- Chemisch-nanotechnologische Laboratorien zur Synthese und Herstellung nanostrukturierter (Bio-)Materialien und Oberflächen
- Pilotanlagen zur Herstellung und Testung von Membranen





## MOLEKULARE BIOTECHNOLOGIE

Die Abteilung Molekulare Biotechnologie ist in den Geschäftsfeldern Pharmazie, Medizin/Diagnostik und Chemie aktiv. Ein Schwerpunkt der Abteilung ist die Infektionsbiologie pathogener Mikroorganismen und Viren. Hier verwenden wir komplexe 3D-Infektionsmodelle mit Komponenten des Immunsystems, um die Interaktion von Wirt und Pathogen zu erfassen und neue Ansätze für das Wirkstoff-Screening und die Stimulation der körpereigenen Abwehr abzuleiten. Neue Verfahren für die Infektionsdiagnostik entwickeln wir auf Nukleinsäurebasis (diagnostische DNA-Microarrays, Biomarkerentwicklung mittels DNA-Hochdurchsatzsequenzierung, Next-Generation-Diagnostik über im Blut zirkulierende Nukleinsäuren) oder über zelluläre Reportersysteme, beispielsweise einen auf Immunrezeptoren basierenden Pyrogen-Assay. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von Zelllinien für die pharmazeutische Biotechnologie sowie in der Stammentwicklung für die industrielle Biotechnologie. Produktionsverfahren für Pharmaproteine wie Interferone und Faktor VII haben wir bereits GMP-konform im Labormaßstab, Verfahren für die mikrobielle Herstellung von Biotensiden und die enzymatische Synthese von Epoxiden bis in den 100-Liter-Maßstab entwickelt.

Die Kernkompetenzen der Abteilung liegen in der Anwendung molekularbiologischer und biotechnologischer Methoden für Genom-, Transkriptom- und Proteom-Analysen sowie einer akkreditierten Analytik, die auch für Metabolom-Analysen geeignet ist. Um mikrobielle Produktionsverfahren möglichst wirtschaftlich zu gestalten, setzen wir unser Know-how von der molekularbiologischen Optimierung der Produktionsstämme bis hin zur Bioprozessentwicklung mit integrierter effektiver Produktaufarbeitung ein. In der Infektionsbiologie führt die Kombination von Methoden der funktionellen

Genomanalyse mit unserer Expertise in der Zellkulturtechnik zu einem Alleinstellungsmerkmal in der Entwicklung von 3D-Infektionsmodellen und Testsystemen (z. B. für das Screening von Wirkstoffen). Für die gezielte Wirkstoffapplikation entwickeln wir Virus-ähnliche Partikel und therapeutische Viren.

Unser Ziel ist es, die in der Natur vorkommenden Prozesse zu erkennen und ihre Vielfalt in biotechnologischen Wertschöpfungsprozessen, beispielsweise für die Entwicklung biobasierter Chemikalien wie Biotenside oder Polymergrundbausteine, aber auch für neue Diagnostika und Therapeutika einzusetzen. Die neuen Technologien in der Nukleinsäure- und Proteomanalytik ermöglichen es uns, ganze mikrobielle Gemeinschaften aus der Umwelt oder dem Bioreaktor, wie auch die Interaktion zwischen Mikroorganismen und menschlichem Individuum in kürzester Zeit umfassend zu analysieren. Mithilfe dieser Informationen können Produkte getestet und validiert, Maßnahmen für die spezifische Behandlung einer Erkrankung eingeleitet oder personalisierte Medikamente für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen entwickelt werden. In der industriellen Biotechnologie eröffnet die einfache Verfügbarkeit von Genomen und die schnelle Analyse zellulärer Regelkreise die Möglichkeit, neue Stoffwechselwege zu erkennen, Prozesse direkt im Reaktor zu optimieren um dies in idealer Weise für die Produktion von Chemikalien oder Enzymen einzusetzen.

Mit unseren Kompetenzen bedienen wir, auch in Zusammenarbeit mit den anderen Abteilungen des Fraunhofer IGB, verschiedene Bereiche der Geschäftsfelder Medizin, Pharmazie und Chemie. So arbeiten wir im Bereich der Biokatalyse mit dem Institutsteil Straubing zusammen. Die im Labormaßstab etablierten Bioprozesse können mit dem Fraunhofer CBP in





Leuna bis in den 10-Kubikmeter-Maßstab überführt werden. Zudem bestehen innerhalb des Fraunhofer-Verbunds Life Sciences Möglichkeiten für eine Prozessentwicklung von pharmazeutischen Proteinen bis hin zur GMP-Produktion klinischer Prüfmuster und Studien in der klinischen Phase I.

### Leistungsangebot

- Target- und Wirkstoff-Screening für Antiinfektiva (Infektionsmodelle, zellbasierte Screening-Assays)
- Proteomanalysen (2D-/LC-Proteomics)
- Hochdurchsatzsequenzierung von Genomen und Transkriptomen
- Next-Generation-Diagnostik von Blutproben (Circulating Nucleic Acids in Plasma and Serum, CNAPS)
- Entwicklung von DNA-Microarrays: Sondendesign, Herstellung der Arrays und Probenvorbereitungsverfahren
- Zellbasierte Assays: Antivirale Assays (GLP), TLR/PRR-basierte Assays/Pyrogendetektion (GLP), Mutagenität, Toxizität
- Herstellung von Produktionszelllinien und Verfahren zur rekombinanten Produktion von Proteinen (Biosimilars, Proteinreinigung und Proteincharakterisierung)
- Zellfreie Proteinsynthese, synthetische Biologie mit nicht-natürlichen Aminosäuren
- Entwicklung neuer hochdurchsatztauglicher Enzymassays und Screeningverfahren
- Stamm- und Parameterscreening in Multifermentersystemen
- Entwicklung von integrierten Fermentationsverfahren für die industrielle Biotechnologie, inkl. Rohstoffaufbereitung und Produktaufarbeitung
- Chemisch-physikalische und biochemische Analytik

### Kontakt



#### apl. Prof. Dr. Steffen Rupp

Abteilungsleiter, stv. Institutsleiter  
Telefon +49 711 970-4045  
steffen.rupp@igb.fraunhofer.de

### Infrastruktur und Geräteausstattung

- Molekularbiologische Laboratorien für Arbeiten nach Sicherheitsstufen L2, S1 und S2 GenTSV
- Microarray-Facility, universelle Microarray-Plattform
- Quantitative Echtzeit-PCR (qRT-PCR LightCycler 480)
- Hochdurchsatz-DNA-Parallelsequenzierung zur Nukleinsäureanalytik (Illumina HiSeq, Roche Junior)
- Proteomics-Facility mit hochauflösenden MS-Technologien (2D-Gelelektrophorese, nano-LC-MALDI-TOF/TOF, HPLC-ESI-MS/MS)
- Fermentationsanlagen für Suspensions- und adhärenzte Zellkulturen bis 10 Liter non-GLP
- Anlagen zur Protein-Aufreinigung
- Multifermentationsanlagen für die Bioprozessentwicklung und Fermenter (bis 40 Liter), S2/L2
- Aufschlussgeräte (Kugelmøhlen, Hochdruck-Autoklav etc.)
- GC-MS/MS, LC-MS/MS, IC, ICP-AES und ICP-MS, akkreditiert über die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH



## PHYSIKALISCHE PROZESSTECHNIK

Die Abteilung Physikalische Prozesstechnik entwickelt verfahrenstechnische Prozesse und Prozesskomponenten, die auf physikalischen oder physikalisch-chemischen Prinzipien beruhen. Unsere Kunden sind Hersteller von Prozesskomponenten, verfahrenstechnische Anlagenbauer, aber auch Anwender aus verschiedenen Industriebereichen wie beispielsweise der Metallverarbeitung, Lebensmittelindustrie, Biotechnologie oder der Versorgung mit Trinkwasser.

### Aktuelle thematische Schwerpunkte

- Wärmespeicherung mit thermo-chemischen Prozessen
- Abtrennung von Feuchte aus Gasen mit Sorptionssystemen
- Integrierte Rückgewinnung flüchtiger Stoffe bei der Trocknung mit überhitztem Dampf
- Rückgewinnung anorganischer Nährstoffe
- Herstellung von Bodenverbesserungssubstraten aus organischen Reststoffen
- Elektrolytische und photolytische Wasseraufbereitung
- Schonende Stabilisierung von Lebensmitteln mit Druckwechseltechnologie (engl. Pressure Change Technology, PCT)
- PCT-Technologie für den effizienten Aufschluss mikrobieller Zellen kombiniert mit Extraktion
- Anwendung elektrischer Felder zur selektiven Stofftrennung
- Mikrowellentechnik für den gezielten und schnellen Energieeintrag

Bei der Anwendung dieser technischen Kompetenzen stellt die Fokussierung auf die Nachhaltigkeit unserer Entwicklungen ein zentrales Qualitätskriterium dar. So werden Primärstoffströme durch Stoffrecycling in Primärqualität substituiert, Verfahrensprozesse für die effiziente Nutzung regenerativ

bereitgestellter elektrischer Energie ertüchtigt oder die Effizienz der Energienutzung gesteigert. Hierdurch ergibt sich direkt auch eine verbesserte Wirtschaftlichkeit der Prozesse, sodass mit unserem Ansatz ökologische und ökonomische Anforderungen gleichermaßen erfüllt werden. Ein Beispiel ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Speicherung von Wärme, die z. B. als Abwärme aus der Verstromung von Biogas bereitgestellt wird. Diese Wärme soll zeitlich und räumlich entkoppelt genutzt werden können, beispielsweise zur Trocknung in der Produktion, zur Versorgung von Gebäuden oder zur Aufkonzentrierung hoch belasteter Prozessabwässer mittels Vakuumverdampfung.

Unsere Leistungen für die Prozess- und Komponentenentwicklung beginnen mit Untersuchungen und Analysen im Labormaßstab und reichen über die Simulation und Modellierung bis hin zur Konstruktion und Systemintegration in industrielle Applikationen. Für die konstruktive Ausarbeitung technischer Lösungen steht uns aktuelle 3D-CAD-Konstruktionssoftware zur Verfügung. Diese ist über eine Datenschnittstelle direkt mit verschiedenen numerischen Simulationsprogrammen verknüpft. Hier verwenden wir vor allem COMSOL MultiPhysics® für die theoretische Modellierung mehrphasiger Prozesse wie dem Verhalten von Feststoffpartikeln in einer Fluidströmung sowie CST Microwave Studio für die Berechnung von elektromagnetischen Feldern in Räumen und die Auslegung von Antennen zu deren Erzeugung. Zur Umsetzung der so gewonnenen Erkenntnisse und Konzepte in Demonstratoren stehen uns Werkstätten, Labors und Technika sowie ein Netzwerk von Industriepartnern zur Verfügung.

In der Abteilung arbeiten Wissenschaftler unterschiedlicher Fachrichtungen wie Verfahrenstechnik, Chemieingenieurwesen, Lebensmittelchemie, Konstruktion und Elektrotechnik



zusammen und bilden interdisziplinäre Projektteams. Diese werden, je nach Aufgabenstellung im Projekt, um synergetische Kompetenzen aus anderen Abteilungen des Fraunhofer IGB, beispielsweise aus der Mikrobiologie und Bioverfahrenstechnik, oder aber auch anderer Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und verbundener Universitäten ergänzt.

### Leistungsangebot

- Prozessentwicklung durch ein interdisziplinäres Team aus den Bereichen Verfahrenstechnik, Maschinenbau, Chemie und Elektrotechnik
- Spezifizierung der Anlagentechnik inklusive der Automatisierung bis hin zum industriellen Prototypen
- Machbarkeitsstudien und Voruntersuchungen im Labor- und Technikumsmaßstab

### Infrastruktur und Geräteausstattung

- Laboranlagen für die Analyse, Parametrisierung, Evaluierung und Demonstration der Aufbereitung von industriellen Prozesswässern
- Technikumsanlagen für Oxidationsverfahren (Advanced Oxidation Processes, AOP) wie elektrophysikalische Fällung, Ozon, Wasserstoffperoxid, photolytische UV-Strahlung, anodische Oxidation (direkt/indirekt), Kathodenreaktionen
- Mobile Technikumsanlagen für Untersuchungen und Demonstration der Machbarkeit vor Ort, beispielsweise für die Trocknung mit überhitztem Dampf oder die Wasseraufbereitung
- Konstruktions- und Simulationssoftware (u. a. SolidWorks, CST Microwave Studio, COMSOL MultiPhysics®, Design-Expert Workstation)

### Kontakt



**Dipl.-Ing. Siegfried Egner**

Abteilungsleiter

Telefon +49 711 970-3643

siegfried.egner@igb.fraunhofer.de



## UMWELTBIOTECHNOLOGIE UND BIOVERFAHRENSTECHNIK

Die Schwerpunkte der Abteilung liegen in der Entwicklung (bio-)verfahrenstechnischer Prozesse in den Bereichen Wasser- management, Bioenergie, Umwelttechnik, Algentechnologie, Produktgewinnung aus organischen Roh- und Reststoffen sowie der Grenzflächenbiologie. Im Mittelpunkt stehen neue Ansätze zur Entwicklung von Systemkonzepten für das Energie-, Abfall- und Wassermanagement in Industrie und Kommunen. Neben aeroben und anaeroben Methoden zur Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung werden auch Hybridverfahren eingesetzt. Organische Reststoffe wie Biomüll oder Klärschlamm behandeln wir bevorzugt anaerob, da sich dabei Biogas als regenerativer Energieträger wirtschaftlich gewinnen lässt. Höchste Effizienz erreichen wir über die Integration mehrerer Schritte zur Etablierung kurzer Prozessketten.

Die Prozessauslegung erfolgt immer auf Basis der mikrobiologischen bzw. verfahrenstechnischen Grundlagen wie beispielsweise der Wachstums- und Abbaukinetik der jeweiligen Organismen und reicht von der Planung, Inbetriebnahme und Optimierung von Labor- und Technikumsanlagen bis hin zu Planung, Bau, Inbetriebnahme und Optimierung innovativer Demonstrationsanlagen in Kooperation mit unseren Industriepartnern. Im Bereich Umwelttechnik stehen Verfahren und spezielle Reaktoren zur Reinigung von industriellen Abwässern, Abluft und kontaminierten Böden zur Verfügung. Speziell für die Gewinnung von Metallen aus Prozesswässern und Abfällen setzen wir Bioleaching, -sorption oder -fällung ein.

In der Algentechnologie nutzen wir Mikroalgen als natürliche und nachhaltige aquatische Rohstoffquelle, die eine Vielzahl von hochwertigen Stoffen wie beispielsweise Omega-3-Fettsäuren, Pigmente, Proteine u. a. für die Lebensmittel-,

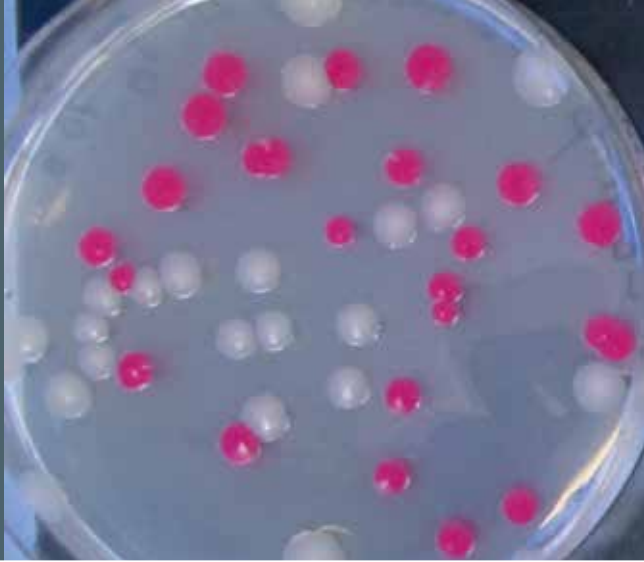
Futtermittel- und Kosmetikindustrie liefert. Für die energetische Nutzung können zudem gezielt Öl und Stärke aus Mikroalgen produziert werden. Für die Valorisierung der Inhaltsstoffe entwickeln wir neue Bioraffineriekonzepte.

Für die ressourcenschonende Produktion in Unternehmen (Ultraeffizienzfabrik) entwickeln wir robuste verfahrenstechnische Konzepte und Prozesse, u. a. zur Herstellung von Basischemikalien wie Methan, Ethanol und Methanol, die energetisch oder stofflich genutzt werden können. Bei der Bioprozessentwicklung spielt die Rückhaltung oder Immobilisierung von Biokatalysatoren eine bedeutende Rolle. Alleinstellungsmerkmal der Abteilung ist die intelligente Verknüpfung von Prozessschritten der mechanischen, thermischen und chemischen Verfahrenstechnik (inkl. Aufarbeitungstechnik) mit Bioprozessen unter Verwendung von Modellierungs- und Simulationsmethoden.

In der Grenzflächenbiologie charakterisieren wir mikrobielle Belastungen auf Oberflächen und in prozessberührten Medien (Biofilmbildung) sowie antimikrobielle Ausrüstungen und entwickeln dazu entsprechende Testverfahren. Biosensoren setzen wir für die Echtzeit-Überwachung von Wassersystemen zur Detektion von Verunreinigungen ein.

Die Abteilung ist damit in der Lage, den gesellschaftlichen Herausforderungen wie Klimawandel, Energiebereitstellung und Wasserknappheit mit nachhaltigen Technikoptionen zu begegnen und so der Industrie, den Kommunen und der Politik zu helfen, die Zukunft zu gestalten. Mit unseren Kompetenzen bedienen wir gemeinsam mit anderen Abteilungen des Fraunhofer IGB die Geschäftsfelder Chemie, Umwelt und Energie.





## Leistungsangebot

- Entwicklung von regionalen Systemkonzepten für das Energie-, Abfall- und Wassermanagement
- Konzepte zur ressourcenschonenden Produktion in Unternehmen – Ultraeffizienzfabrik
- Methoden der Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung für Industrie und Kommunen
- Verfahrenstechnische Reinigungsprozesse für industrielle Abwässer
- Entwicklung von Verwertungskonzepten für anorganische und organische Reststoffe
- Verfahren zur Vergärung verschiedener organischer Substrate zu Biogas in unterschiedlichen Temperaturbereichen
- Aerobe und anaerobe Tests zur Abbaubarkeit von organischen Inhaltsstoffen
- Gärtests nach VDI 4630
- Entwicklung photoautotropher Prozesse für Mikroalgen in Photobioreaktoren inklusive Prozesssteuerung und -automatisierung
- Entwicklung heterotropher Prozesse für Mikroalgen
- Biotransformation von nachwachsenden Rohstoffen und industriellen Reststoffen zu Basischemikalien und Energieträgern (Methanol, Ethanol etc.)
- Produktaufarbeitung, z. B. mit Membranverfahren, Flüssig-Flüssig-Extraktion und Extraktion mit überkritischen Medien
- Charakterisierung mikrobieller Belastungen auf Oberflächen und in prozessberührten Medien einschließlich Testentwicklung
- Entwicklung von Echtzeit-Verfahren zur Überwachung von Wassersystemen hinsichtlich Verunreinigungen
- Bioleaching, Biosorption, Biofällung zur Gewinnung von Metallen aus Prozesswässern und Abfällen
- Modellierung von Prozessen, Simulation von Prozesslinien
- Nachhaltigkeitsbewertungen begleitend zu Produkt- und Verfahrensentwicklungen unter Einbindung von Stakeholdern

## Kontakt



### Dr.-Ing. Ursula Schließmann

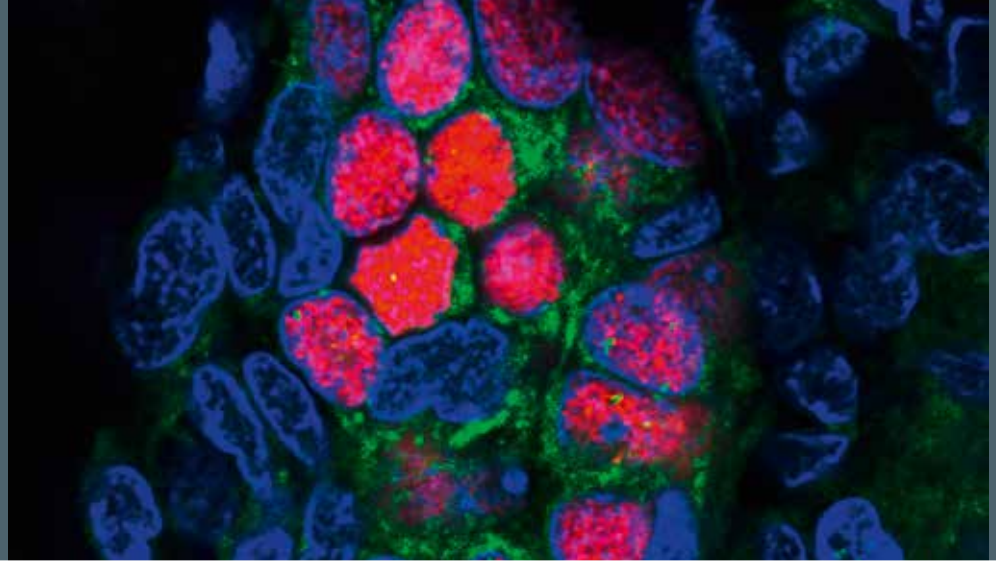
Abteilungsleiterin

Telefon +49 711 970-4222

ursula.schliessmann@igb.fraunhofer.de

## Infrastruktur und Geräteausstattung

- Technikum für Umwelt- und Bioverfahrenstechnik
- Bioreaktoren im Labor-, Pilot- und technischen Maßstab
- Analytik der Substrate und Fermentationsprodukte, Proteinanalytik, Online-Massenspektrometrie
- Mobile Pilotanlagen im Kubikmeter-Maßstab zur Ermittlung von Auslegungsdaten für innovative Demonstrationsanlagen
- Demonstrations- und Referenzanlagen für anaerobe und aerobe Abwasserreinigung, Hochlastfaulung, Bioenergie, Algentechnik
- Demonstrationsstandorte Knittlingen und Heidelberg-Neurott (Abwasserreinigung) und Franca, Brasilien (Bioenergie), Fraunhofer IGB und CBP (Algenkultivierung)
- Photobioreaktoren mit Steuerungs- und Automatisierungskonzepten für Labor, Freiland und Gewächshaus
- Testanlagen für verschiedene Membranverfahren
- Ausstattung und behördliche Zulassung für den Umgang mit pathogenen Organismen
- Testapparaturen für antimikrobiell ausgerüstete Materialien
- Anlagen für den Zellaufschluss und die Extraktion mit Lösemitteln oder überkritischen Fluiden
- GIS-Anwendungen mit der Software ESRI ARC-INFO und Prozesssimulation und -automatisierung (Mat-Lab, Siemens-Programmierung)



## ZELL- UND TISSUE ENGINEERING

Ein Schwerpunkt der Abteilung Zell- und Tissue Engineering ist die Entwicklung funktioneller dreidimensionaler In-vitro-Gewebemodelle aus isolierten, primären und Stammzell-abgeleiteten humanen Zellen entsprechend den Richtlinien nach GLP (Good Laboratory Practice) oder GMP (Good Manufacturing Practice). Wir optimieren die Modelle für den Einsatz in der regenerativen Medizin, für das Tissue Engineering und die Entwicklung von Medizinprodukten sowie für die zellbasierte Untersuchung der Biokompatibilität oder Stammzellvermehrung und -differenzierung.

Um die Eigenschaften humaner pluripotenter (embryonaler (ES) und induziert-pluripotenter (iPS) Stammzellen) sowie adulter Stammzellen aufrechterhalten und ihre Differenzierung steuern zu können, setzen wir unser Augenmerk zudem auf die Entwicklung hierfür geeigneter Biomaterialien. Für die effektive Isolierung von Reinkulturen aus Geweben, insbesondere von adulten Stammzellen, entwickeln wir biologisierte mikro- oder nanostrukturierte Materialoberflächen. Die physiologische Kultivierung der 3D-Gewebemodelle gelingt mit eigens für das jeweilige Gewebe oder Organ entwickelten, computergesteuerten Bioreaktorsystemen, welche die biophysikalischen Charakteristika der jeweiligen In-vivo-Umgebung nachstellen.

Die Analyse von Zellen und Geweben hat sich zu einer weiteren Kernkompetenz der Abteilung entwickelt. Im Fokus steht die Sterilitätsprüfung und Qualitätskontrolle zellbasierter Implantate. Bisher ist dies ein aufwendiger und invasiver Prozess, der stets zwei Exemplare erfordert: eines zur Prüfung (das dabei unbrauchbar wird) und eines zur Implantation. Basierend auf der Raman-Mikrospektroskopie und der Multiphotonen-induzierten Mikroskopie haben wir nicht-invasive Untersuchungsmethoden zur Zell- und Gewebeanalyse etabliert. Diese sparen nicht nur Kosten, sondern erhöhen auch die Sicherheit der Implantate.

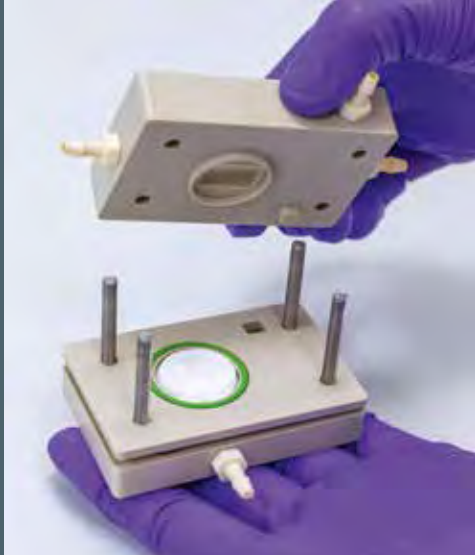
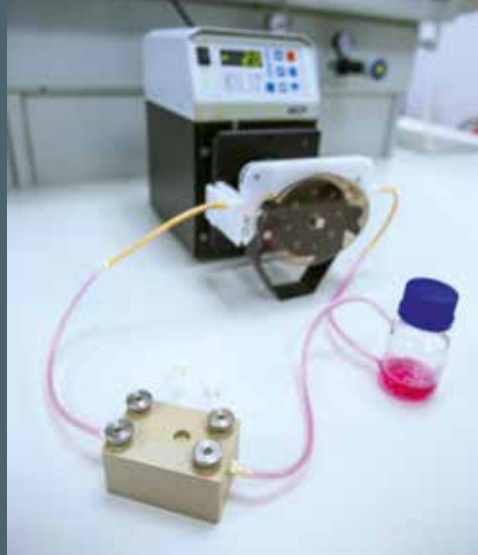
Das am Fraunhofer IGB entwickelte und patentierte humane 3D-Hautäquivalent (EP 1 290 145B1) kann um weitere Zelltypen, beispielsweise Melanozyten oder Tumorzellen, erweitert werden. Es eignet sich – als Vorstufe oder Ersatz zum Tierversuch – auch für Untersuchungen der Penetration und der Verteilung von Testsubstanzen. Weiterhin können Fragestellungen zu Differenzierung und Zelltod, aber auch zu Tumorentstehung und -promotion untersucht werden.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung kardiovaskulärer Implantate, regenerativer Therapien und In-vitro-Testgewebe. Da sich die Zellen des kardiovaskulären Systems, beispielsweise im Herzmuskel nach einem Infarkt oder in defekten Herzklappen, im erwachsenen Organismus nicht regenerieren können, kommen im kardiovaskulären Tissue Engineering vor allem humane ES- und iPS-Zellen zum Einsatz. Den Zugang zu GMP-iPS-Zellen ermöglicht uns die enge Zusammenarbeit mit der Medizinisch-Kardiologischen Abteilung der University of California Los Angeles, USA. Ebenso finden präklinische In-vivo-Studien unserer Tissue-Engineering-Systeme über diese Kooperation statt.

In Kooperation mit dem Department für Frauengesundheit der Universitätsklinik Tübingen etablieren wir zudem biofunktionelle Implantate, regenerative Therapien, Medizinprodukte und 3D-In-vitro-Testsysteme für die Bereiche Frauengesundheit und seltene Erkrankungen.

### Kompetenzen

- Isolierung und Kultivierung primärer Zellen aus verschiedenen Geweben und Spezies nach GLP-/GMP-Richtlinien
  - Haut inklusive Hauttumore
  - Kardiovaskuläre Gewebe
  - Gewebe des Urogenitaltrakts



- Biomaterialentwicklung
  - Mikro- oder nanostrukturierte Materialoberflächen
  - Synthetische Materialien
  - Humane rekombinante, gewebespezifische extrazelluläre Matrixproteine
  - Biologisierte Hybrid-Biomaterialien
- Gewinnung gewebespezifischer Zellen aus Stammzellen
- Konstruktion gewebespezifischer, computergesteuerter Bioreaktoren
- Etablierung von Methoden zur zerstörungsfreien Zell- und Gewebecharakterisierung mittels Raman-Mikrospektroskopie und Multiphotonen-induzierter Mikroskopie

Parameter, die maßgeblich pharmakokinetische und toxikologische Eigenschaften von Wirkstoffen charakterisieren und daher in der Medikamentenentwicklung überprüft werden müssen – bezeichnet als ADMET (Absorption, Distribution, Metabolismus, Exkretion und Toxizität) – können wir mithilfe unserer humanen Testsysteme untersuchen. Die Aussagen, die wir hiermit erzielen, sind direkt auf den menschlichen Organismus übertragbar. Ein Großteil der Tierversuche kann damit verringert und sogar potenziell ersetzt werden.

Ziel ist ebenso, unsere komplexen Gewebe als individualisierbare Testsysteme und Implantate in der regenerativen Medizin einzusetzen. In unserer GMP-Einheit bieten wir die Verfahrensentwicklung und Musterherstellung autologer Implantate (ATMPs, Advanced Therapy Medicinal Products) an. Zunächst erfolgt die Etablierung und Verifizierung des Verfahrens zur Herstellung des ATMP, danach die Anpassung an arzneimittelrechtliche Vorgaben und abschließend die Beantragung der Herstellungserlaubnis für die Durchführung klinischer Studien.

#### Leistungsangebot

- Zellkulturtechnik von primären humanen Zellen und Säugerzelllinien
  - In-vitro-Testung der Zytotoxizität nach DIN ISO 10993-5
  - In-vitro-Testung der Phototoxizität nach OECD-Richtlinie 432 und INVITTOX-Protokoll Nr. 121

#### Kontakt



#### Prof. Dr. rer. nat. Katja Schenke-Layland

Abteilungsleiterin,  
kommissarische Institutsleiterin  
Telefon +49 711 970-4082  
katja.schenke-layland@igb.fraunhofer.de



#### Prof. Dr. rer. nat. Petra Kluger

Abteilungsleiterin  
Telefon +49 711 970-4072  
petra.kluger@igb.fraunhofer.de

- Zellbiologische Analytik
  - Molekularbiologische, (immun-)histologische Methoden
  - Durchflusszytometrie (FACS)
  - Raman-Mikrospektroskopie und Multiphotonen-induzierte Mikroskopie
- Etablierung diverser 3D-Gewebemodelle
  - Kosmetika-Entwicklung – Alternativen zum Tierversuch
  - ADMET-Untersuchungen zum Wirkstoff-Screening
  - Target-Screening: Therapeutika und Infektionsbiologie
  - Organ-on-a-Chip
- Verfahrensentwicklung, Herstellung und Prüfung von Zelltherapeutika und Implantaten (ATMPs) für klinische Studien der Phase I und II

#### Infrastruktur und Geräteausstattung

- Zellkulturlabore: Sicherheitsstufen S1 und S2 GenTSV
- Konfokale Fluoreszenz- und Multiphotonenmikroskop-Systeme, Raman-Mikrospektroskopie-System, FACS und Laser-Mikrodissektions-Anlage
- GMP-Herstellungsbereich (Reinräume, separate Qualitätskontrolle, Lager)



## FRAUNHOFER-ZENTRUM FÜR CHEMISCH-BIOTECHNOLOGISCHE PROZESSE CBP

Das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP in Leuna schließt die Lücke zwischen Labor und industrieller Umsetzung. Durch die Bereitstellung von Infrastruktur und Technikums-/Miniplant-Anlagen ermöglicht das Fraunhofer CBP Kooperationspartnern aus Forschung und Industrie die Entwicklung und Skalierung von biotechnologischen und chemischen Prozessen bis zum industriellen Maßstab.

Auf mehr als 2000 m<sup>2</sup> Fläche für Anlagen, Technika, Labors, Büro- und Lagerräume steht eine einmalige Plattform zur Entwicklung neuer Verfahren bis in produktrelevante Dimensionen mit direkter Anbindung an die chemische Industrie einerseits und die Fraunhofer-Forschung andererseits zur Verfügung. Nach Ablauf der fünfjährigen Anschubfinanzierung und erfolgreicher Evaluierung im Jahr 2014 wurde die Projektgruppe zu einem dauerhaften Institutsteil des Fraunhofer IGB.

Im Rahmen von Verbundprojekten mit Partnern aus Industrie, Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen werden folgende Forschungsschwerpunkte verfolgt:

- Gewinnung hochwertiger Extraktstoffe aus biogenen Roh- und Reststoffen
- Aufschluss von Lignocellulose, Trennung und stoffliche Nutzung der Komponenten
- Prozessentwicklung zur Darstellung neuer technischer Enzyme
- Funktionalisierung pflanzlicher Öle, z. B. biotechnologische Epoxidierung und  $\omega$ -Funktionalisierung
- Herstellung biobasierter Alkohole, Säuren und Olefine durch Fermentation und chemische Verfahren
- Kultivierung von Mikroalgen zur Gewinnung hochwertiger Inhaltsstoffe

Das Fraunhofer CBP setzt seinen Fokus auf die Entwicklung nachhaltiger Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette zur Herstellung von Produkten auf der Basis nachwachsender Rohstoffe. Ziel ist die integrierte und kaskadenartige, stofflich-energetische Nutzung möglichst aller Inhaltsstoffe pflanzlicher Biomasse nach dem Prinzip einer Bioraffinerie.

Die Entwicklung der Verfahren zielt auf folgende Schwerpunkte:

- Nutzung des Kohlenstoffsynthesepotenzials der Natur
- Energie- und Ressourceneffizienz der entwickelten Prozesse
- Minimierung von Abfallströmen
- Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Stoffliche Nutzung von Pflanzen, die nicht zur Nahrungs- oder Futtermittelproduktion geeignet sind
- Integration der entwickelten Prozesse in bereits bestehende Systeme, beispielsweise zur Gewinnung von Biogas aus Restbiomasse

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen können die Übertragung der neuen Technologien für die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe vom Labor in industriell relevante Größenordnungen aus eigener Kraft kaum leisten. Das Fraunhofer CBP bietet mit den verfügbaren Technikums- und Miniplant-Anlagen hierzu eine exzellente Entwicklungsplattform. Diese kann selbstverständlich ebenso für die Weiterentwicklung bestehender Prozesse genutzt werden.





### Leistungsangebot

Das Fraunhofer CBP stellt modular einsetzbare Prozesskapazitäten zur Lösung verfahrenstechnischer Fragestellungen bis 10 m<sup>3</sup> Reaktorvolumen und kontinuierliche Anlagen mit Durchsätzen bis 20 kg/h auch unter hohen Prozessdrücken sowie verschiedenste Aufbereitungs- und Aufarbeitungstechniken bereit. Mit diesem flexibel einsetzbaren Konzept können verschiedene Rohstoffe wie pflanzliche Öle, Lignocellulose, Stärke oder Zucker, aber auch petrochemische Stoffströme oder Reststoffe aufbereitet und zu chemischen Produkten umgesetzt werden.

### Infrastruktur und Geräteausstattung

- Aufschluss und Komponententrennung von Lignocellulose unter Verwendung organischer Lösungsmittel mit einer Kapazität von 1 Tonne Biomasse/Woche
- Fermentationskapazitäten von 10/100/300/1000 und 10 000 Litern und Ausstattung für die Aufarbeitung der Fermentationsprodukte (Downstream Processing)
- Automatisierte Mikroalgen-Pilotanlage mit einer Gesamtkapazität von 11,7 m<sup>3</sup> Photobioreaktorvolumen in Gewächshaus und Freiland
- Enzymreaktoren bis 1000 Liter
- Verschiedene Prozesseinheiten für chemische Reaktionen unter ATEX-Bedingungen (kontinuierlich bis 20 kg/h, diskontinuierlich bis 100 Liter bei Temperaturen bis zu 500 °C und Drücken bis 300 bar)
- Mechanische und thermische Trennverfahren (inkl. Hochtemperaturrektifikation bis 350 °C bei reduzierten Drücken und Extraktion mit l-Propan und sc-CO<sub>2</sub>), ebenfalls unter ATEX-Bedingungen

### Kontakt

#### Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP

Am Haupttor | Tor 12, Bau 1251

06237 Leuna

Fax +49 3461 43-9199 | [www.cbp.fraunhofer.de](http://www.cbp.fraunhofer.de)



#### Dipl.-Chem. (FH) Gerd Unkelbach

Leiter des Fraunhofer CBP

Telefon +49 3461 43-9101

[gerd.unkelbach@cbp.fraunhofer.de](mailto:gerd.unkelbach@cbp.fraunhofer.de)



#### Dr.-Ing. Katja Patzsch

Gruppenleiterin Biotechnologische Verfahren

Telefon +49 3461 43-9104

[katja.patzsch@cbp.fraunhofer.de](mailto:katja.patzsch@cbp.fraunhofer.de)



#### Dr. rer. nat. Moritz Leschinsky

Gruppenleiter Vorbehandlung und Fraktionierung nachwachsender Rohstoffe

Telefon +49 3461 43-9102

[moritz.leschinsky@cbp.fraunhofer.de](mailto:moritz.leschinsky@cbp.fraunhofer.de)



#### Dr. rer. nat. Daniela Pufky-Heinrich

Gruppenleiterin Chemische Verfahren

Telefon +49 3461 43-9103

[daniela.pufky-heinrich@cbp.fraunhofer.de](mailto:daniela.pufky-heinrich@cbp.fraunhofer.de)



## BIO-, ELEKTRO- UND CHEMOKATALYSE BIOCAT, INSTITUTSTEIL STRAUBING

Im Fokus des Straubinger Institutsteils »Bio-, Elektro- und Chemokatalyse BioCat« stehen die Entwicklung neuer chemischer Katalysatoren und Biokatalysatoren und deren Anwendung in technisch-synthetischen und elektrochemischen Verfahren. Ausgehend von Substraten wie Biomasse, CO<sub>2</sub> sowie Abfallströmen wird das komplette Spektrum der Katalyse genutzt, um nachhaltig und ressourcenschonend neue chemische Produkte herzustellen. Hierbei kommen die homogene und heterogene chemische Katalyse, die enzymatische und Ganzzellkatalyse und die Elektrokatalyse sowie insbesondere Kombinationen daraus zum Einsatz. Bei der Nutzung pflanzlicher Biomasse ist es das Ziel, die stoffliche Vielfalt biobasierter Moleküle sinnvoll zu nutzen und das Potenzial von chemischer Katalyse und Biokatalyse auszuschöpfen, um eine schonende Umwandlung unter Erhalt wichtiger Funktionalitäten zu erreichen. Erfolgreiche Beispiele unserer Arbeiten dafür sind die Umwandlung von Terpenen, die als Reststoffe der Holzverarbeitung gewonnenen werden, zu Biotensiden, biobasierten Epoxiden oder Monomeren für besonders schlagfeste, kältestabile Polyamide. Weitere verwertete Stoffströme sind pflanzliche Öle und Fettsäuren, Lignin und stickstoffhaltige Zucker, die beispielsweise zu funktionalisierten Carbonsäuren, leitfähigen Polymeren, Monomeren für Polyester sowie Hydrokolloiden umgewandelt werden.

Darüber hinaus überträgt BioCat die Expertise der chemischen Katalyse auf mineralische Reststoffe, um diese als Sekundärrohstoffquelle zu erschließen. Auch bei anorganischen Reststoffen bildet die Vielfalt der meist komplexen Mischungen verschiedener Elemente den Zugang zu neuen Produkten, wobei BioCat hier vor allem die Herstellung neuer Katalysatoren und die Bereitstellung von Rohstoffen für die Industrie im

Blick hat. Die Kombination von Chemie und Biotechnologie eröffnet BioCat auch in diesem Thema die Möglichkeit, neue energie- und rohstoffeffiziente Prozesse zu entwickeln.

Daneben erarbeitet die Gruppe neue Verfahren, um elektrische Energie durch Bindung und Umwandlung von CO<sub>2</sub> in chemische Energiespeicher zu nutzen. Diese werden Unternehmen zum einen zur Produktion von Bulk- und Feinchemikalien bereitgestellt. Zum anderen können sie zur Speicherung regenerativer Energie in Kraftstoffen, etwa in Form längerer Kohlenwasserstoffe, dienen und einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende liefern. Dabei ist eine bestmögliche Wertschöpfung vom Rohstoff zum biobasierten Endprodukt angestrebt.

Der Institutsteil BioCat vereint Biotechnologen, Molekularbiologen und Chemiker, die neben den jeweiligen Fachkenntnissen in Biotechnologie und Chemie über fundierte Kenntnisse im Bereich der biogenen Rohstoffe bzw. Naturstoffe und Reststoffströme verfügen. Durch Bündelung dieser verschiedenen Fachrichtungen ist es neben der fachlichen Beratung möglich, insbesondere Entwicklungsarbeiten in den Bereichen (i) neue Katalysatoren bzw. Optimierung von Katalysatoren und bestehenden Prozessen, (ii) neue Stoffe und (iii) neue Reaktionen Hand in Hand mit Auftraggebern durchzuführen. Die Entwicklungsarbeiten werden vor allem durch bestehende Analytikmethoden gestützt. Dank der eng verknüpften Kompetenz in chemischer Katalyse und Biokatalyse konnte BioCat schon mehrfach erfolgreich etablierte Prozesse der chemischen Industrie bewerten und für den Auftraggeber kostengünstigere bzw. ressourcenschonendere Produktionsalternativen darstellen.



Die Verknappung fossiler Rohstoffquellen sowie die im Zuge des Klimawandels angestrebte Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen stellen Gesellschaft und Wissenschaft vor große Herausforderungen. Da auch die Ressource Biomasse nur begrenzt zur Verfügung steht, setzen wir neben Rest- und Abfallstoffen vor allem auf CO<sub>2</sub> als wesentliche Kohlenstoffquelle – und verbinden so die Notwendigkeit der CO<sub>2</sub>-Reduktion mit stofflicher Wertschöpfung. Die Entwicklung der hierzu notwendigen, neuen Generation von Katalysatoren und Verfahren, möchte die Arbeitsgruppe BioCat, auch vor dem Hintergrund einer »nachhaltigen Chemie«, beschleunigen und entscheidend prägen.

Hierzu arbeitet BioCat eng mit der TU München, den Abteilungen des Fraunhofer IGB und dem Institutsteil Sulzbach-Rosenberg des Fraunhofer UMSICHT zusammen. In gemeinsamen Projekten werden Themen zur Umwandlung nachwachsender Rohstoffe und Speicherung elektrischer Energie in Kohlenwasserstoffen behandelt.

### Leistungsangebot

- Screening von Bio- und Chemokatalysatoren
- Molekularbiologische und technische Optimierung von Enzymen und Enzymreaktionen
- Synthese von Feinchemikalien
- Entwicklung von Verfahren zur Reststoffverwertung
- Entwicklung von Verfahren zur Integration der Nutzung nachwachsender Rohstoffe in bereits bestehende Prozesse
- Studien im Bereich nachwachsender Rohstoffe
- Hochauflösende NMR-Analytik (400 MHz) in Lösung zur Molekülstrukturaufklärung, Reaktionsverfolgung, Tieftemperaturanalytik, Methodenentwicklung
- Elektroanalytische Methoden (z. B. Cyklovoltammetrie, Chronoamperometrie, elektrochemische Impedanzspektroskopie)

### Kontakt

#### Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB Bio-, Elektro- und Chemokatalyse BioCat, Institutsteil Straubing

Schulgasse 11a | 94315 Straubing

Fax +49 9421 187-310 | [www.biocat.fraunhofer.de](http://www.biocat.fraunhofer.de)



#### Prof. Dr. rer. nat. Volker Sieber

Leiter BioCat

Telefon +49 9421 187-300

[volker.sieber@igb.fraunhofer.de](mailto:volker.sieber@igb.fraunhofer.de)



#### Dr. rer. nat. Michael Hofer

Stv. Leiter BioCat

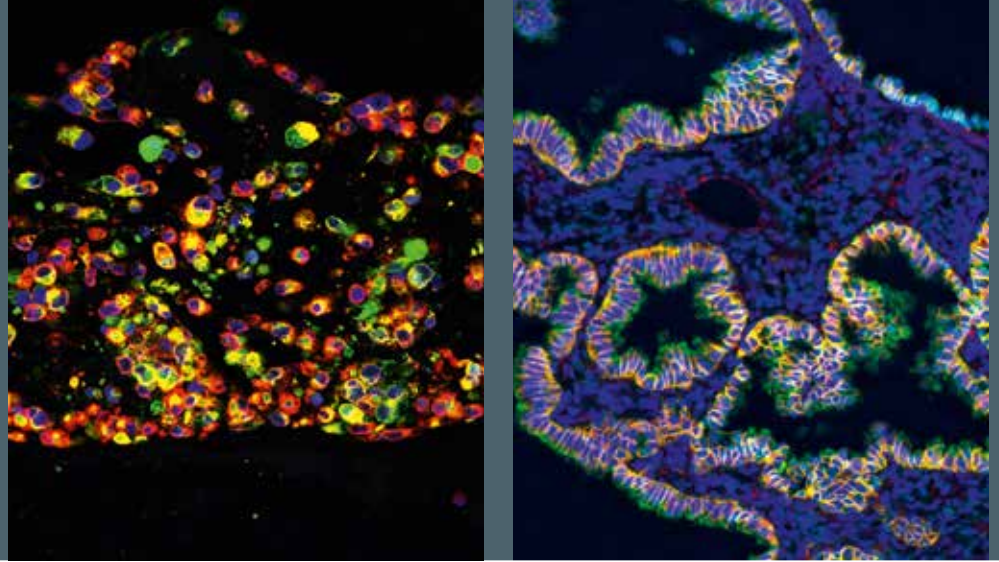
Telefon +49 9421 187-354

[michael.hofer@igb.fraunhofer.de](mailto:michael.hofer@igb.fraunhofer.de)

### Infrastruktur und Geräteausstattung

- Autoklavenstation mit mehreren Parallelreaktoren im Labormaßstab (Material: Hastelloy C22, Volumen: 100 mL/Reaktor, Druck: bis 300 bar, Temperatur: bis 400 °C)
- Verschiedene Fermenter bis 40 Liter
- Automatisierungsplattform für Hochdurchsatzmethoden
- Analytik: GC-MS, LC-MS, HPLC und FT-IR mit Online-Sonde
- 400-MHz-NMR-Spektrometer





## TRANSLATIONSZENTRUM »REGENERATIVE THERAPIEN«, INSTITUTSTEIL WÜRZBURG

Vor dem Hintergrund steigender Lebenserwartung, höheren Gesundheitsbewusstseins und wachsenden Kostendrucks im Gesundheitswesen gewinnen die regenerative Medizin und die Entwicklung innovativer Materialien eine Schlüsselrolle. Im Würzburger Translationszentrum werden Medizinprodukte und Therapieverfahren auf der Grundlage innovativer Materialien und zellbasierter Therapien entwickelt. Unsere Kompetenzfelder sind darauf fokussiert, den Transfer neuer Materialien oder zellbasierter regenerativer Therapien zur individualisierten Patientenversorgung zügig in die medizinische Anwendung zu bringen.

Durch den Aufbau eines interdisziplinären Netzwerkes kann in Würzburg die komplette Wertschöpfungskette abgedeckt werden – von der Biomaterialentwicklung und der Auslegung und Herstellung von Bioreaktoren, über In-vitro-Testsysteme (als Alternativen zu Tierversuchen) bis hin zur therapiebegleitenden Diagnostik (Theranostik) und zur Zulassung zellbasierter Implantate und (biologischer) Medizinprodukte. Ferner ist eine langjährige Expertise für zulassungsrelevante Tiermodelle sowie die Durchführung (prä-)klinischer Studien vorhanden.

Innovative Produkte für den therapeutischen Einsatz im oder am Menschen unterliegen komplexen regulatorischen Anforderungen. Wir beraten und unterstützen bei der Planung und Durchführung von präklinischen und klinischen Studien. Zusammen mit der Zentrale für Klinische Studien (ZKS) Würzburg erarbeiten wir Strategien, die eine Durchführung der präklinischen und klinischen Prüfung nach international anerkannten Qualitätsstandards gewährleistet (GLP, GCP).

Ein Alleinstellungsmerkmal des Würzburger IGB-Teams ist die vaskularisierte Trägerstruktur BioVaSc (BioVaSc-TERM®) zur Herstellung von Implantaten, die während einer Implantation an das Blutkreislaufsystem angeschlossen werden kann. Zur Marke angemeldete Gewebemodelle sind Modelle der menschlichen Haut (SkinVaSc-TERM®), Darm (GutVaSc-TERM®), Trachea (TraVaSc-TERM®), Lunge (LunVaSc-TERM®). Die BioVaSc-Technologie wurde auf die Dezellularisierung anderer Organe wie Lunge oder Herz transferiert, auch, um gewebespezifische Proteine zu isolieren. Die erhaltenen ECM-Proteine können mit Polymeren direkt für die Herstellung der Trägerstrukturen der Implantate gemischt oder für die Modifikation und Biologisierung von Implantatoberflächen genutzt werden.

Im Translationszentrum Würzburg entwickeln wir mit Methoden des Tissue Engineerings humane 3D-In-vitro-Testsysteme, die als Alternativen zu Tierversuchen eingesetzt werden, da Daten tierexperimenteller Studien die Situation im humanen Organismus oftmals nicht widerspiegeln. Hierbei fokussieren wir uns u.a. auf die menschlichen Barrieren wie Haut, Atemwege und Verdauungstrakt und bilden mit unseren Gewebemodellen sowohl gesundes als auch erkranktes Gewebe ab. Wir simulieren mit den Gewebemodellen Wechselwirkungen von Medizinprodukten, z. B. Stents, mit dem menschlichen Organismus, um so die Oberflächen der Implantate zu optimieren. Weiterhin werden die humanen Testsysteme zur Risikoabschätzung biologischer Substanzen und synthetischer Materialien, in der Onkologie und für Infektionsstudien, insbesondere mit human obligaten Krankheitserregern, eingesetzt. Das neue Graduiertenkolleg »3D Infect« wird an der Universität Würzburg gemeinsam mit dem Würzburger Institutsteil des Fraunhofer IGB aufgebaut (Seite 24).



Die Arbeiten im Bereich »Theranostik« konzentrieren sich auf die Entwicklung der Produkte, die eine hocheffiziente und eine personalisierte therapiebegleitende In-vitro-Diagnostik ermöglichen oder sogar die Diagnose mit einer Therapie in situ kombinieren. Im Bereich Bioreaktoren wird eine Plattform für Anwendungen im Tissue Engineering, der regenerativen Medizin und der extrakorporalen Erhaltung von Organen und Geweben entwickelt. Eine grundlegende Spezifikation unseres Systems ist, dass die Bioreaktorplattform für einen großen Benutzerkreis in FuE und Industrie anwendbar ist.

#### Leistungsangebot

- Herstellung und biochemische Modifikation von 3D-Trägerstrukturen für das Tissue Engineering mittels Elektrospinnen und Biofabrication-Verfahren – in Kooperation mit dem fmz
- Optimierung der Kulturbedingungen und der gewebespezifischen Differenzierung von iPS-Zellen
- Aufbau von Gewebemodellen unter Verwendung von iPS- oder primären humanen Zellen
- Isolierung primärer humaner Stamm- und Tumorzellen
- Aufbau von Kokulturen zur Generierung humaner vaskularisierter Gewebemodelle, besonders der menschlichen Barriere-Organen
- Entwicklung von Krankheits- und Infektionsmodellen basierend auf den Gewebemodellen
- Aufbau von Kokulturen zur Generierung humaner solider Tumoren in vitro als Tumortestsysteme
- Entwicklung spezifischer Bioreaktoren, Sensoren und Inkubatoren für das Tissue Engineering
- Entwicklung humaner vaskularisierter (Tumor-)Gewebe zur Optimierung von Medizinprodukten, zur Etablierung individueller Diagnostika und personalisierter Therapien, auch ATMPs
- Zellbiologische Analytik der Tumorgewebe: molekularbiologische, histologische und immunhistologische Methoden, Durchflusszytometrie (FACS)
- Target-Screening für neue Tumor-Therapeutika
- In-silico-Modelle für die Pharmazeutische Industrie

#### Kontakt

**Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB**  
**Translationszentrum »Regenerative Therapien für Krebs- und Muskuloskeletale Erkrankungen«,**  
**Institutsteil Würzburg**

Röntgenring 11 | 97070 Würzburg



**Prof. Dr. hum. biol. Heike Walles**

Telefon +49 931 31-88828

Fax +49 931 31-81068

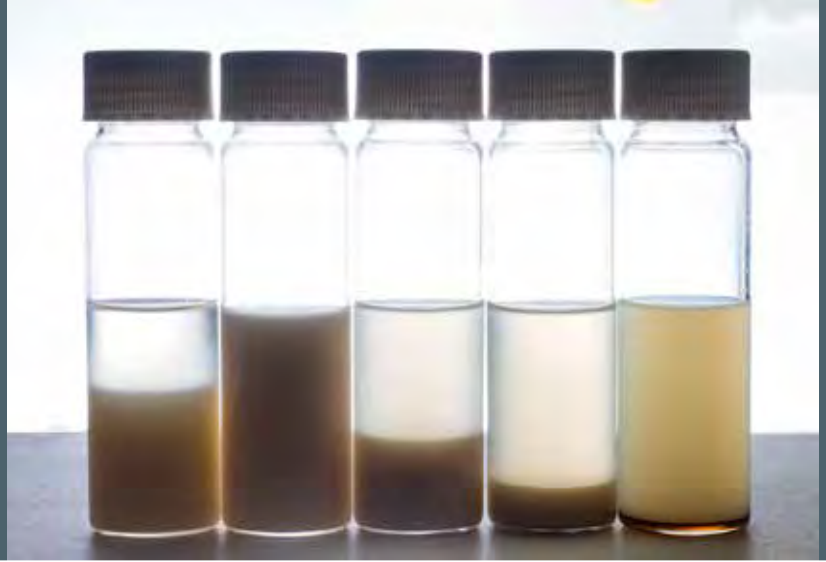
heike.walles@igb.fraunhofer.de

#### Wertschöpfungskette

- Simulation von klinischen Therapieregimen mit der Untersuchung des Wirkprinzips und/oder der Nebenwirkungen eines neuen Wirkstoffkandidaten mittels vaskularisierter humaner Tumor- und Gewebemodellen (Disease-Modelle)
- Einsatz der Gewebemodelle bei der Verfahrensentwicklung zur Optimierung von Wirkstoffen oder Diagnostika
- Durchführung und Validierung von In-vitro-Testungen als Alternative zum Tierversuch am Ende der präklinischen Entwicklungsphase
- Untersuchungen zur Effizienz eines in der Zulassung befindlichen neuen Pharmakons
- Kooperation mit der medizinischen Fakultät Würzburg zur Organisation der klinischen Phasen I–III

#### Infrastruktur und Geräteausstattung

- Zellkulturlabor für Arbeiten nach Sicherheitsstufen S1 und S2 GenTSV
- Präklinische Studieneinheit – in Kooperation mit fmz, DZHi und Universitätsklinikum Würzburg
- Zellanalytik: inverses Fluoreszenzmikroskop, FACS, Mikrodissektionsanlage, Raman-Spektroskopie



## INSTITUT FÜR GRENZFLÄCHENVERFAHRENS- TECHNIK UND PLASMATECHNOLOGIE IGVP

Das Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP gehört zur Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik der Universität Stuttgart. Das Forschungsbudget 2015 betrug 3,22 Mio €. Ende 2015 arbeiteten 92 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon 41 Doktorandinnen und Doktoranden, an den drei Standorten Pfaffenwaldring 31, Allmandring 5b und Nobelstraße 12 (siehe auch Seite 15). Zudem haben 30 Studierende ihre Abschlussarbeit am IGVP angefertigt.

Das Institut gliedert sich fachlich in die von apl. Prof. Dr. Günter Tovar geleitete Abteilung »Grenzflächenverfahrenstechnik« und die Abteilung »Plasma- und Mikrowellentechnik«, welche bis Ende 2015 kommissarisch von Prof. Dr. Thomas Hirth geleitet wurde und seit Jahresbeginn ebenfalls unter der Leitung Tovars steht. Beide Abteilungen bestehen je aus drei Forschungsgruppen. Die Zusammenarbeit des IGVP mit dem Fraunhofer IGB ermöglicht die Durchgängigkeit der Forschung in Projekten von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung. Dies zeigen auch die Fördermittel für das IGVP, dessen Forschung vom BMBF, der DFG, der DBU, der EU, dem Land Baden-Württemberg, Stiftungen und der Industrie finanziert wird. Wichtige Partner sind das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching, das KIT und internationale Partner wie DIFFER in den Niederlanden.

### Forschung und Lehre

Das IGVP widmet sich einerseits der Gestaltung, Funktionalisierung und Charakterisierung von Oberflächen sowie von Bio-, Nano- und Hybridmaterialien und deren Interaktionen. Besonderes Interesse gilt den Wechselwirkungen mit biologischen Grenzflächen, wie sie beispielsweise bei der Infektion von Zellen mit Viren vorkommen, und der Formulierung von

Hydrogelen und Schäumen zu (Bio-)Tinten für additive Fertigungsverfahren. Weitere Schwerpunkte sind die Simulation und Verfahrensentwicklung grenzflächenbestimmter Prozesse, z. B. in der Membran- und Bioverfahrenstechnik.

Im zweiten Bereich stehen die Untersuchung von Niedertemperaturplasmen für die Plasmaaktivierung von Oberflächen und die Abscheidung neuer Schichten sowie die Entwicklung neuer Plasmaquellen und -verfahren im Fokus. Mit der Entwicklung und Anwendung von Mikrowellen für die Heizung und Stabilisierung von Hochtemperaturplasmen und von entsprechenden Übertragungssystemen leistet das Institut Beiträge in der fusionsorientierten Plasmaphysik. Darüber hinaus werden Plasmen hinsichtlich ihrer dynamischen Eigenschaften sowie elektromagnetische Wellen für die Plasmadiagnostik in Experiment und Simulation untersucht.

Schwerpunkte der Lehre liegen bei den Themen Grenzflächenverfahrenstechnik, Infektionsbiologie, Nanotechnologie, industrielle Biotechnologie, Biomaterialien, ressourceneffiziente Prozesse sowie Plasmaphysik und -technologie.

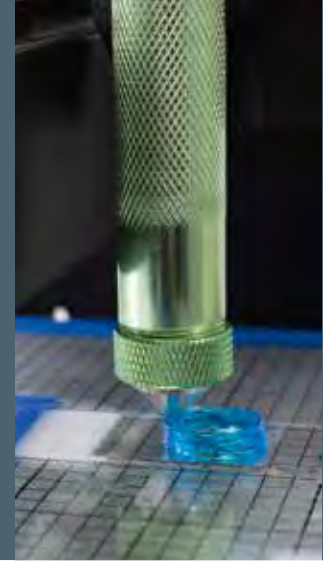
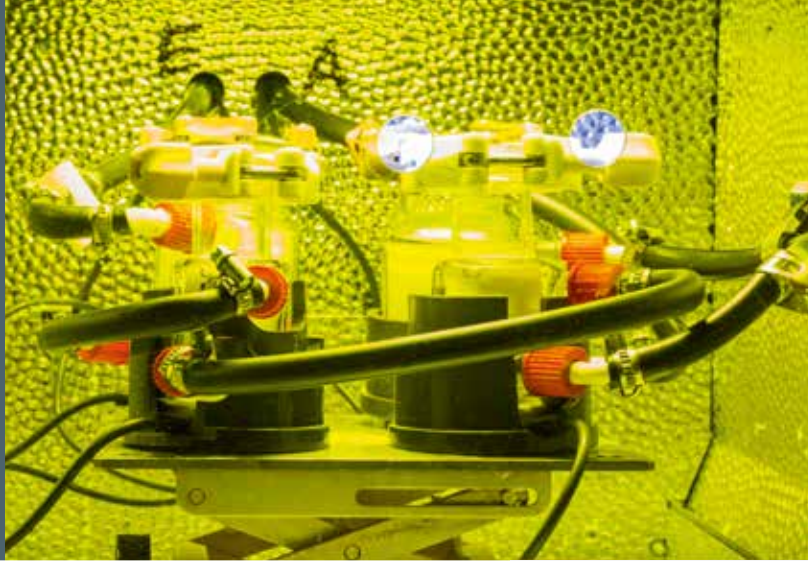
### GRENZFLÄCHENVERFAHRENSTECHNIK

#### Biologisch-medizinische Grenzflächen

Priv.-Doz. Dr. sc. nat. Susanne M. Bailer

- Identifizierung von Biomarkern
- Enzym- und Mikroorganismen-Screening
- Microarray-Technologien
- Wechselwirkungen von Mikroorganismen mit Oberflächen
- Wirt-Pathogen-Interaktionen (Viren, Bakterien, Pilze)
- Virus-basierte Therapien





- Synthetische Biologie
- Entwicklung von zellbasierten Assays und 3D-Gewebe-modellen
- Zellfreie Proteinsynthese

### Chemisch-physikalische Grenzflächen

Dr. rer. nat. Monika Bach

- Bio- und Nanomaterialien und Hydrogele
- Nano- und mikrostrukturierte (bio-)funktionale Oberflächen
- Biomimetische Schichten für Medizin und Biotechnik
- Kern-Schale-Nano- und Mikropartikel
- Grenzflächen- und Oberflächencharakterisierung
- Aufbau von künstlichen Geweben (Bioprinting)

### Grenzflächenverfahrenstechnische Prozesse

Dipl.-Ing. Matthias Stier

- Verfahrensentwicklung für die industrielle Biotechnologie
- Mikroalgen-Produktionsverfahren in Photobioreaktoren
- Wärmespeicherung, Trocknungsverfahren
- Kristallisation und Rückgewinnung von Nährstoffen
- Suspendierte Partikel und Emulsionen in elektrischen Feldern
- Membranentwicklung und Membranverfahren
- Wasseraufbereitung

### PLASMA- UND MIKROWELLENTÉCHNIK

#### Plasmatechnologie

Dr.-Ing. Matthias Walker, Akad. Oberrat

- Entwicklung von Plasmaquellen (Nieder-/Atmosphärendruck)
- Mikroplasmen
- Plasmabeschichtung und Plasmaprozesse für industrielle Anwendungen
- Plasmadiagnostik und Plasmacharakterisierung
- Modellierung und Simulation der Plasmen
- Untersuchungen zur Plasmaphysik und Plasmachemie

#### Mikrowellentechnologie

Dr.-Ing. Walter Kasperek

- Mikrowellenheizung/-diagnostik an Fusionsexperimenten

### Kontakt

#### Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 31 | 70569 Stuttgart

Fax +49 711 970-4006 | [www.igvp.uni-stuttgart.de](http://www.igvp.uni-stuttgart.de)



#### apl. Prof. habil. Dr. rer. nat. Günter Tovar

Institutsleiter (kommissarisch)

Telefon +49 711 970-4109

[gunter.tovar@igvp.uni-stuttgart.de](mailto:gunter.tovar@igvp.uni-stuttgart.de)



#### Dr.-Ing. Matthias Walker, Akademischer Oberrat

Verwaltungsleiter

Telefon +49 711 685-62300

[matthias.walker@igvp.uni-stuttgart.de](mailto:matthias.walker@igvp.uni-stuttgart.de)

- Mikrowellenübertragungssysteme, spezialisierte Antennen
- Modenwandler für überdimensionierte Hohlleiter
- Millimeterwellen-optische Komponenten
- Testen von Komponenten im Mikrowellenbereich
- Reflektometrie mit Millimeterwellen in Fusionsplasmen

#### Plasmadynamik und -diagnostik

Dr. rer. nat. Mirko Ramisch

- Magnetischer Plasmaeinschluss
- Grundlagen der turbulenten Plasmadynamik
- Sondendiagnostik, bildgebende Diagnostik
- Physik des turbulenten Transports
- Strömungs-/Turbulenz-Wechselwirkung
- Wellenphänomene und -typkonversion
- Heizmechanismen mit Mikrowellen

## AUSGEWÄHLTE FORSCHUNGSERGEBNISSE 2015

---



**25** Fraunhofer-interne Projekte

**164** Projekte

**4** Fraunhofer-Leitprojekte

**13** Projekte mit Universitäten und Kommunen oder von Stiftungen gefördert

**30** EU-Projekte

**47** Industrieprojekte

**7** von Bundesländern geförderte Projekte

**42** von Bundesministerien geförderte Projekte



# MEDIZIN

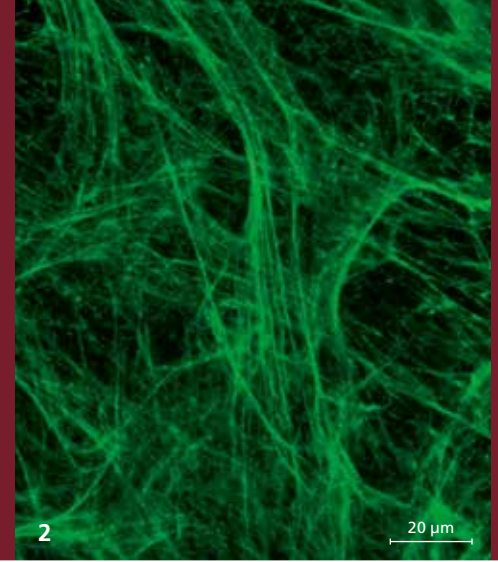
Neue Heilungschancen durch regenerative Medizin, eine schnellere und genauere Diagnostik mittels molekularbiologischer Ansätze und ein abgestimmtes Wechselspiel zwischen biologisiertem Implantat und physiologischem Umfeld sind wissenschaftliche Trends, die die Versorgung im Gesundheitswesen verbessern und Kosten verringern können. Im Geschäftsfeld Medizin erarbeiten wir hierzu in meist disziplinübergreifenden Projekten Lösungen auf Grundlage unserer Kompetenzen Tissue Engineering, Biomaterialien, Immunologie und Infektionsbiologie.

**Regenerative Medizin** – Im Mittelpunkt regenerativer Therapien steht die Entwicklung zellbasierter Therapeutika, autologer Transplantate oder biologisierter Implantate. Das Fraunhofer IGB und der Institutsteil Würzburg mit dem Translationszentrum Regenerative Therapien bilden die gesamte Wertschöpfungskette bis zur GMP-konformen Herstellung von zellbasierten Therapeutika und Implantaten (ATMPs) und, gemeinsam mit einem Ärztenetzwerk, Studien der klinischen Phase I ab. Kontaminationen der Transplantate analysieren wir zerstörungsfrei mit spektroskopischen, zellbasierten und molekularen Methoden nach GLP oder GMP. Einen neuen Ansatz zur Herstellung formstabiler gewebeähnlicher Strukturen (z. B. Knorpel, Fettgewebe) verfolgen wir mit dem 3D-Druck von Zellen auf UV-vernetzbarer Hydrogele.

**Diagnostik** – Neue Strategien zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten sind dringend erforderlich. Hier führt die Kombination von Methoden der funktionellen Genomanalyse mit unserer Expertise in der Zellkulturtechnik und der Infektionsbiologie zu einem Alleinstellungsmerkmal in der Entwicklung von Infektionsmodellen und Diagnostika. Neue diagnostische Verfahren entwickeln wir auf Nukleinsäurebasis (diagnostische Microarrays, Biomarkerentwicklung auf Basis der DNA-Hochdurchsatzsequenzierung) oder mittels zellulärer Reportersysteme (Pyrogen-Assay). Mithilfe dieser Informationen können Maßnahmen für eine spezifische Behandlung eingeleitet oder personalisierte Medikamente für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen entwickelt werden.

**Medizintechnik** – Für die Optimierung der Oberflächeneigenschaften etablierter Medizinprodukte (z. B. Stents) nutzen wir besonders Plasmaverfahren, um bioaktive oder antibakterielle Oberflächen zu generieren, und testen die Effektivität und Biokompatibilität der Oberflächen an In-vitro-Gewebemodellen. Auch bioabbaubare Beschichtungen für Knochenimplantate, die durch Zelladhäsion die Selbstheilung fördern, werden entwickelt. Zur Entkeimung und Entfernung pyrogener Rückstände etablieren wir Plasmasterilisationsverfahren für wiederverwendbare Sterilbehälter im Hinblick auf größtmögliche Effektivität und Materialschonung.

Als Partner der Fraunhofer-Allianz Food Chain Management leisten wir mit der Entwicklung produktschonender Hygienisierungsverfahren für Nahrungsmittel zudem einen Beitrag zur Gesundheitsvorsorge. Unsere medizinische Forschung trägt zur Basis des Fraunhofer-Verbunds Life Sciences bei; darüber hinaus sind wir in der Fraunhofer-Allianz Big Data vernetzt.



## clickECM – EINE INNOVATIVE BIOLOGISCHE BESCHICHTUNG FÜR IMPLANTATE

Sybil Mara Ruff, Silke Keller, Günter Tovar, Monika Bach, Petra Kluger

### Optimierte Biokompatibilität für Implantate

Biomaterialien finden in der Medizintechnik und in der Orthopädie ein breites Anwendungsspektrum. Die mechanischen Anforderungen, die solche Materialien erfüllen müssen, werden von den gängigen Materialien meist in exzellenter Weise erfüllt. Im Hinblick auf die biologische Verträglichkeit besteht jedoch noch Optimierungsbedarf [1]. Um die Verträglichkeit mit dem biologischen System und die Integration des körperfremden Materials in den Organismus zu verbessern, können Implantate beispielsweise mit biokompatiblen und biologisch funktionalen Beschichtungen ausgerüstet werden [2]. Herkömmliche biologische Beschichtungen beruhen in der Regel auf Physisorption, das heißt die Biomoleküle haften über physikalische Wechselwirkungen am Oberflächenmaterial an. Die Stabilität dieser Beschichtung ist daher häufig nicht zufriedenstellend [2].

Ziel des *clickECM*-Projekts war die Entwicklung einer stabilen Beschichtung von Oberflächen mit der humanen extrazellulären Matrix (engl. extracellular matrix, ECM), die im Gewebe die natürliche Umgebung der Zellen bildet. Sie besteht aus einem komplexen Netzwerk an Biomolekülen, wie Faserproteinen, Proteoglykanen und Glykosaminoglykanen, aber auch aus Elektrolyten, Wasser und Signalmolekülen [3]. Sie ist maßgeblich an zellulären Vorgängen wie der Bewegung und der Anhaftung der Zellen an Oberflächen, zudem an der Signalweiterleitung und biomechanischen Stimuli beteiligt [3]. Durch ihre einzigartige Zusammensetzung an Biomolekülen und der daraus resultierenden hohen biologischen Aktivität stellt die humane ECM das ideale Biomaterial für die Beschichtung von Implantatmaterialien dar.

### Kovalente Bindung der *clickECM* an Oberflächen

Um eine kovalente, das heißt feste chemische Anbindung der humanen ECM auf artifiziellen Oberflächen zu erreichen, haben wir die ECM über eine sogenannte Click-Reaktion auf die Oberflächen immobilisiert. Dieser Reaktionstyp, der auch in Gegenwart der zahlreichen natürlichen Funktionalitäten der ECM möglich ist, zeichnet sich durch eine hohe Biokompatibilität, Spezifität und Selektivität aus. Zunächst erfolgte die Ausstattung der ECM mit den nötigen chemischen Click-Gruppen. Hierfür haben wir eine humane ECM aus primären Zellen generiert, in vitro kultiviert und währenddessen mithilfe des Metabolischen Oligosaccharid Engineerings (MOE) mit Aziden funktionalisiert (Abb. 1). Die kovalente Anbindung dieser »*clickECM*« an Substratoberflächen erfolgte im nächsten Schritt über die komplementäre Click-Funktionalisierung der Oberflächen mit einer aktivierten Alkin-Verbindung (Dibenzocyclooctin, DIBO). Durch die hohe Ringspannung des Cyclooctins kann auf die Verwendung des zytotoxisch wirkenden Kupferkatalysators verzichtet werden.

### Stabile wachstumsfördernde *clickECM*-Beschichtung

Die erfolgreiche Einbringung der Azid-Gruppen in die Glykanstrukturen der *clickECM* durch das MOE konnte durch eine Reaktion mit einem Alkin-funktionalen Farbstoff nachgewiesen werden (Abb. 2). Die isolierte *clickECM* war in ihrer biologischen Zusammensetzung mit der ECM der humanen Haut vergleichbar, wie histologische und immunzytochemische Färbungen bestätigten (Abb. 3). Das Verhältnis dieser Komponenten entsprach dem humaner Dermis. Dabei stellte sich heraus, dass die kovalente *clickECM*-Beschichtung, verglichen mit unbeschichteten oder DIBO-funktionalisierten Glassubstraten, die Vermehrung der Zellen signifikant erhöht.





3



4

Die Zellvermehrung auf unmodifizierter ECM war vergleichbar. Dies belegt, dass der Effekt auf die ECM selbst und nicht auf die Azid-Modifizierung zurückzuführen ist. Durch die kovalente Fixierung der *clickECM* an die DIBO-funktionalisierten Materialoberflächen konnte gezeigt werden, dass die kovalente Beschichtung im Vergleich zu herkömmlichen, physisorbierten Beschichtungen in einer signifikant erhöhten Beschichtungsstabilität resultiert.

### Ausblick

In Zukunft könnte die *clickECM*-Beschichtung die Integration von Implantaten in das umliegende Gewebe fördern. Die Verwendung von patienteneigenen Zellen zur Herstellung der *clickECM* ermöglicht eine individualisierte Beschichtung der Materialoberflächen. Dies sollte das Zellwachstum auf den Oberflächen deutlich verbessern und die Entzündungs- und Abstoßungsreaktionen vermindern, die Implantate als Fremdkörper im Patienten hervorrufen können. Ferner ist zu erwarten, dass die verbesserte Zelladhäsion die Integration des Implantats in den Patienten beschleunigt und die feste Anbindung der Beschichtung die Langzeitstabilität erheblich steigert und damit die Verweildauer der Implantate im Körper deutlich erhöht.

Des Weiteren könnte die *clickECM* Anwendung als Zellkulturbeschichtung für die In-vitro-Kultivierung von Zellen, wie mesenchymalen Stammzellen, finden. Die Verwendung der zellspezifischen ECM würde es hierbei ermöglichen, die physiologische Mikroumgebung der Zellen im natürlichen Gewebe nachzuahmen, um die Kultivierungsbedingungen zu verbessern und unerwünschte Veränderungen der Zellen zu unterbinden.

- 1 *Behandlung der Zellen im Zuge des Metabolischen Oligosaccharid Engineerings.*
- 2 *Fluoreszenzmikroskopischer Nachweis der Azid-Modifizierung (Azide: grün).*
- 3 *Nachweis der Kollagene (gelb) in der clickECM.*
- 4 *Isolierte ECM nach 21 Tagen; In-vitro-Kultivierung (250 mL-Laborglasflasche, Ø 70 mm).*

### Kontakt



**Prof. Dr. rer. nat. Petra Kluger**

Telefon +49 711 970-4072  
 petra.kluger@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Monika Bach**

Telefon +49 711 685-68304  
 monika.bach@igb.fraunhofer.de

### Literatur

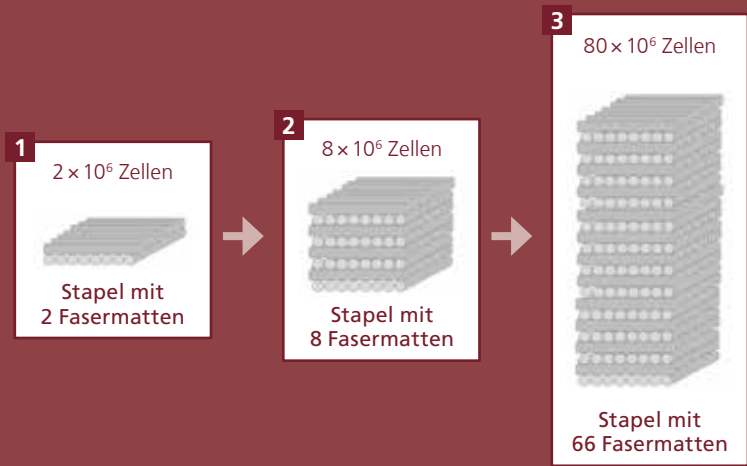
- [1] Repenning, D.; Gollwitzer, H (2006) Ossäre Integration, Springer Medizin Verlag Heidelberg
- [2] Goodman, S. B.; Yao, Z.; Keeney, M.; Yang, F. (2013) The future of biologic coatings for orthopaedic implants, *Biomaterials* 34(13): 3174–83
- [3] Fitzpatrick, L. E.; McDevitt, T. C. (2014) Cell-derived matrices for tissue engineering and regenerative medicine applications, *Biomaterial Science* 3: 12–24

### Förderung

Wir danken der Fraunhofer-Gesellschaft für die Förderung des Projekts »*clickECM*« im Rahmen des Programms »Discover«. Des Weiteren danken wir der Baden-Württemberg Stiftung für die Förderung des Projekts »Glykomik/Glykobiologie«.

### Projektpartner

Universität Stuttgart, Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP | Universität Konstanz, Fachbereich Chemie, Prof. Dr. Valentin Wittmann und Daniel Wieland



## AMBULUNG – BIOARTIFIZIELLE LUNGE

Annika Wenz, Kirstin Linke, Markus Schandar, Petra Kluger, Kirsten Borchers

### Bioartifizielle Lunge

Wir haben im vergangenen Jahr bereits über die Entwicklung des bioartifiziellen Lungenunterstützungsystems »AmbuLung« berichtet. In dem gleichnamigen, von der EU geförderten Projekt hat das Fraunhofer IGB eine biologische Beschichtung für das miniaturisierte Gasaustauschmodul entwickelt. Das Besondere: Die Beschichtung soll die natürliche Grenzfläche zwischen Blutgefäßen und Blut imitieren. Hierfür sollte die gesamte mit dem Blut des Patienten in Kontakt kommende Oberfläche des Hohlfasermoduls mit Blutgefäßzellen (Endothelzellen) besiedelt werden. Die Vision für die Zukunft ist, damit die Blutverträglichkeit der Gasaustauscher so zu verbessern, dass das Modul statt weniger Tage über mehrere Wochen funktionstüchtig bleibt. Derzeit zur Verfügung stehende Membranmodule zur extrakorporalen Unterstützung des Austausches der Atemgase sind aufgrund der geringen Hämokompatibilität nur unter lückenloser ärztlicher Kontrolle auf der Intensivstation einsetzbar.

### Biofunktionalisierung der Gasaustauschmembran

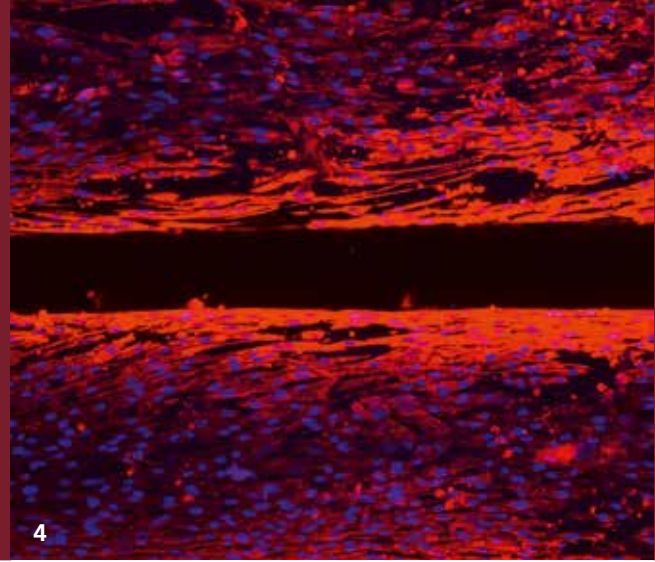
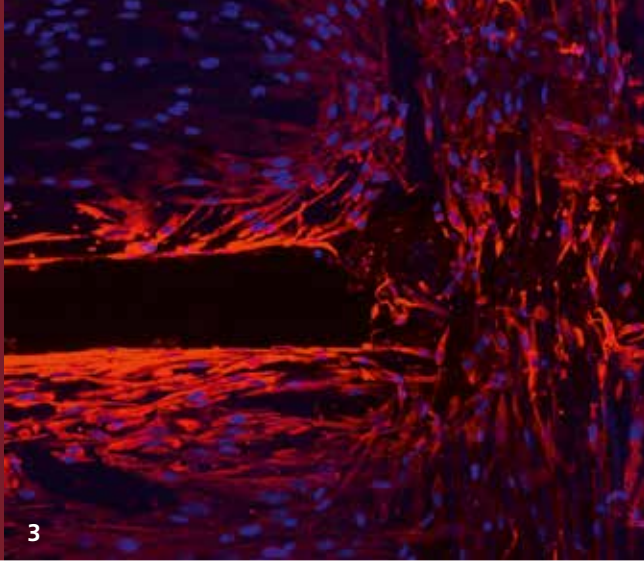
Ziel der Arbeiten am Fraunhofer IGB war es, die aus Polymethylpenten (PMP) bestehenden Hohlfasermembranen zunächst mit einer hämokompatiblen und endothelzellefreundlichen Oberfläche auszustatten und anschließend mit Endothelzellen zu besiedeln. Die zweite Projekthälfte stand im Zeichen der Bewertung der Blutverträglichkeit der Basisbeschichtung sowie der Skalierung der Bereitstellung von Endothelzellen und der Besiedelung des Gesamtmoduls. In der zweiten Projekthälfte lag der Fokus darauf, die Blutverträglichkeit der Basisbeschichtung zu bewerten sowie die Bereitstellung von Endothelzellen bzw. die Besiedelung des Gesamtmoduls in einen größeren Maßstab zu übertragen.

Die Auswertung der an der Universität Tübingen durchgeführten Chandler-Loop-Studie von unterschiedlichen heparinhaltenen Beschichtungen zeigte, dass die Blutverträglichkeit der Hohlfaseroberflächen durch Layer-by-Layer-Beschichtung mit Albumin und Heparin weitreichend verbessert wurde. Dahingegen konnten wir für chemisch gebundenes, benzophenon-modifiziertes Heparin weder eine Reduktion der Blutgerinnungsneigung noch der Blutplättchenaktivierung nachweisen. Die zusätzliche Funktionalisierung der Schichten mit den endothelzellspezifischen Peptidsequenzen REDV und EILDVPVST hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Hämokompatibilität der Oberflächen.

Mittels Alcianblau-Färbetechnik und fluoreszenzmarkierten Peptiden konnte anschließend nachgewiesen werden, dass die Hohlfasermatten im AmbuLung-Prototyp im Durchfluss vollständig mit Heparin, Albumin und Peptiden funktionalisiert werden konnten (Abb. 1).

### Besiedlung des AmbuLung-Prototyps mit Endothelzellen

Methoden zur Zellbesiedlung und -versorgung erarbeiteten wir in Bioreaktoren unter dynamischen Bedingungen im ersten Teil des Projekts (siehe Jahresbericht 2014). In der Fortführung des Projekts war es nun das Ziel, die Besiedlung mehrlageriger Membranstapel zu optimieren, um das Upscaling des Systems für die Besiedelung des gesamten Gasaustauschers zu realisieren (Abb. 1). Im letzten Schritt des Upscalings konnten wir erfolgreich den 66 Membranlagen starken AmbuLung-Prototyp vollständig mit Endothelzellen besiedeln (Abb. 3). Nach 14 Tagen Kultur im Durchfluss wurden die Zellen auf den Hohlfasermatten fixiert und in Bezug auf ihre Morphologie und die Expression allgemeiner und endothelzellspezifischer Marker (Vimentin, CD31) analysiert.



Das Ergebnis dieser Analyse war, dass die Zellen über den gesamten Membranstapel verteilt weitestgehend stabil auf den Oberflächen hafteten (Abb. 4). Mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit wurden jedoch Inhomogenitäten in der Morphologie der Zellen und in Bezug auf die Markerexpression sichtbar. Dies weist darauf hin, dass die Strömungsverhältnisse in dem für den Gasaustausch optimierten Prototyp die Zellfunktionen noch nicht hinreichend unterstützen.

### Ausblick

Die »AmbuLung« soll eines Tages schwer lungenkranken Patienten als tragbare künstliche Lunge zur Verfügung stehen. Die Möglichkeit, damit das Krankenhaus zu verlassen und wieder Eigenständigkeit und Mobilität zu gewinnen, wird ihren Gesundheitszustand und ihre Lebensqualität deutlich verbessern können.

- 1 *Homogene Peptidfunktionalisierung im Hohlfasermodul »AmbuLung« (fluoreszenzmarkierte REDVGK-Peptide).*
- 2 *Upscaling auf einen Stapel mit 66 Fasermatten im »AmbuLung«-Hohlfasermodul.*
- 3 *Ausbildung eines geschlossenen Endothels auf biofunktionalisierter Polymethylpenten-Hohlfaser (Zellkerne blau, Zell-Zell-Kontakte rot).*
- 4 *Endothel auf biofunktionalisierter Polymethylpenten-Hohlfaser des AmbuLung-Prototyps nach 14 Tagen Kultur.*

### Kontakt



**Prof. Dr. rer. nat. Petra Kluger**

Telefon +49 711 970-4072  
 petra.kluger@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Kirsten Borchers**

Telefon +49 711 970-4121  
 kirsten.borchers@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Forschungsprojekts »Ambulatory Bioartificial Lung (AmbuLung)« im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7/2007–2013), Förderkennzeichen 304932.

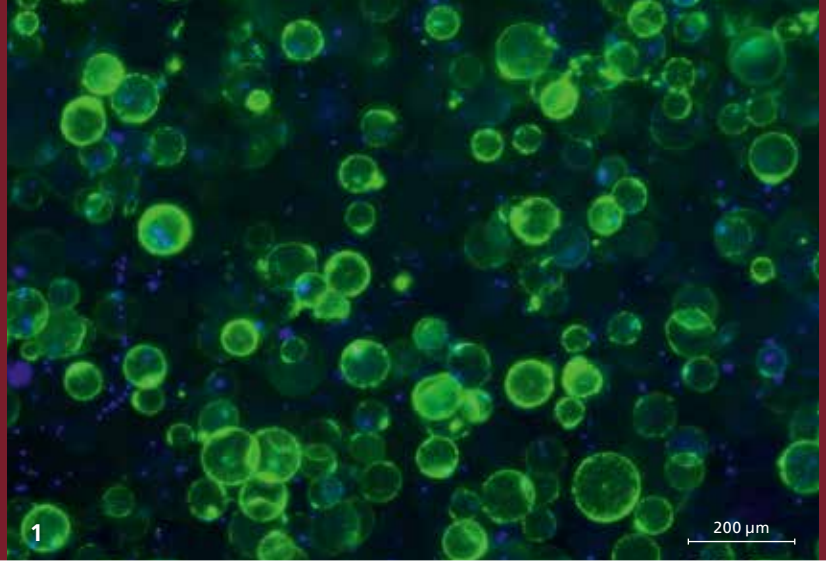
### Projektpartner

Novalung GmbH, Heilbronn | Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, Vereinigtes Königreich | Università degli Studi di Firenze, Italien

### Weitere Informationen

[www.ambulung.com](http://www.ambulung.com)





# AUFBAU EINES FUNKTIONALEN DREISCHICHTIGEN VOLLHAUTMODELLS

Birgit Huber, Kirsten Borchers, Petra J. Kluger

## Funktionale Haut für Transplantationen

Patienten mit großflächigen Brandwunden, offenen diabetischen Füßen oder Hautverlust durch Tumorentfernung sind auf einen ästhetischen und funktionalen großflächigen Hautersatz angewiesen. Wenn die Transplantation von Eigenhaut nicht ausreicht, gibt es auf dem Markt unterschiedliche Wundpflaster mit und ohne Zellen, welche die obersten beiden Hautschichten, die Dermis und die Epidermis, ersetzen können. Ist jedoch auch das unterliegende Fettgewebe betroffen, sind diese Heilungsmethoden unzureichend. Deshalb sind Gewebemodelle nötig, die das unterliegende Fettgewebe beinhalten. Die Wissenschaft fokussiert nun auf die Herstellung von dreischichtigen Vollhautmodellen im Labor, die das typische Aussehen der Haut haben und wichtige Hautfunktionen übernehmen können. Im Rahmen des EU-Projekts ArtiVasc wurden am Fraunhofer IGB Methoden für den Aufbau eines dreischichtigen Vollhautmodells etabliert und die Gewebemodelle anschließend histologisch und funktionell charakterisiert.

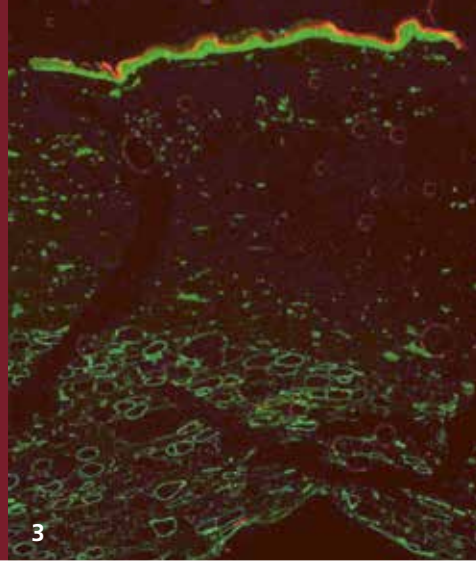
## Kultivierung von reifen Adipozyten

Als Goldstandard für die Gewinnung von Fettzellen gilt die Differenzierung der Zellen aus Stammzellen. Dieser Prozess ist zeit- und kostenintensiv. Wenig Aufmerksamkeit lag hingegen bislang auf der Nutzung von bereits differenzierten Fettzellen, da diese im Labor nicht stabil kultiviert werden konnten. Reife Adipozyten stellen etwa 50 Prozent der im Fettgewebe vorhandenen Zellen dar, können reichlich aus geringen Mengen an Gewebe isoliert und somit umgehend zum Aufbau von Fettgewebe oder Vollhaut eingesetzt werden. Als körpereigene Zellen sind sie nicht immunreaktiv und die geringe tägliche

Zellerneuerungsrate von 10 Prozent pro Jahr bekräftigt ihren möglichen positiven Nutzen für die Herstellung von langzeitstabilen Vollhaut-Implantaten. Am Fraunhofer IGB wurde nun ein Kulturmedium entwickelt und etabliert, welches die Dedifferenzierung der reifen Adipozyten verlangsamt und diese somit für den Aufbau von Vollhautmodellen verfügbar macht [1, 2, 3].

## Aufbau und Kultivierung dreischichtiger Hautmodelle

Für den Aufbau von dreidimensionalen Vollhautmodellen ist ein hoher Anteil reifer Adipozyten in Kollagen-Typ-I-Hydrogele einzubringen (Abb. 1). So können wir die typische Morphologie von Fettgewebe nachbilden. Hierauf wird eine Dermis aufgesetzt, welche aus Fibroblasten in einem Kollagen-Typ-I-Hydrogel besteht. Abschließend befindet sich eine Schicht aus Keratinozyten, die unter speziellen Kulturbedingungen, der sogenannten Airlift-Kultivierung, eine mehrschichtige verhornte Epidermis ausbilden (Abb. 2). Am Fraunhofer IGB ist nun ein passendes Kulturmedium verfügbar, um die Funktionalität der reifen Adipozyten für bis zu 14 Tage aufrechtzuerhalten, während die Keratinozyten in dieser Zeit zu einer mehrschichtigen verhornten Epidermis differenzieren (Abb. 3).



### Therapeutische Zukunft:

#### Vaskularisierte Vollhautmodelle

Für den großflächigen Ersatz von Vollhaut muss eine optimale Versorgung der Konstrukte gewährleistet werden. Die Natur hat es uns vorgemacht und Blutgefäße in die Gewebe integriert. Hierfür ist die Kokultur mit einem weiteren Zelltyp nötig, den Gefäß- bzw. Endothelzellen [4]. Auch für die gemeinsame Kultur aller vier Zelltypen, den Endothelzellen, Adipozyten, Fibroblasten und Keratinozyten, steht am Fraunhofer IGB nun ein optimiertes Medium zur Verfügung. Zukünftig soll das hier etablierte Vollhautmodell um blutgefäßähnliche Strukturen ergänzt werden, über die der Nährstoff- und Sauerstoffaustausch stattfinden kann.

Mit der Entwicklung von 3D-Gewebemodellen leistet das Fraunhofer IGB einen Beitrag zu einer Zukunft in der rekonstruktiven Medizin, in der biologische patientenspezifische Implantate funktionslos gewordene Gewebe ersetzen können.

- 1 Reife Adipozyten, verkapselt in einem Kollagen-Typ-I-Hydrogel.
- 2 HE-Färbung eines dreischichtigen Vollhautmodells.
- 3 Cytokeratin 10 (rot)/Lamininfärbung (grün) eines Vollhautmodells.

### Kontakt



**Prof. Dr. rer. nat. Petra Kluger**

Telefon +49 711 970-4072  
petra.kluger@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Kirsten Borchers**

Telefon +49 711 970-4121  
kirsten.borchers@igb.fraunhofer.de

### Literatur

- [1] Huber, B.; Kluger, P. J. (2015) Decelerating mature adipocyte dedifferentiation by media composition, *Tissue Engineering Part C Methods* 21(12): 1237–45
- [2] Jahresbericht Fraunhofer IGB 2014
- [3] Huber, B.; Borchers, K.; Tovar, G. E. M.; Kluger, P. J. (2015) Methacrylated gelatin and mature adipocytes are promising components for adipose tissue engineering, *Journal of Biomaterials Applications* 30(6): 699–710
- [4] Huber, B.; Volz, A.; Kluger, P. J. (2015) Understanding the cross-talk of mature adipocytes and endothelial cells in physiological fatty tissue for vascularized adipose tissue engineering, *Cell and Tissue Research* 362(2): 269–79

### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Forschungsprojekts »ArtiVasc 3D« im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7/2007–2013), Förderkennzeichen 263416.

### Weitere Informationen und Projektpartner

[www.artivasc.eu](http://www.artivasc.eu)



## NEXT-GENERATION-DIAGNOSTIK VON SEPSIS

Silke Grumaz, Philip Stevens, Kai Sohn

### Sepsis

Die Sepsis, eine durch eine Infektion hervorgerufene systemische Entzündung, stellt eine der größten Herausforderungen für die Intensivmedizin dar und geht mit einer hohen Sterblichkeit der Patienten von über 55 Prozent einher [1]. Trotz Fortschritten in der Medizin ist diese Zahl seit nahezu 20 Jahren unverändert. Ein Grund hierfür ist die oft fehlende frühzeitige Diagnose und die schnelle Behandlung mit erregerspezifisch wirksamen Antibiotika. Der Einsatz solcher Antibiotika setzt jedoch die Kenntnis des Krankheitserregers voraus. Mit dem aktuellen Goldstandard, der Blutkultur, dauert die mikrobielle Diagnostik zwei bis fünf Tage und in bis zu einem Drittel der Fälle kann überhaupt kein Erreger kultiviert werden [2]. Alternative diagnostische Ansätze bieten molekularbiologische Techniken, die nicht auf eine vorherige Kultivierung des Erregers angewiesen sind, sondern diesen anhand seiner Erbinformation nachweisen. Forscher am Fraunhofer IGB nutzen dabei die neuesten Entwicklungen im Bereich der Hochdurchsatzsequenzierung, um ein schnelles, alternatives Diagnostikverfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem Erreger in unter 30 Stunden identifiziert werden können.

### Zirkulierende Nukleinsäuren – eine vielversprechende Molekülklasse

Am Fraunhofer IGB nutzen wir für dieses Verfahren eine besondere Molekülklasse, die sogenannten frei zirkulierenden Nukleinsäuren aus Plasma und Serum (engl. Circulating Nucleic Acids of Plasma and Serum, CNAPS). Die Konzentrationen dieser Nukleinsäuren ist bei bestimmten physiologischen oder pathologischen Prozessen im Blut durch einen größeren Anteil an neu gebildeten und absterbenden Zellen erhöht (z. B. bei Krebserkrankungen, Schlaganfällen oder aber auch in der Schwangerschaft). Deshalb wird diese Molekülklasse

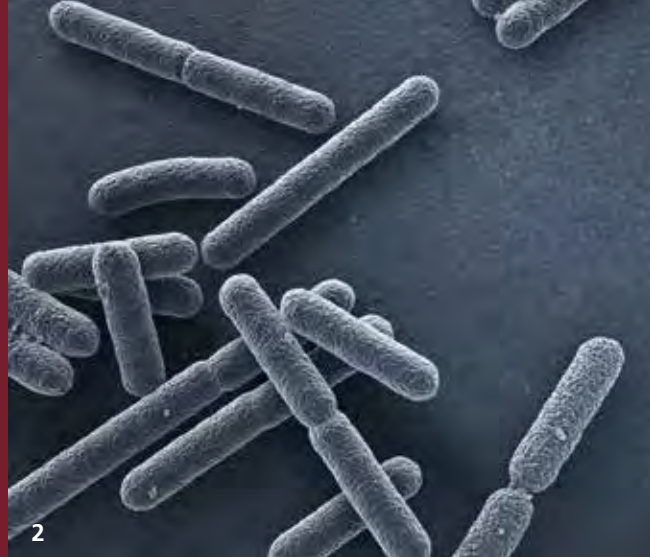
neuerdings für die Diagnostik verschiedener onkologischer Erkrankungen sowie in der Pränataldiagnostik eingesetzt [3]. Im Gegensatz zu bisherigen diagnostischen Verfahren kann durch Abnahme einer Blutprobe nichtinvasiv vorgegangen werden, daher wird das Vorgehen auch als »Liquid Biopsy« bezeichnet. Diese ist auch für Sepsis-Patienten möglich, da neben humanen CNAPS auch bakterielle Nukleinsäuren im Plasma von Sepsis-Patienten zu finden sind, wie die Forscher des Fraunhofer IGB zeigen konnten.

### Neues Verfahren zur Sepsis-Diagnostik

Am Fraunhofer IGB wurde ein neuartiges Verfahren etabliert, das mithilfe der Hochdurchsatzsequenzierung und eigens entwickelten Datenverarbeitungsalgorithmen nach mikrobiellen Nukleinsäuresequenzen in den CNAPS sucht und diese erregerspezifisch zuordnet und quantifiziert. Dies ist nicht trivial und erfordert ein hohes Maß an Sensitivität, da in der Regel über 99 Prozent der Nukleinsäuren einer solchen Probe humanen Ursprungs sind.

Im Rahmen einer retrospektiven klinischen Studie wurden in Kooperation mit dem Uniklinikum Heidelberg aus dem Plasma von Sepsis-Patienten CNAPS isoliert und das neu etablierte Verfahren validiert. Da zu den Patientenproben mikrobielle Laborbefunde verfügbar waren, war ein direkter Vergleich zwischen der Next-Generation-Diagnostik und konventioneller klinischer Mikrobiologie möglich. Dabei zeigte sich eine hervorragende Übereinstimmung mit der Blutkultur, aber auch Kulturen aus beispielsweise lokalen Infektionsherden mit der Next-Generation-Diagnostik. In manchen Fällen lieferte diese im Vergleich zur Blutkultur sogar das aus medizinischer Sicht plausiblere Ergebnis, da hier oft auch kontaminierende Erreger der Hautflora kultiviert werden. Mit dem neuen Verfahren ist





außerdem der Nachweis sehr unterschiedlicher Erreger, wie z. B. Viren, Bakterien und Pilze, gleichzeitig in einem einzigen Verfahren möglich.

Zudem konnten wir am Fraunhofer IGB zeigen, dass bei entsprechend hoher Abdeckung des Bakteriengenoms sogar ein Nachweis von Antibiotika-Resistenz vermittelnden Genen in der gleichen Analyse möglich ist. Für die klinische Praxis ist dies von höchster Bedeutung, da dem behandelnden Arzt so eine schnelle und gezielte Therapieentscheidung ermöglicht wird.

### Ausblick

Da sich das Feld der Sequenzertechnologien sehr dynamisch weiterentwickelt, arbeiten wir daran, das Verfahren auf verschiedene Sequenzierplattformen zu übertragen, um die Zeit von der Probe zur Diagnose noch stärker verkürzen zu können. Mit einigen dieser Technologien rückt die Diagnose innerhalb eines Zeitraums von sechs bis acht Stunden in greifbare Nähe und bietet somit einen entscheidenden Vorteil für das Patientenmanagement. Für das Jahr 2016 ist zudem eine multizentrische Validierungsstudie mit renommierten klinischen Partnern in Planung. Die Methodik hat außerdem das Potenzial, auf andere infektiöse, schwer zu diagnostizierende Erkrankungen angewandt zu werden.

- 1 Intensivstation.
- 2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von *Escherichia coli*.
- 3 Parallelsequenzierer am Fraunhofer IGB.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Silke Grumaz**  
Telefon +49 711 970-4078  
silke.grumaz@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Kai Sohn**  
Telefon +49 711 970-4055  
kai.sohn@igb.fraunhofer.de

### Literatur

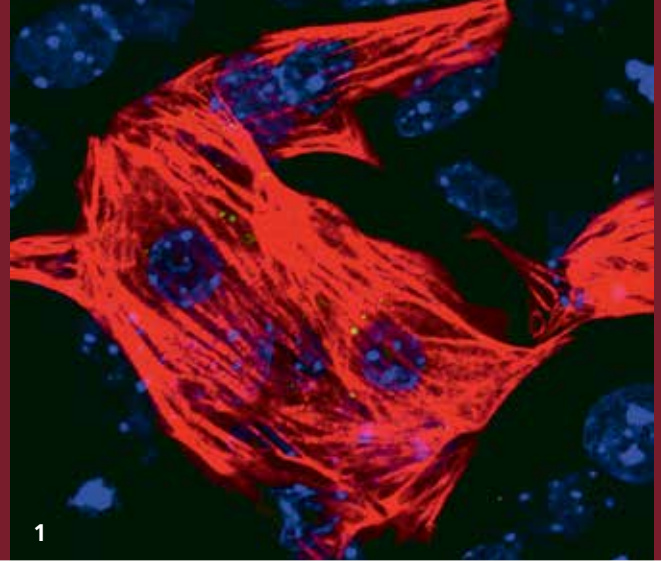
- [1] Engel, C.; Brunkhorst, F. M.; Bone, H.-G.; Brunkhorst, R.; Gerlach, H.; Grond, S.; Gruendling, M.; Huhle, G.; Jaschinski, U.; John, S.; Mayer, K.; Oppert, M.; Olthoff, D.; Quintel, M.; Ragaller, M.; Rossaint, R.; Stuber, F.; Weiler, N.; Welte, T.; Bogatsch, H.; Hartog, C.; Loeffler, M.; Reinhart, K. (2007) Epidemiology of sepsis in Germany: results from a national prospective multicenter study, *Intensive care medicine* 33: 606–18
- [2] Schmitz, R. P.; Keller, P. M.; Baier, M.; Hagel, S.; Pletz, M. W.; Brunkhorst, F. M. (2013) Quality of blood culture testing – a survey in intensive care units and microbiological laboratories across four European countries, *Critical Care* 17: R248
- [3] Lo, Y. M.; Chiu, R. W. K. (2011) Plasma nucleic acid analysis by massively parallel sequencing: pathological insights and diagnostic implications, *Journal of Pathology* 225: 318–323

### Förderung

Wir danken der Fraunhofer-Zukunftsstiftung für die Förderung des Projekts »Ribolution«.

### Projektpartner

Universitätsklinikum Heidelberg



# KARDIALE STAMMZELLDIFFERENZIERUNG UND NICHT-INVASIVES MONITORING

Eva Brauchle, Nian Shen, Shannon Layland, Svenja Hinderer, Katja Schenke-Layland

## Herausforderung Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Trotz einer Vielzahl an neu entwickelten Medikamenten und Diagnosemöglichkeiten sowie bedeutender Fortschritte in der Kardiologie und Herzchirurgie sind Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems laut Zahlen der Weltgesundheitsorganisation noch immer die Todesursache Nummer eins weltweit. Dabei sind häufig der Herzmuskel oder die Herzklappen betroffen. Eine Schädigung dieser Gewebe kann unterschiedliche Ursachen haben. Risikofaktoren wie Rauchen und ungesunde Ernährung können beispielsweise zum Herzinfarkt führen. Aber auch angeborene Krankheiten sind als Ursache von Organ- oder Gewebeversagen bekannt. Im erwachsenen Menschen kann jedoch nach einer Schädigung keine Regeneration erfolgen, was die Leistungsfähigkeit des Herzens und somit auch die Lebensqualität dieser Patienten erheblich mindert. Eine Vielzahl von Wissenschaftlern arbeitet daher mit dem großen Ziel, die normale Leistungsfähigkeit des Herzens wiederherzustellen oder geeignete Testsysteme zu entwickeln, die es ermöglichen, neuartige Therapien und Medikamente an einem menschlichen Modell zu testen. Primär isolierte schlagende Herzmuskelzellen können in vitro nicht kultiviert werden. Um ein funktionales Herzmuskeltestsystem aufzubauen, muss auf Stammzellen zurückgegriffen werden.

## Humanes Herzmuskeltestsystem aus embryonalen Stammzellen

Einige wissenschaftliche Studien haben zeigen können, dass embryonale Stammzellen unter Zugabe chemischer Faktoren zu funktionalen Herzmuskelzellen differenzieren. Wir verfolgen die Strategie, eine möglichst physiologische Umgebung zu schaffen, damit nicht nur eine Differenzierung, sondern auch eine Reifung zu funktionalen Herzmuskelzellen erfolgt.

Dafür haben wir einen sogenannten Stretch-Flow-Bioreaktor entwickelt, der eine Kultur dieser Zellen unter definierten Zug- und Scherbeanspruchungen ermöglicht. Ohne die Zugabe von chemischen Differenzierungsfaktoren und rein durch eine biomechanische Stimulation reifen sowohl murine als auch humane embryonale Stammzellen zu schlagenden Herzmuskelzellen heran, die wie im Herzmuskel einen Kalziumtransport erlauben. Durch Zugabe von Koffein werden die Schlagfrequenz und der Kalziumstrom erhöht. Verapamil, das im Herzen leitungsverzögernd wirkt, zeigt einen gegensätzlichen Effekt. In zukünftigen Studien soll ein Trägersubstrat verwendet werden, um eine dreidimensionale Kultur zu etablieren. In vorherigen Studien konnten wir zeigen, dass elektrogenesponnene Trägersubstrate zur 3D-Kultur von glatten Muskelzellen [1] und Herzklappenzellen [2] geeignet sind. Auf Basis dieser sehr vielversprechenden Ergebnisse erhoffen wir uns, durch den Einsatz von elektrogenesponnenen Trägersubstraten ein 3D-Herzmuskeltestsystem aufbauen zu können.

## Markerfreie Überwachung der kardialen Stammzellendifferenzierung

Die Identität der aus embryonalen Stammzellen differenzierten Herzmuskelzellen zu überprüfen, ist ein wichtiger Schritt bei der Herstellung eines Testsystems. Klassischerweise wird zur Unterscheidung von Stammzellen und Herzmuskelzellen die Expression von Marker-Proteinen untersucht. Solche immunzytologischen Nachweise erfordern allerdings eine Manipulation der Zellen, was diese für die kontinuierliche Überwachung des Differenzierungsverlaufs im Bioreaktor unbrauchbar macht.



2



3

## Raman-Mikrospektroskopie

Die Raman-Mikrospektroskopie ist eine optische Technologie, die zur markerfreien globalen Analyse von biologischen Zell- und Gewebeproben eingesetzt werden kann. Sie basiert auf dem Effekt der Lichtstreuung, wobei wenige Photonen des eingestrahlten monochromatischen Lichts durch Molekülschwingungen in der Probe in ihrer Frequenz verschoben werden. Raman-Spektren bilden einen molekularen Fingerabdruck der Zelle. Somit können der Differenzierungsprozess nicht-invasiv überwacht und die einzigartigen Profile verschiedener Zelltypen, die aus einer Stammzelle hervorgehen können, unterschieden werden.

In unseren Arbeiten konnten wir zeigen, dass sich der Differenzierungsverlauf von der embryonalen Stammzelle über die kardiale Vorläuferzelle bis zur funktionellen Herzmuskelzelle mithilfe der Raman-Mikrospektroskopie abbilden lässt [3]. Die zellspezifischen molekularen Fingerabdrücke, sowohl im murinen als auch im humanen System, sind so spezifisch, dass Herzmuskelzellen aus den Vorhöfen von denen aus den Ventrikeln unterschieden werden können [3]. An fetalen und adulten Herzmuskelzellen haben wir nachgewiesen, dass die Raman-Mikrospektroskopie auch den Prozess der kardialen Zellreifung abbilden kann [3]. In neuesten Untersuchungen wurde mithilfe der Raman-Mikrospektroskopie bestätigt, dass der Stretch-Flow-Bioreaktor die Reifung von Herzmuskelzellen unterstützt. Derzeit entwickeln wir ein neues Bioreaktorsystem, welches zusätzlich die optischen Ansprüche zur Durchführung der kontinuierlichen Mikrospektroskopie erfüllt.

- 1 *Fluoreszenzaufnahme im Bioreaktor gereifter Herzmuskelzellen.*
- 2 *Bioreaktorsystem.*
- 3 *Histologische Färbung eines humanen Herzens.*

## Kontakt



**Dr. rer. nat. Eva Brauchle**

Telefon +49 711 970-4196

eva.brauchle@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Svenja Hinderer**

Telefon +49 711 970-4196

svenja.hinderer@igb.fraunhofer.de

## Literatur

- [1] Hinderer, S. et al. (2015) In vitro elastogenesis: instructing human vascular smooth muscle cells to generate an elastic fiber-containing extracellular matrix scaffold, *Biomed Mater* 10: 034102
- [2] Hinderer, S. et al. (2014) Bioengineering of a bio-functionalized off-the-shelf heart valve, *Biomaterials* 35: 2130–2139
- [3] Brauchle, E. et al. (2016) Novel non-invasive chamber-specific identification of cardiomyocytes in differentiating pluripotent stem cells. *Stem Cell Reports* 6: 1–12

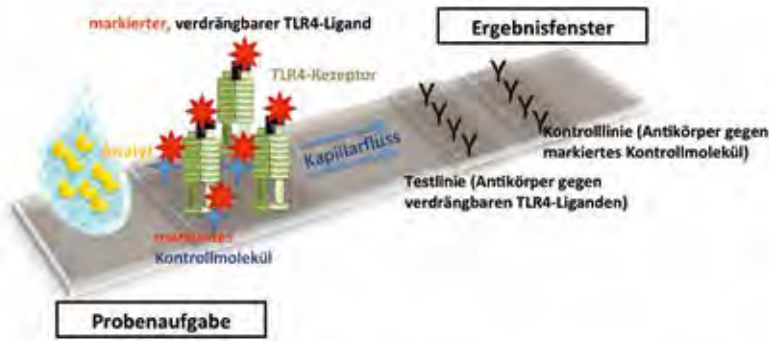
## Förderung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projekts »Charakterisierung und Bioengineering der kardialen Stammzellnische«, Förderkennzeichen 1316059, der Europäischen Union für die Förderung des Projekts »AMCARE«, Förderkennzeichen NMP3-SME-2013-604531, sowie der Fraunhofer-Gesellschaft für die Förderung des Projekts »Renovatum Therapeutics« im Rahmen des Programms »Fraunhofer fördert Existenzgründungen (FFE)« und des Projekts »OptisCell« im Rahmen des Programms Marktorientierte Vorlauftforschung (MAVO).

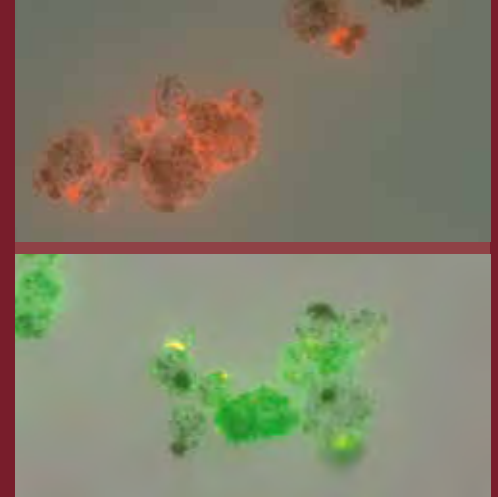
## Weitere Informationen und Projektpartner

www.schenke-layland-lab.com





1



2

# IMMUSTICK – DAS ANGEBORENE IMMUNSYSTEM ALS TESTSTREIFEN

Christina Kohl, Anke Burger-Kentischer

## Pyrogennachweis mit Immunrezeptoren

Schätzungen zufolge sterben jährlich weltweit rund 18 Millionen Patienten an den Folgen einer Sepsis. Verursacht wird dies durch Pyrogene – Bakterien, Viren oder Pilze oder deren Rückstände, die z. B. über verunreinigte chirurgische Instrumente oder Arzneimittel in den Blutkreislauf des Patienten gelangen. Die Pyrogene, auch Pathogen-Associated Molecular Patterns (PAMPs) [1] genannt, werden von Rezeptoren des angeborenen Immunsystems, den Pattern Recognition Receptors (PRRs), erkannt, welche die Produktion von fieberinduzierenden Botenstoffen einleiten.

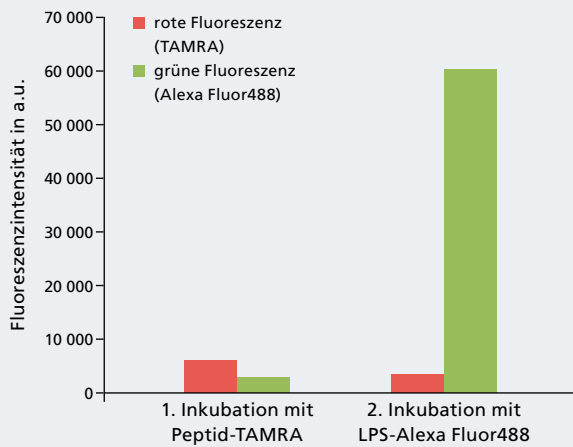
Um zu verhindern, dass Pyrogene über Medizinprodukte und Pharmaka in den Blutkreislauf gelangen, müssen diese auf Pyrogenfreiheit untersucht werden. In EU- und FDA-Regularien sind derzeit vier kommerzielle Nachweissysteme zugelassen [2, 3], welche entweder sehr aufwendig oder auf bestimmte Pyrogene limitiert sind.

Um die Limitierungen herkömmlicher Tests zu umgehen, arbeitet das Fraunhofer IGB seit einigen Jahren an der Entwicklung alternativer In-vitro-Testsysteme, die auf dem Einsatz der PRRs beruhen [4]. Unter den PRRs stellen die Toll-like-Rezeptoren (TLRs) die größte und bekannteste Familie dar. Eine sensitive und universell für alle Pyrogene adaptierbare In-vitro-Methode ist der vom Fraunhofer IGB patentierte PAMP-Assay [5, 6]. Allerdings setzt auch dieses zellbasierte Testverfahren ein apparativ gut ausgerüstetes Labor sowie Know-how im Umgang mit Zellkulturen voraus.

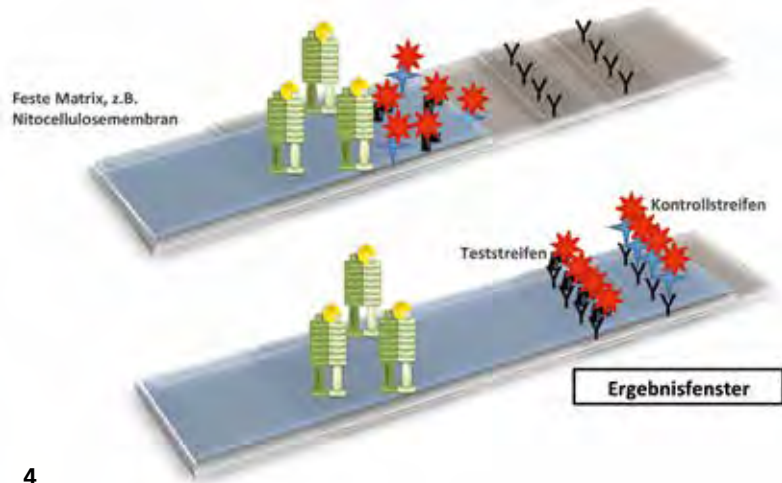
## ImmuStick – Der »Schwangerschaftstest« für Pyrogene

Mit dem ImmuStick entwickeln wir ein unkonventionelles, neuartiges Nachweissystem für Pyrogene, das PRRs als Biosensoren einsetzt, ohne den Einsatz von Tierversuchen oder zeitlich und apparativ aufwendigen Tests. Basierend auf dem immunchromatographischen Prinzip werden Pyrogene mit einem Teststreifen nachgewiesen. Dabei setzen wir immobilisierte Rezeptordomänen individueller PRRs als Bindemoleküle für das entsprechende Pyrogen ein. Enthält eine aufgetragene Probe das entsprechende Pyrogen, so wird ein farbmarkierter Ligand freigesetzt, der die Präsenz des Pyrogens anzeigt (Abb. 1).

Die Detektion des Pyrogens basiert auf einem klassischen, kompetitiven Immunassay. Nach Benetzung des Teststreifens mit der Analytlösung verdrängt das hierin enthaltene Pyrogen (TLR4-Ligand LPS; gelb) die schwächer bindenden markierten Liganden (schwarz-rot) im Biosensorbereich. Diese wandern über den Kapillarfluss gemeinsam mit den Kontrollmolekülen (blau-rot) zum Ergebnisfenster, in welchem spezifische Antikörper als Fängermoleküle (Y) immobilisiert sind. Binden sie ihr Antigen (den markierten Liganden oder das Kontrollmolekül) resultiert das Aufbringen einer pyrogenhaltigen Probelösung in zwei farbigen Testlinien im Ergebnisfenster. Die Kontrolllinie erscheint nur nach ausreichendem Eintrag von Probelösung in den ImmuStick und verifiziert damit einen funktionellen Ablauf des Tests (Abb. 4). Abb. 2 zeigt die fluoreszenzmikroskopischen Aufnahmen von an Agarose-Beads gebundene TLR4. Dargestellt ist die Verdrängung eines schwach an TLR4 bindenden Liganden (TAMRA, rot) durch LPS (Alexa Fluor 488, grün) und die quantitative Auswertung dieser Bindungsstudie (Abb. 3).



3



4

### Einsatzgebiete

Der ImmuStick eignet sich zum gesetzlich geforderten Nachweis der Pyrogenfreiheit von biologischen Produkten und über Probenahme von medizinischen Geräten (FDA-Richtlinie). Ein Einsatz zur Klassifizierung von Sepsis-Erregern direkt am Patienten ist ebenfalls denkbar. Da einige PRRs auch spezifisch Allergene erkennen, bietet der ImmuStick zudem Potenzial für die Bestimmung von Allergenen in Kosmetika, Medizintechnik, Pharmaindustrie und Lebensmitteltechnik.

Der ImmuStick ist die Weiterentwicklung eines In-vitro-Immunassays zu einem auch für den Laien anwendbaren, kostengünstigen Soforttest, welcher auch als On-site-Verfahren ohne apparativen Aufwand einsetzbar ist. Die Verwendung von Rezeptoren des humanen angeborenen Immunsystems erlaubt, alle Pyrogenklassen zu erfassen.

### Anwendungsspezifische Weiterentwicklung

Die prinzipielle Machbarkeit haben wir für TLR4 zum Nachweis von Lipopolysacchariden (LPS) gezeigt. Das Testsystem kann modular um weitere Rezeptoren des angeborenen Immunsystems (TLR, NOD-like-Rezeptoren, C-Typ-Lektine) erweitert werden, um das Pyrogenspektrum gezielt anzupassen. Ausgerüstet mit verschiedenen PRRs kann der ImmuStick die gesamte Breite an PAMPs schnell, einfach und direkt vor Ort nachweisen.

- 1 *Probenaufgabe- und Ergebnisfenster, Biosensor mit immobilisierten TLR4-Rezeptoren.*
- 2 *Kompetitive Verdrängung eines schwach bindenden Liganden (rot) durch LPS (grün).*
- 3 *Quantitative Auswertung der Verdrängungsstudie (siehe Abb. 2).*
- 4 *Nachweis einer pyrogenhaltigen Probelösung über Testlinien im Ergebnisfenster.*

### Kontakt



**Dr.-Ing. Christina Kohl**  
Telefon +49 711 970-4183  
christina.kohl@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Anke Burger-Kentischer**  
Telefon +49 711 970-4023  
anke.burger-kentischer@igb.fraunhofer.de

### Literatur

- [1] Akira, S. et al. (2004) Toll-like receptor signalling, *Nat Rev Immunol* 4: 499–51
- [2] Werner-Felmayer, G. et al. (1995) Detection of bacterial pyrogens on the basis of their effects on gamma interferon-mediated formation of neopterin or nitrite in cultured monocyte cell lines, *Clini Diagn Lab Immunol* 2(3): 307–313
- [3] Jorgensen, J. et al. (1982) Rapid detection of significant bacteriuria by use of an automated Limulus amoebocyte lysate assay, *J Clin Microbiol* 16(3): 587–589
- [4] Lakhani, S. A. et al. (2003) Toll-like receptor signaling in sepsis, *Curr Opin Pediatr* 15(3): 278–82
- [5] Burger-Kentischer, A. et al. (2010) New cell-based innate immune receptor assay for the examination of receptor activity, ligand specificity, signalling pathways and the detection of pyrogens, *J Immunol Meth* 358: 93–103
- [6] Zellbasiertes Testsystem zur Identifizierung und Differenzierung von Keimspektren (2009) DE 10 2006 031 483; EP 2 041 172

### Förderung

Wir danken der Fraunhofer-Gesellschaft für die Förderung des Projekts »ImmuStick« im Rahmen des Programms »Discover«.



## SICHERE LEBENSMITTEL DURCH PHYSIKALISCHE ENTKEIMUNG

Michael Haupt, Bentsian Elkin, Sylvia Schmidt, Iris Trick, Christian Oehr

### Eierschalen als Ursache für Salmonelleninfektionen

Eier werden weltweit als Eiweißquelle für die menschliche Ernährung genutzt. Der durchschnittliche Verzehr liegt bei 215 Eiern pro Person und Jahr, variiert aber sehr stark von Land zu Land. Laut Weltgesundheitsorganisation WHO erkranken in europäischen Ländern jährlich mehr als 85 000 Menschen an einer Salmonelleninfektion [1]. Zwar nimmt die Zahl der Erkrankten in den letzten Jahren aufgrund verschiedener Maßnahmen ab. Insgesamt stehen durch Salmonellen hervorgerufene Erkrankungen in Europa aber nach wie vor an zweiter Stelle der durch Tiere übertragenen Krankheiten [2]. In vielen Fällen sind Geflügelmästereien Verursacher für den Ausbruch einer Salmonelleninfektion. Bei deutschen Legehennenbetrieben kommen laut Bundesinstitut für Risikobewertung bei knapp 30 Prozent Salmonelleninfektionen vor, die unbemerkt bleiben [3]. Über den Verzehr von Fleisch oder Eiern kann es zu einer Verbreitung in der Bevölkerung und zu Infektionen kommen. Salmonellose gehören zu den meldepflichtigen Erkrankungen.

### Bedarf an Entkeimungsverfahren

Die gegenwärtige europäische Gesetzgebung erlaubt mit der Ausnahme von ultravioletter Strahlung (UV) für Lebensmittel keine andere hygienische Behandlung, wie etwa chemische Desinfektion oder ionisierende Strahlung. Herkömmliche UV-Lampen beinhalten vielfach noch umweltschädliches Quecksilber und machen lange Expositionszeiten erforderlich. Die meisten Eierproduzenten nutzen die Technologie jedoch nicht, weil der hygienische Effekt gering und der Wartungsaufwand hoch ist. Ziel des von der EU geförderten Projekts OVOSHINE ist es, eine preiswerte, sichere und schnelle physikalische Methode zur Desinfektion von Eiern zu entwickeln, um die Zahl

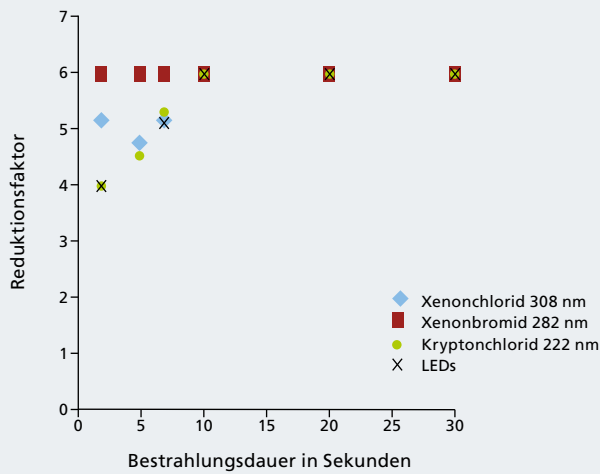
der durch rohe Eier oder nicht ausreichend erhitzte eihaltige Lebensmittel verursachten Krankheitsfälle zu reduzieren und die Lebensmittelsicherheit zu erhöhen.

### Neue Excimer-Lampen für UV-Behandlung

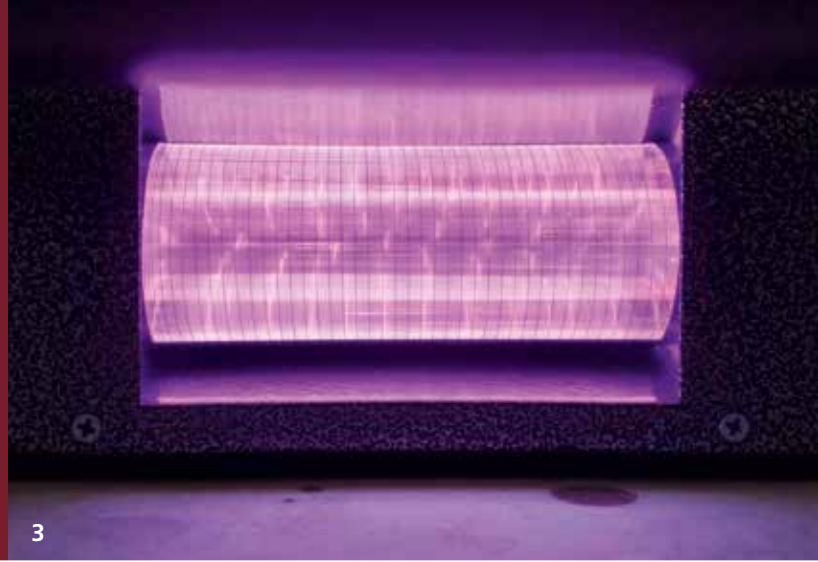
Die UV-Behandlung von Oberflächen ist ein seit Langem bekanntes Verfahren, um die Zahl vermehrungsfähiger Organismen zu minimieren. Am Fraunhofer IGB wurden spezielle Excimer-Plasmalampen konzipiert und die Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit zum Abstand, die spektrale Verteilung und die elektrische Leistungsaufnahme an ausgewählten Demonstratoren im Labor getestet. Der Inaktivierungseffekt der Strahlung wurde mit verschiedenen Bakterienarten mikrobiologisch überprüft. Zusätzlich kamen neuartige UV-C-LEDs zum Einsatz, die Licht mit Wellenlängen deutlich unter 300 nm emittieren.

### Inaktivierung vegetativer Zellen

Excimer-Lampen und LEDs mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen (172 nm, 222 nm, 282 nm, 285 nm, 308 nm) wurden untersucht. Ziel war es, die Zellzahl der Bakterien um mindestens vier Größenordnungen in nur 2 bis 10 Sekunden zu reduzieren. In einem Testsystem zur reproduzierbaren Bestrahlung bei verschiedenen Wellenlängen und Strahlungsintensitäten konnten für vegetative Zellen Reduktionsfaktoren<sup>1</sup> von mindestens  $R_f = 6$  in 10 Sekunden nachgewiesen werden, das heißt dass die Zellzahl um mindestens den Faktor  $10^6$  reduziert werden konnte. Bei einer Bestrahlungsdauer von 2 Sekunden wurde ohne Probleme ein Reduktionsfaktor von  $R_f = 4$  erreicht. Diese Werte beziehen sich auf Untersuchungen mit Stämmen von *Escherichia coli* und *Salmonella enteritidis*, die bei der Kontamination von Eiern eine Rolle spielen.



2



3

### Inaktivierung von Endosporen

Von Interesse war darüber hinaus zu untersuchen, inwieweit Endosporen von *Bacillus*-Stämmen mit diesem Verfahren trotz relativ kurzer Behandlungsdauer inaktiviert werden können. Obwohl es sich bei den Endosporen um von Natur aus gegen Strahlung relativ resistente Formen handelt, wurden bereits nach 60 Sekunden Bestrahlungsdauer Reduktionsfaktoren von  $R_f = 4$  nachgewiesen. Die bisher mit Sporen von *Bacillus atrophaeus* erreichten Ergebnisse sind sehr vielversprechend und eröffnen weitere Anwendungsgebiete der hocheffektiven Excimer-Plasmalampen.

### Ausblick

Wir konnten zeigen, dass Strahlung aus Excimer-Plasmalampen sehr effektiv gegen Bakterien und sogar Sporen wirken kann. Mit den UV-Bestrahlungssystemen hat das Fraunhofer IGB eine technisch einfache und günstige Alternative zu anderen Desinfektions- oder Sterilisationsmethoden entwickelt, die auf eine Vielzahl von Anwendungen, beispielsweise im pharmazeutischen oder medizinischen Umfeld, angepasst werden kann. Auch zur Entkeimung lebensmittelrelevanter Verpackungen aus Kunststoff ergeben sich Anwendungen.

Zudem können die Lampen auch zur Oberflächenaktivierung vor dem Kleben, Lackieren oder Bedrucken verwendet werden. Wir beraten Sie bei der Auswahl der Strahlungsquelle für Ihre spezielle Anwendung und unterstützen Sie bei der Umsetzung.

<sup>1</sup> Der Reduktionsfaktor  $R_f$  gibt die Reduktion der lebens- und vermehrungsfähigen Zellen in logarithmischer Form an,  $R_f = \log(\text{Ausgangskeimzahl}) - \log(\text{Anzahl reaktivierbare Zellen})$ , und beschreibt, um welche Größenordnung ( $10^1$ ) die Ausgangskeimzahl auf eine reaktivierbare Zellzahl reduziert wurde. Bei einem Reduktionsfaktor von 5 beispielsweise wird die kultivierbare Zellzahl um den Faktor  $10^5$  reduziert.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Michael Haupt**

Telefon +49 711 970-4028

michael.haupt@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Iris Trick**

Telefon +49 711 970-4217

iris.trick@igb.fraunhofer.de

### Literatur

- [1] Weltgesundheitsorganisation Europa (2015) Salmonellen in der Europäischen Union, [www.euro.who.int/whd2015](http://www.euro.who.int/whd2015) (abgerufen am 17.11.2015)
- [2] Hugas, M.; Beloil, P. A. (2014) Controlling *Salmonella* along the food chain in the European Union – progress over the last ten years
- [3] BfR (2006) Krankmachende Salmonellen in knapp 30 Prozent der großen Legehennenbetriebe nachgewiesen, 18/2006, 29.06.2006

### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Forschungsprojekts »OVOSHINE« im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7/2007–2013), Förderkennzeichen 605309.

### Weitere Informationen und Projektpartner

[www.ovoshine.eu](http://www.ovoshine.eu)

- 1 Auf Eierschalen können *Salmonellen* siedeln.
- 2 Messergebnisse nach Bestrahlung von *Salmonella spec.* mit verschiedenen Lampen auf Prüfkörpern.
- 3 Excimer-Plasmalampe, die UV-Strahlung von 282 nm emittiert.







# PHARMAZIE

Aktuelle Herausforderungen für die pharmazeutische Industrie sind die Verbesserung individueller Therapien, die Entwicklung neuer Wirkstoffe sowie die Erhöhung der Wirksamkeit von Medikamenten durch optimierte Formulierungen. Im Geschäftsfeld Pharmazie erarbeitet das Fraunhofer IGB Lösungen für das Target- und Wirkstoff-Screening, die pharmazeutische Biotechnologie und Chemie sowie für die Formulierung und gezielte Wirkstofffreisetzung.

**Screening und Validierung von Wirkstoffen** – Basierend auf eigenen Patenten hat das IGB verschiedene Array-Technologien, Methoden für Hochdurchsatzsequenzierungsverfahren sowie humane Gewebemodelle entwickelt und ist dadurch in der Lage, Wirt-Pathogen-Interaktionen aufzuklären und Targets für neue Antiinfektiva zur Verfügung zu stellen. Neue Wirkstoffe identifizieren wir unter gezieltem Einsatz zellbasierter Assays beispielsweise für immunmodulatorische Substanzen oder Antiinfektiva auf der Grundlage von Struktur-Wirkungsbeziehungen. Potenzielle Wirkstoffe charakterisieren wir in vitro unter Verwendung organotypischer komplexer 3D-Gewebemodelle – sowohl »gesunder« als auch »erkrankter« Gewebe. Die Barriere-Gewebe des Menschen Haut, Darm, Atemwege und Blut-Hirn-Schranke werden als Gewebemodelle aus primären oder iPS-Zellen aufgebaut, um neue Wirkstoffe auf Absorption, Verteilung im Organmodell, Toxizität und Wirksamkeit zu untersuchen. In den Gewebemodellen simulieren wir klinische Therapie-Schemata, um neue prognostische Marker, Resistenz- oder Wirkungsmechanismen durch molekulare Methoden wie Genexpressions- und Proteomanalysen sowie mittels Histologie und konfokaler Raman-Spektroskopie zu identifizieren.

**Wirkstoffherstellung und Aufarbeitung** – Wir erarbeiten Verfahren zur Herstellung von Pharmaproteinen von der Etablierung neuer Expressionsvektoren über die Stammentwicklung in Mikroorganismen und Säugerzellen, die Optimierung von Fermentationsverfahren bis hin zur Aufreinigung der Pharmazeutika. Die Herstellung klinischer Prüfware nach GMP bieten wir über eine Fraunhofer-interne Kooperation an. Zunehmend setzen wir auch Methoden der zellfreien Biotechnologie ein, mit denen Pharmaproteine schnell optimiert, im Milligramm-Maßstab hergestellt und mit zellbasierten Systemen charakterisiert werden können. Die Einführung nicht-kanonischer Aminosäuren oder die Kopplung von Wirkstoff- und Targeting-Molekül kann »zellfrei« ebenfalls sehr effizient erfolgen.

**Formulierung** – Für die Formulierung von Wirkstoffen arbeiten wir an nanopartikulären Strukturen, die Wirkstoffe gezielt zum Wirkort transportieren und hier kontrolliert abgeben (Drug Delivery, Drug Release). Einen neuen Ansatz zum Verpacken und zur intravenösen Zielsteuerung von Wirkstoffen verfolgen wir mit Virus-like Particles.

Mit unseren Kompetenzen tragen wir zum Angebot des Fraunhofer-Verbunds Life Sciences bei, die Medikamentenentwicklung vom Screening nach Wirkstoffkandidaten bis zur Herstellung von Prüfmustern abdecken zu können.



## HUMANE 3D-IN-VITRO-TESTSYSTEME FÜR INFEKTIONSSTUDIEN

Florian Groeber, Marco Metzger, Heike Walles, Maria Steinke

### Ausgangssituation

Der Mensch ist der einzige natürliche Wirtsorganismus für eine Vielzahl von Krankheitserregern. Folglich spiegelt ein Großteil der Daten, die aus entsprechenden Tierexperimenten gewonnen werden, nicht die Infektionsmechanismen im menschlichen Organismus wider. Dies hat zur Folge, dass viele Aspekte solcher Erkrankungen immer noch spekulativ sind und die Entwicklung neuer Therapieverfahren und Impfstoffe unter erschwerten Bedingungen ablaufen. Um Interaktionen zwischen human obligaten Pathogenen und dem Wirtsgewebe zu erforschen, werden entsprechende dreidimensionale In-vitro-Gewebemodelle benötigt, die der physiologischen Situation im menschlichen Körper möglichst nahe kommen. Am Fraunhofer IGB, Translationszentrum »Regenerative Therapien für Krebs- und Muskuloskeletale Erkrankungen« TZKME, Institutteil Würzburg, basiert die Herstellung entsprechender 3D-In-vitro-Testsysteme auf der BioVaSc-TERM®, einer aus dem Schweinedarm gewonnenen biologischen Trägerstruktur.

### 3D-In-vitro-Testsystem für Infektionsstudien mit *Bordetella pertussis*

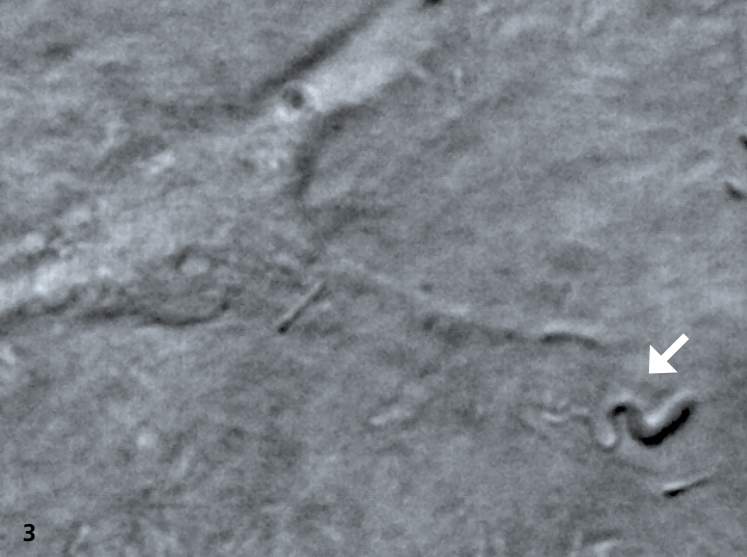
Das Keuchhustenbakterium *Bordetella pertussis* attackiert die humanen Atemwege und siedelt sich primär an den Flimmerhärchen der Atemweg-Schleimhaut an. Uns ist es gelungen, ein 3D-In-vitro-Testsystem der humanen Atemweg-Schleimhaut mit hoher In-vitro-/In-vivo-Korrelation zu generieren, das mit funktionellen Flimmerhärchen ausgestattet ist (Abb. 1) [1]. Nach einer Infektion mit aufgereinigten Kulturüberständen von *B. pertussis* beobachten wir beispielsweise die vollständige Zerstörung von Atemweg-Epithelzellen, was die Schutzfunktion der Atemweg-Schleimhaut massiv beeinträchtigt.

### 3D-In-vitro-Testsystem zur Untersuchung der Schlafkrankheit

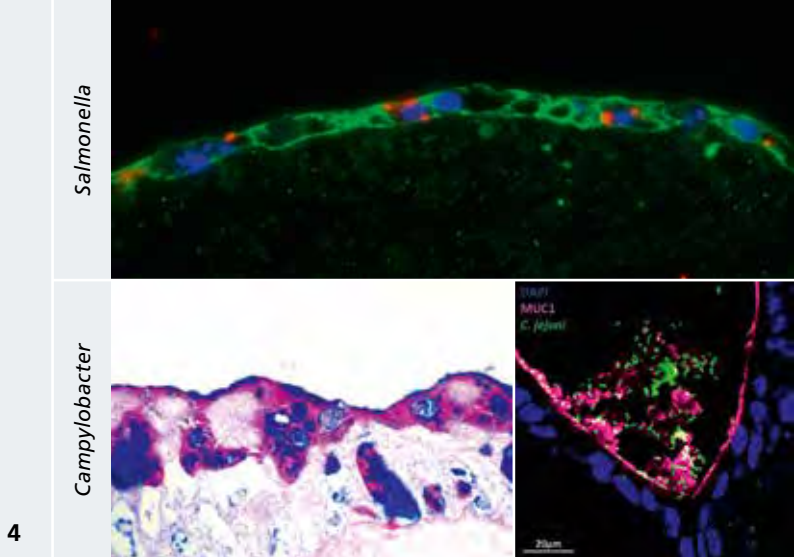
Die Schlafkrankheit ist eine gefährliche Tropenkrankheit, die durch den eukaryotischen Erreger *Trypanosoma brucei* verursacht und durch die Tsetsefliege verbreitet wird [2]. Da eine Behandlung der Krankheit sehr schwierig ist, sobald sich das Pathogen im Körper verteilt hat, haben neuere Therapien zum Ziel, die Erreger bereits in der Haut zu bekämpfen. Zur Abbildung dieses Schrittes wurden In-vitro-Hautmodelle verwendet, die eine hohe Ähnlichkeit zur humanen Haut aufweisen und sich damit als Ersatz zum Tierversuch eignen. In einem ersten Schritt wurde der natürliche Infektionsweg über den Stich der Tsetsefliege etabliert. Dabei konnten wir feststellen, dass die Fliege das Modell nach Zugabe von humanen Blutkomponenten als Wirt akzeptiert (Abb. 2). Weiterhin zeigte sich, dass der Stich zur Übertragung der Trypanosomen führt. Diese waren über längere Zeiträume innerhalb des Modells aktiv (Abb. 3), was die Anwendbarkeit des In-vitro-Hautmodells für Infektionsstudien mit *Trypanosoma brucei* belegt.

### Infektionsstudien an Darmtestsystemen mit *Salmonella* und *Campylobacter*

Humane Darmerreger wie *Salmonella typhi* und *Campylobacter jejuni* sind verantwortlich für eine Vielzahl schwerwiegender Magen-Darm-Erkrankungen. Am Translationszentrum wurden bestehende Darmgewebemodelle mithilfe der BioVaSc-TERM®-Technologie und der dynamischen Gewebekultur weiterentwickelt und zeigen dadurch eine physiologischere Enzym- und Transportaktivität sowie Zellmorphologie. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Molekulare Infektionsbiologie Würzburg (IMIB, Arbeitsgruppe Prof. Dr. Jörg



3



4

Vogel) wurde auf dieser Basis ein humanes Triple-Kulturmodell aufgebaut, welches das menschliche Darmepithel (Caco-2), die Barriere zum Blut (Endothelzellen) und Komponenten des Immunsystems (mononukleäre Zellen des peripheren Blutes, engl. Peripheral Blood Mononuclear Cells PBMCs) abbildet. Mithilfe fluoreszenzmarkierter Salmonellen (Abb. 4, oben) wurde die Transmigration mittels Durchflusszytometrie untersucht. Es zeigte sich ein zeitabhängiger Anstieg infizierter Epithelzellen, während das Endothel nicht betroffen war. Die Infektion bewirkte zudem eine Freisetzung von IL-8 ins vaskuläre Kompartiment und eine Aktivierung von Monozyten (CD14+) und NK-Zellen (CD56+). In einem zweiten Kooperationsprojekt (ZINF, Arbeitsgruppe Dr. Cynthia Sharma) konnten wir die schleimproduzierende Zelllinie E12 (HT29-MTX-E12) integrieren (Abb. 4, unten). Nach Infektion mit *Campylobacter* zeigte sich, dass die Schleimschicht eine zusätzliche Barriere hinsichtlich Kolonisation, Transmigration und Zerstörung des Epithelverbandes darstellt.

### Ausblick

Das Verständnis entscheidender Vorgänge einer natürlichen Infektion bildet die Grundlage dafür, neue präventive und therapeutische Strategien im Kampf gegen Infektionskrankheiten zu entwickeln. Unsere 3D-In-vitro-Testsysteme eignen sich zur weiteren Erforschung entsprechender Infektionsmechanismen und können langfristig dazu beitragen, Therapiestrategien und Impfstoffe (weiter) zu entwickeln. In aktuellen Studien werden nun die verwendeten Zelllinien durch primäre Zellen ersetzt, um die bestehenden Modelle noch weiter der In-vivo-Situation anzupassen.

- 1 3D-Testsystem der humanen Atemweg-Schleimhaut.
- 2 Tsetsefliege bei der Infektion eines In-vitro-Hautmodells.
- 3 Erreger der Schlafkrankheit neben einer menschlichen Zelle.
- 4 Salmonellen-/Campylobacter-Infektionen auf Caco-2- bzw. E12-Darmmodellen.

### Kontakt



**Dr. sc. hum. Marco Metzger**

Telefon +49 931 31-86686

marco.metzger@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Maria Steinke**

Telefon +49 931 31-80720

maria.steinke@igb.fraunhofer.de

### Literatur

- [1] Steinke, M.; Gross, R.; Walles, H.; Gangnus, R.; Schütze, K.; Walles, T. (2014) An engineered 3D human airway mucosa model based on an SIS scaffold *Biomaterials* 35: 7355–62 (abgerufen am 2.12.2015)
- [2] WHO Factsheet N° 259; <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs259/en/>

### Förderung

Wir danken dem Freistaat Bayern (BayernFIT-Programm) und dem Interdisziplinären Zentrum für Klinische Forschung IZKF der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg für die Förderung der Arbeiten.

### Projektpartner

Prof. Dr. Thorsten Walles, Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz und Thorakale Gefäßchirurgie, Universitätsklinikum Würzburg | Prof. Dr. Roy Gross, Lehrstuhl für Mikrobiologie, Universität Würzburg | Prof. Dr. Markus Engstler, Lehrstuhl für Zell- und Entwicklungsbiologie, Universität Würzburg | Dr. Cynthia Sharma, Zentrum für Infektionsforschung (ZINF), Universität Würzburg | Prof. Dr. Jörg Vogel, Institut für Molekulare Infektionsbiologie, Universität Würzburg

```

ATGGTAAGCCTATCCCTA
ACCCTCTCCTCGGTCTCAT
TCTACGCGTACCGGTCAT
CATCACCATCACCATTGA
GTTTAAACCCGCTGATCC
TAG

```



Sequenz

Expression

Aufreinigung

1

# HERSTELLUNG VIRUS-ÄHNLICHER PARTIKEL FÜR PHARMAZEUTISCHE ANWENDUNGEN

Susanne M. Bailer

## Ausgangssituation

Für medizinische Anwendungen werden Transportvehikel für Wirkstoffe benötigt, die Zielstrukturen an ihrer Oberfläche hochvalent und in kombinierter Form präsentieren. Auf diese Weise lassen sich auch effektive Impfstoffe entwickeln. Des Weiteren können solche Vehikel Medikamente einschließen und sie an ihren Wirkort dirigieren. Das verringert Nebenwirkungen von Medikamenten stark und macht einige neue Wirkstoffe überhaupt erst einsetzbar.

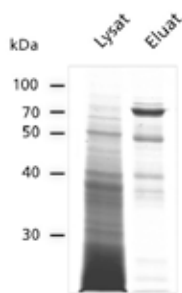
## Potenzial von Virus-like Particles

Virus-like Particles (Virus-ähnliche Partikel, VLP) sind biobasierte Protein-Kapseln, die Virus-Capside nachahmen, jedoch nicht infektiös sind. Aufgrund ihrer Stabilität, Größe und der großen Zahl von Oberflächenfunktionen eignen sich VLPs hervorragend als Basis von Impfstoffen (Vaccine). So können sie anstelle von Viren, die sich in vitro nicht oder nur schwer züchten lassen, eingesetzt werden. Alternativ können VLP-Grundstrukturen dazu verwendet werden, an ihrer Oberfläche nicht-verwandte Antigene zu präsentieren. VLPs können außerdem als Biocontainer dem Drug Delivery dienen und haben großes Potenzial zur intravenösen Verabreichung von Wirkstoffen. Insbesondere VLPs, die von RNA-Viren abstammen, stellen ideale Vehikel zum Einschluss therapeutischer RNAs und damit zur geschützten Zielsteuerung von RNAs zu ihren Zielzellen dar.

## Standardisierte Herstellungsverfahren als Lösungsansatz

Das Potenzial von VLPs ist bisher nicht annähernd ausgeschöpft, insbesondere weil standardisierte Verfahren zu ihrer Herstellung fehlen. Expressions- und Reinigungsverfahren werden im Allgemeinen für jedes Protein bzw. VLP individuell entwickelt und optimiert. Diese empirische und individuell angepasste Herangehensweise ist jedoch zeit- sowie kostenintensiv und damit eine Herausforderung für die industrielle Produktion. Verfahren zur VLP-Herstellung werden durch Grundstrukturen, die modular für zahlreiche Anwendungen angepasst werden können, wesentlich vereinfacht und standardisierbar.

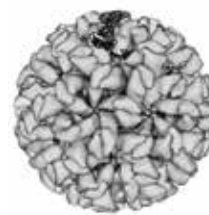
Mit diesem Vorhaben soll ein modulares System zur Herstellung von VLPs entwickelt werden. Ein Grundmodul mit einer inneren Kapselstruktur wird gentechnisch mit einer funktionellen variablen Proteinoberfläche ausgestattet, die entweder der Zielsteuerung der VLPs (Drug Delivery) oder der Impfstoffentwicklung dient. Da das Grundmodul immer unverändert bleibt und nur die Proteinoberfläche spezifisch gestaltet wird, lässt sich die Produktion der VLPs im Vergleich zu derzeitigen Systemen standardisieren und kann damit reproduzierbar, kostengünstig und zeitsparend erfolgen.



Analyse



Struktur



Assemblierung

### Effiziente und günstige VLP-Plattformtechnologie

Als Basis einer VLP-Plattformtechnologie wurden hüllenlose Viren der Familie *Caliciviridae* herangezogen. Zur Synthese der VLPs in der Bäckerhefe wurden Plasmide entwickelt, die für Varianten der Virusproteine kodieren. Die Bäckerhefe ist zur Herstellung von VLPs besonders gut geeignet, da in diesem Organismus Proteine für pharmazeutische Anwendungen nebenwirkungsarm und kostengünstig hergestellt werden können. Eine VLP-Grundstruktur konnte auf diese Weise bereits erfolgreich hergestellt und charakterisiert werden. Damit steht ein System zur Expression und Isolierung von nativen caliciviralen VLPs zur Verfügung, sodass im Anschluss ein Downstream Processing etabliert werden kann. Ziel ist es, auf Basis dieser VLPs ein effizientes und kostengünstiges Verfahren zu etablieren, das es ermöglicht, solche Biocontainer in großen Mengen und mit hoher Reinheit und Homogenität zu produzieren.

### Ausblick

Ein modulares System und ein entsprechend standardisiertes Verfahren hat ein breites Anwendungspotenzial und die Nachfrage auf dem Markt ist groß. Neben weltweit agierenden Konzernen teilen sich insbesondere KMU den pharmazeutischen Markt der Wirkstoffverabreichung und Impfstoffentwicklung auf.

### Kontakt



**Priv.-Doz. Dr. sc. nat. Susanne Bailer**

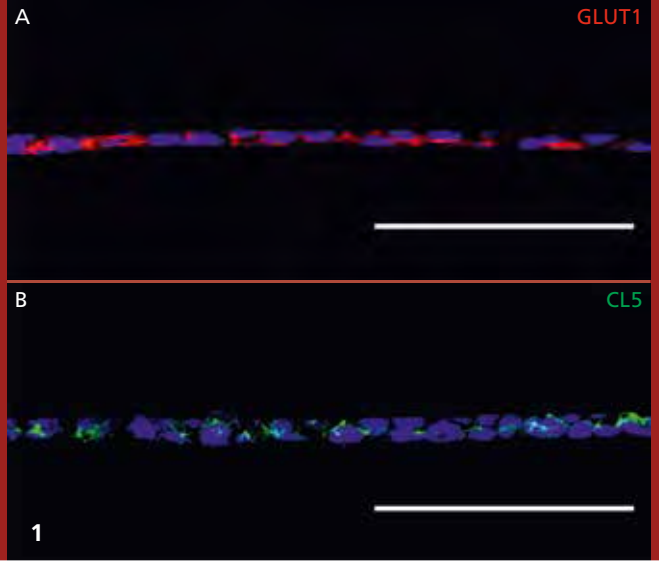
Telefon +49 711 970-4180  
susanne.bailer@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Wir danken der Fraunhofer-Gesellschaft für die Förderung des Projekts »Vari-VLP« im Rahmen des Programms Mittelstandsorientierte Eigenforschung (MEF).

- 1 Standardisierte Herstellung von VLPs.





# HUMANE IN-VITRO-BLUT-HIRN-SCHRANKEN-MODELLE FÜR DIE MEDIKAMENTEN-ENTWICKLUNG

Antje Appelt-Menzel, Alevtina Cubukova, Heike Walles, Marco Metzger

## Dichte Barriere zwischen Blut und Gehirn

Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) stellt eine der dichtesten und wichtigsten Barrieren zwischen Blutzirkulation und Zentralnervensystem (ZNS) dar. Sie besteht aus spezialisierten mikrovaskulären Endothelzellen, welche die zerebralen Kapillaren auskleiden und durch sehr dichte Zell-Zell-Verbindungen (Tight Junctions) miteinander verbunden sind. Zusammen mit Perizyten, Astrozyten, Neuronen, Mikrogliazellen und der extrazellulären Matrix der Basalmembran der Gehirnkapillaren bilden sie ein dynamisches, komplexes regulatorisches System, die sogenannte Neurovaskuläre Einheit [1]. Die Hauptfunktionen der BHS lassen sich in drei Untergruppen untergliedern, die physikalische, metabolische und Transport-Barriere. Hauptsächlich dient die BHS zur Aufrechterhaltung der Homöostase des ZNS und dem Schutz vor neurotoxischen Substanzen und Pathogenen, wie Bakterien und Viren.

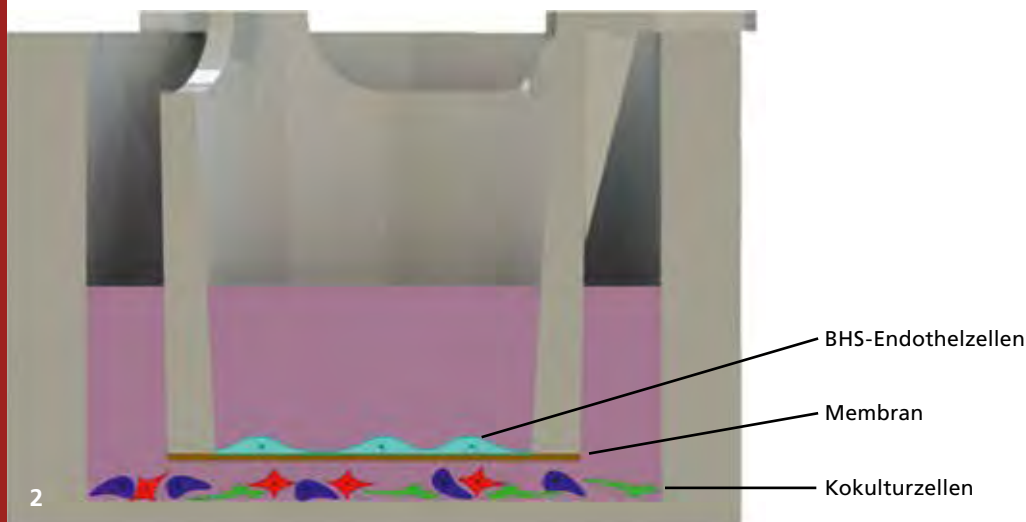
## Bedarf an BHS-Modellen für die Medikamentenentwicklung

Für die Entwicklung von Medikamenten zur Behandlung von neurodegenerativen Erkrankungen, wie Morbus Alzheimer, Parkinson und Multiple Sklerose oder Gehirntumoren, stellt die Dichtigkeit der BHS gegenüber Substanzen und die hohe metabolische Aktivität der Endothelzellen ein großes Problem dar. Viele Medikamente sind nicht in der Lage, die BHS in ausreichender Konzentration zu überwinden, um an ihren Wirkort zu gelangen. Oder sie werden vor dem Transport metabolisiert und verlieren somit ihre Wirksamkeit. Aufgrund des hohen Bedarfs an geeigneten Testsystemen in der Grundlagen- sowie präklinischen Forschung für Medikamentenentwicklung

und Infektionsstudien wurde eine Vielzahl unterschiedlicher BHS-Modelle entwickelt. Neben In-silico-, azellulären In-vitro- und In-vivo-Modellen sind auch zahlreiche zellbasierte Modelle der BHS entwickelt worden. Standardisierte Modelle auf Basis immortalisierter Zelllinien weisen jedoch nur eine inhomogene Tight-Junction-Expression auf und verfügen meist über eine geringe Barriereintegrität, erfasst über transendotheliale elektrische Widerstände (engl. trans-endothelial electrical resistance, TEER) unter  $150 \Omega \cdot \text{cm}^2$  [2]. Im Vergleich dazu wurden in Tierexperimenten TEER-Werte von mehr als  $1500 \Omega \cdot \text{cm}^2$  an der Blut-Hirn-Schranke gemessen [3, 4]. Die Verfügbarkeit humaner primärer BHS-Zellen ist sehr limitiert und ihr Einsatz nicht nur im Hinblick auf ethische Aspekte bedenklich. Humane Gehirnzellen können beispielsweise aus Biopsie- oder Autopsiematerial von Patienten mit Epilepsie oder Gehirntumoren isoliert werden. Allerdings besteht hier das Risiko, dass die isolierten Zellen mit krankheitsbedingt veränderten Zellen kontaminiert sind, was die Eigenschaften der BHS-Modelle erheblich beeinflussen kann.

## Neue Modelle aus induziert pluripotenten Stammzellen

Eine innovative Alternative, die diese Probleme umgeht, ist die Verwendung von humanen induziert pluripotenten Stammzellen (engl. human induced pluripotent stem cells, hiPSC), um standardisierte humane BHS-Modelle bereitzustellen. Wir sind in der Lage, unter reproduzierbaren Bedingungen hiPSC in vitro nach etablierten und reproduzierbaren Methoden in Endothelzellen der Blut-Hirn-Schranke zu differenzieren [5, 6] und zum Aufbau der Modelle einzusetzen. Die Endothelzellen wurden mithilfe protein- und genbasierter Nachweismethoden



auf das Vorhandensein von endothelzellspezifischen Markern, Tight-Junction-Markern sowie spezifischer Transporter untersucht (Abb. 1). Der Aufbau der BHS-Modelle erfolgt unter Verwendung von Transwell-Inserts als Quadrupel-Kultur mit Perizyten, Astrozyten und neuronalen Zellen, welche ebenfalls aus hiPSC differenziert werden können (Abb. 2). Die Barriereintegrität der Endothelzellen, nachgewiesen über TEER-Messungen, wird durch die Kokulturzellen verbessert, sodass wir je nach Kulturbedingungen zwischen  $1000 \Omega \cdot \text{cm}^2$  und  $2500 \Omega \cdot \text{cm}^2$  erreichen.

### Ausblick

Der Einsatz von Stammzellen eröffnet für die Entwicklung regenerativer Therapien ein riesiges Potenzial. So könnten z. B. patientenspezifische hiPSC genutzt werden, um in vitro Krankheitsmodelle in der zuvor beschriebenen Weise aufzubauen. Die hiPSC werden dazu in die o. g. Zellen differenziert, die von der Krankheit betroffen sind (aber wie am Beispiel des Gehirns schwer zugänglich sind) um davon ausreichend Modelle für Medikamententestungen aufzubauen.

Standardisierte, prädiktive Modellsysteme werden in der Pharmaindustrie dringend gebraucht, denn auf dem Weg zur Zulassung von Medikamenten scheitern die meisten Substanzen aufgrund von Toxizität und Wirksamkeitsdefiziten [7], obwohl sie zuvor an Tieren oder Zelllinien getestet wurden [8].

### Kontakt



**Dipl.-Ing. (FH) Antje Appelt-Menzel**

Telefon +49 931 31-80771  
antje.appelt-menzel@igb.fraunhofer.de



**Dr. sc. hum. Marco Metzger**

Telefon +49 931 31-86686  
marco.metzger@igb.fraunhofer.de

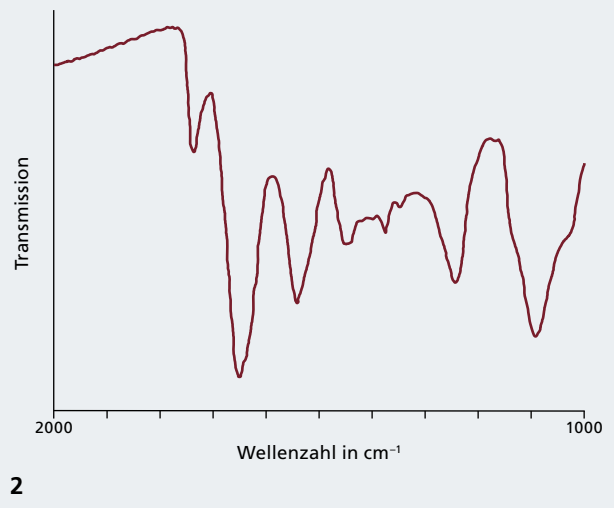
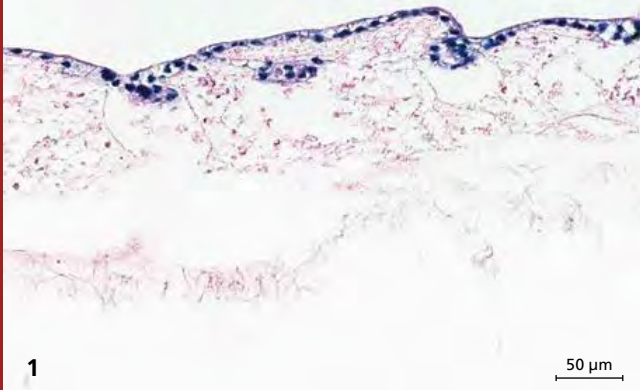
### Literatur

- [1] Hawkins, B. T. et al. (2005) *Pharmacological Reviews* 57(2): 173–185
- [2] Deli, M. A. et al. (2005) *Cell Mol Neurobiol* 25(1): 59–127
- [3] Butt, A. M. et al. (1990) *J Physiol* 429: 47–62
- [4] Crone, C. et al. (1982) *Brain Res* 241(1): 49–55
- [5] Lippmann, E. S. et al. (2012) *Nat Biotechnol* 30(8): 783–791
- [6] Lippmann, E. S. et al. (2014) *Sci Rep* 4: 4160
- [7] Kola, I. et al. (2004) *Nat Rev Drug Discov* 3(8): 711–715.
- [8] Lippmann, E. S. et al. (2013) *Fluids Barriers CNS* 10(1): 2

### Förderung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projekts »BioTransporter – Effizienter Wirkstofftransport in biologischen Systemen: Cyclodextrin-Komplexe zur Beschleunigung des Transportes lipophiler Wirkstoffe (LipoTrans)«, Förderkennzeichen 13N11803.

- 1 Färbung von GLUT1\*-Transporter (A) und CL5\*-Tight-Junctions (B) an BHS-Modellen.
- 2 Schematische Darstellung des Aufbaus der In-vitro-Blut-Hirn-Schranken-Modelle.



## ANALYSE DER PARTIKELVERTEILUNG IN GEWEBEMODELLEN MITTELS IR-MIKROSKOPIE

Michaela Müller, Monika Riedl

### Markierungsfreie Analytik für Wirkstoffformulierungen

Ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von Arzneimitteln ist die Aufnahme der formulierten Wirkstoffe über die Schleimhäute, zum Beispiel im Verdauungstrakt. Um diese in präparierten Gewebequerschnitten zu untersuchen, wird standardmäßig die konfokale Laserfluoreszenzmikroskopie eingesetzt. Hierfür ist in der Regel eine vorherige Markierung der Formulationsbestandteile mit fluoreszierenden Molekülen notwendig. Diese Farbstoffe können die Transporteigenschaften der Formulierung durch das Gewebe deutlich gegenüber der eigentlichen, nicht-markierten Formulierung verändern. Daher besteht eine große Nachfrage nach markierungsfreien analytischen Methoden. Am Fraunhofer IGB werden die konfokale Raman-Mikroskopie und die Infrarot-Mikroskopie als spektroskopische Methoden mit hoher Ortsauflösung eingesetzt, welche keine Sonden-Moleküle benötigen.

In dem vom BMBF geförderten Verbundprojekt »Plattform für effizienten epithelialen Transport für pharmazeutische Applikationen durch innovative partikuläre Trägersysteme« (PeTrA) wurden Transportstudien mit neu entwickelten Wirkstoffformulierungen an verschiedenen In-vitro-Gewebemodellen durchgeführt und anschließend die Verteilung der polymeren Nanopartikel hierin unter anderem mittels Infrarot-Mikroskopie untersucht.

### Messtechnik und Probenpräparation

Für eine erfolgreiche Messdurchführung ist neben der Auswahl einer geeigneten Gerätekonfiguration und der Auswahl der Messtechnik (Transmission, Reflexion oder abgeschwächte Totalreflexion ATR), vor allem die Probenpräparation

besonders wichtig. Im hier beschriebenen Beispiel erfolgten die Analysen mit dem Infrarot-Mikroskop Hyperion 3000 der Firma Bruker. Für Imaging-Aufnahmen wurde ein FPA-Detektor (Focal Plane Array) mit 64 mal 64 »Bildpunkten« verwendet. Jeder aufgenommene Bildpunkt enthält ein komplettes Infrarotspektrum, jede Imaging-Aufnahme also 4096 Einzelspektren.

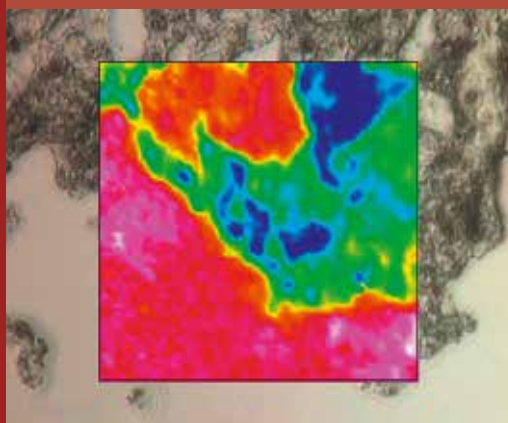
Die untersuchten biologischen Proben sind Darmmodellgewebe auf Basis von Caco-2-Zellen auf einer biologischen Kollagen-Matrix, welche in einem Bioreaktor mit der Polymerpartikelformulierung durchströmt wurden. Mittels eines Kryomikrotoms wurden Querschnitte mit einer Dicke von 20 µm präpariert und auf ein infrarotdurchlässiges Calciumfluorid-Fenster transferiert. Die Herstellung der Gewebemodelle und der Querschnittpräparationen erfolgte am Lehrstuhl für Tissue Engineering und Regenerative Medizin der Universität Würzburg durch die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Heike Walles. Auf einer Messfläche von ca. 170 mal 170 µm<sup>2</sup> wurden in Transmission mittels FPA-Detektor 64 mal 64 Infrarotspektren aufgenommen, woraus sich eine theoretisch mögliche laterale Auflösung von ca. 2,7 µm ergibt.

### Spezifische Infrarot-Bande

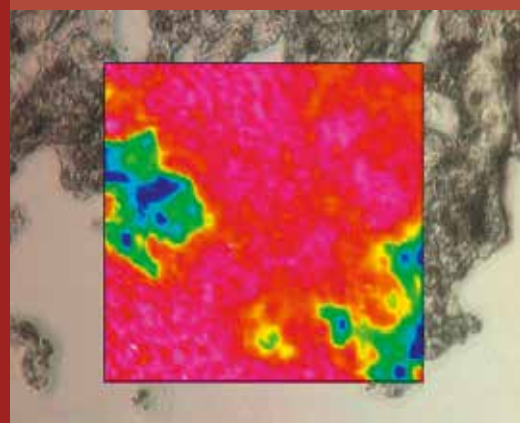
Infrarotspektren des Gewebemodells und der Partikelformulierung zeigen, dass die Partikel eine spezifische Absorptionsbande bei 1760 cm<sup>-1</sup> besitzen und so von der umgebenden Gewebematrix unterschieden werden können. Die Matrix besteht hauptsächlich aus Kollagen und zeigt typische Absorptionsbanden bei ca. 1650 cm<sup>-1</sup> und 1550 cm<sup>-1</sup> (Amidbanden). Die aufgenommenen Infrarot-Imaging-Aufnahmen



3



4



5

wurden daraufhin so ausgewertet, dass die Intensitätsverteilungen der jeweils integrierten Absorptionsbanden im Bereich  $1800-1700\text{ cm}^{-1}$  und  $1700-1500\text{ cm}^{-1}$  dargestellt werden.

Eine Gegenüberstellung des optischen IR-Mikroskopbildes (Abb. 3) mit den beiden ausgewerteten Imaging-Aufnahmen (Abb. 4) und Abb. 5) zeigt deutlich die Bereiche, an denen größere Partikelagglomerate vorliegen. Die hier untersuchte Formulierung reichte sich an der apikalen Seite des Gewebemodells an. Die Ergebnisse wurden mit anderen Untersuchungsmethoden bestätigt. Wir konnten an diesem Beispiel zeigen, dass eine Detektion von Agglomeraten nicht-markierter Wirkstoffpartikel in Querschnitten des Darm-Gewebemodells mittels IR-Mikroskopie möglich ist.

### Ausblick

Die Infrarot-Mikroskopie an biologischen Proben bietet sich überall dort an, wo eine orts aufgelöste chemische Information im Bereich  $\text{ca. } > 3\ \mu\text{m}$  gewünscht wird. Sie eignet sich z. B. auch zur Identifizierung von Abriebpartikeln von Implantaten im Gewebe oder bei der Identifizierung optisch sichtbarer Ablagerungen in Geweben als Folge von Proteindenaturierung oder Mineralisierung.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Michaela Müller**  
Telefon +49 711 970-4140  
michaela.mueller@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Christian Oehr**  
Telefon +49 711 970-4137  
christian.oehr@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projekts »PeTrA«, Förderkennzeichen 13N11457.

### Projektpartner

Evonik Industries AG, Darmstadt | Merck KGaA, Darmstadt | EMC microcollections GmbH, Tübingen | Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI), Braunschweig

- 1 Lichtmikroskopie an Gewebemodell mit angefärbten Caco-2-Zellen.
- 2 Infrarotspektrum des Gewebes im Bereich  $2000-1000\text{ cm}^{-1}$ .
- 3 Optisches Bild der analysierten Probenstelle.
- 4 FPA-Imaging im Bereich  $1700-1500\text{ cm}^{-1}$ ; blau/grün: Gewebe.
- 5 FPA-Imaging im Bereich  $1800-1700\text{ cm}^{-1}$ ; blau/grün: Partikel.



## IN-VITRO-INFEKTIONSMODELLE MIT IMMUNKOMPETENZ

Andreas Kühbacher, Anke Burger-Kentischer, Kai Sohn, Steffen Rupp

### In-vitro-Modelle für die Infektionsforschung

In der Infektionsforschung sind In-vitro-Modelle ideal dazu geeignet, um initiale Vorgänge bei der Kolonisation von epithelialen Oberflächen durch Pathogene zu untersuchen. Insbesondere Adhäsions- und Invasionsvorgänge können, wie bereits durch uns und andere vielfach gezeigt, sehr gut an humanen Infektionsmodellen untersucht und analysiert werden. Darüber hinaus können die Modelle zum Screening nach neuen Wirksubstanzen eingesetzt werden [1]. Dabei kann gleichzeitig die Wirkung auf die anwesenden humanen Zellen erfasst und so eine erste Einschätzung der toxischen Wirkung der potenziellen Arzneimittel gewonnen werden.

Weitergehende Untersuchungen, insbesondere die Interaktion von Pathogenen mit Komponenten des Immunsystems, sind bislang nur unzureichend möglich. Im Marie Curie Initial Training Network »ImResFun« arbeiten wir daher am Aufbau eines Hautmodells, in das neben epidermalen und dermalen Bestandteilen auch Immunzellen eingebettet werden. Im Fokus steht das Verständnis darüber, wie Epithelien und Immunzellen des Menschen auf die Kolonisation und Infektion mit Pathogenen reagieren und wie sie zur Abwehr der Pathogene dabei kommunizieren. Dies wird am Beispiel von Infektionen mit denen der Spezies *Candida* untersucht. Ziel des Netzwerks mit 12 Partnern aus neun europäischen Ländern ist es, neue Mittel zur Bekämpfung von *Candida*-Infektionen zu finden.

### Integration von Immunzellen in 3D-Hautmodelle

Bei Gesunden ist die menschliche Haut resistent gegen symptomatische Infektionen von Mikroorganismen, die wie *Candida albicans* natürlicherweise die Haut besiedeln. Eine tiefe Invasion in subepitheliale Gewebe, die *C. albicans* Zugang

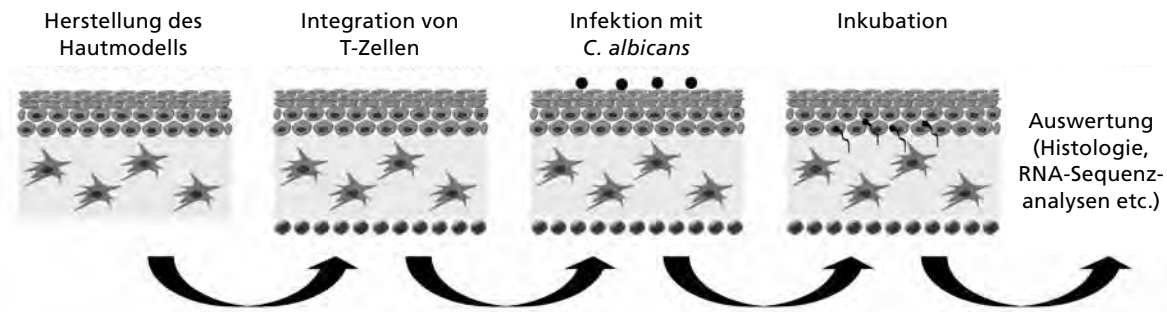
zum Blutkreislauf ermöglichen und zu einer systemischen Verbreitung führen würde, tritt bei Menschen mit intakter Haut normalerweise nicht auf.

Hautmodelle, die aus Keratinozyten als epidermale und in Kollagen eingebettete Fibroblasten als dermale Schicht bestehen, werden jedoch sehr schnell von *C. albicans* penetriert und zerstört [2]. Dies ist auch nicht überraschend, da die Hautmodelle keine Komponenten des Immunsystems besitzen. Aus diesem Grund haben wir reproduzierbar herstellbare Hautmodelle entwickelt, in die zusätzlich Immunzellen integriert wurden. Um die Hautmodelle, unabhängig von spenderbasierten Unterschieden bei Primärzellen, reproduzierbar zu gestalten, haben wir sie aus immortalisierten Keratinozyten und Fibroblasten aufgebaut. Als Immunzellen wurden sogenannte T-Zellen (Thymus-Lymphozyten) in die Modelle integriert (Abb. 1). Die Anwesenheit der T-Zellen führt dazu, dass das Eindringen von *C. albicans* in das Hautmodell stark reduziert wird und im Beobachtungszeitraum zum Stillstand kommt. Dies bedeutet, dass das System in vitro zumindest über eine teilweise Immunkompetenz verfügt.

### Immunantwort im Reagenzglas

Mithilfe von Next-Generation-Sequenzanalysen wurde dieses teilweise immunkompetente Infektionsmodell umfassend in sogenannten Dualen-RNA-Sequenzanalysen in Anwesenheit und Abwesenheit von *C. albicans* untersucht. Dabei konnten wir feststellen, dass keiner der individuellen Zelltypen für sich alleine eine effektive Abwehr von *C. albicans* erreichte. Vielmehr ist eine zytokinvermittelte Kommunikation zwischen den verschiedenen Zelltypen notwendig, um eine effektive antimikrobielle Antwort auszulösen. Eines der Schlüsselmoleküle,





2

die wir in diesen Analysen identifizieren konnten, ist der für die Erkennung des Pathogens notwendige Immunrezeptor TLR2. Dieser induziert eine Signalkaskade, die die Pilzinvasion letztendlich zum Stillstand bringt.

### Immunrezeptoren – Signalgeber des Immunsystems

Diese Ergebnisse unterstreichen die Rolle von Immunrezeptoren als wichtige Sensoren und Regulatoren des Immunsystems, die dem Körper helfen zu entscheiden, wann und wie die körpereigenen Abwehrmechanismen aktiviert werden müssen. Im Rahmen von ImResFun suchen wir daher zudem immunmodulatorische Substanzen für Immunrezeptoren. Hierbei werden am Fraunhofer IGB entwickelte Screeningssysteme eingesetzt [3], um Immunmodulatoren zu finden, die eine nicht ausreichende Immunantwort unterstützen oder überschießende Immunantworten dämpfen können. Mit diesem Ansatz kann das körpereigene Arsenal gegen Pathogene viel stärker in therapeutische Ansätze einbezogen und so ein schnelleres Abklingen von Infektionskrankheiten und ein besserer Schutz vor Infektionen erreicht werden.

### Ausblick

Diese vielversprechenden Ansätze, teilimmunkompetente In-vitro-Modelle aufzubauen, werden wir weiter ausbauen, um die molekularen Mechanismen der körpereigenen Abwehr an Epithelien besser zu verstehen und auf dieser Basis neue Wirkstoffe für die Therapie von Infektionserkrankungen zu entwickeln.

- 1 *Histologischer Schnitt durch ein In-vitro-Hautmodell bestehend aus Keratinozyten (obere Schicht), Fibroblasten (mittlere Schicht) und T-Zellen (untere Schicht).*
- 2 *Vorgehensweise bei der Untersuchung von Candida-Infektionen an immun-supplementierten Hautmodellen.*

### Kontakt



**Dr. Andreas Kühbacher**  
Telefon +49 711 970-4166  
andreas.kuehbacher@  
igb.fraunhofer.de



**apl. Prof. Dr. rer. nat. Steffen Rupp**  
Telefon +49 711 970-4045  
steffen.rupp@igb.fraunhofer.de

### Literatur

- [1] Burger-Kentischer, A. et al. (2011) A screening assay based on host-pathogen interaction models identifies a set of novel antifungal benzimidazole derivatives, *Antimicrobial agents and chemotherapy* 55 (10): 4789–4801. doi:10.1128/AAC.01657-10
- [2] Dieterich, C. et al. (2002) In vitro reconstructed human epithelia reveal contributions of *Candida albicans* EFG1 and CPH1 to adhesion and invasion, *Microbiology* 148 (Pt 2): 497–506
- [3] Burger-Kentischer, A. et al. (2010) A new cell-based innate immune receptor assay for the examination of receptor activity, ligand specificity, signalling pathways and the detection of pyrogens, *Journal of immunological methods* 358 (1–2): 93–103. doi:10.1016/j.jim.2010.03.020

### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Projekt »ImResFun« als Marie Curie Initial Training Network im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7/2007–2013), Förderkennzeichen MC-ITN-2013-606786.

### Weitere Informationen und Projektpartner

[www.imresfun.org](http://www.imresfun.org)



# CHEMIE

Die chemische Industrie gehört zu den bedeutendsten und forschungsintensivsten Branchen in Deutschland. Viele Innovationen in anderen Branchen wie Automobil-, Elektro- und Elektronikindustrie, Bauwirtschaft oder Verpackungstechnik wären ohne den Beitrag der Chemie nicht möglich. Die chemische Industrie ist gekennzeichnet durch rohstoff- und energieintensive Prozesse. Die Abhängigkeit vom Import der Rohstoffe, die Begrenztheit der fossilen Ressourcen weltweit – auch im Wettbewerb mit der energetischen Nutzung – und die Notwendigkeit, Auswirkungen auf das Klima und die Umwelt zu berücksichtigen, rücken deshalb auch in unseren Arbeiten Ansätze in den Vordergrund, fossile Ressourcen besser zu nutzen oder zu substituieren:

**Biobasierte Chemikalien und Materialien** – Unsere Arbeiten zielen auf die Entwicklung von biotechnologischen (fermentativen oder biokatalytischen) Prozessen zur Herstellung von Chemikalien und Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen, biogenen Reststoffen oder Mikroalgen und die Kopplung mit chemischen Prozessen. Neue Möglichkeiten, die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in den industriellen Maßstab zu übertragen, bietet das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP in Leuna.

**Prozessintensivierung und -integration** – Die Stofftrennung ist in vielen Bereichen der chemischen Industrie ein zentraler Prozessschritt, denn sowohl Rohstoffe als auch Synthese- oder Fermentationsprodukte liegen oftmals als Stoffgemische vor. Zur effektiveren Nutzung von Rohstoffen und Energie stehen daher die Entwicklung von Verfahren zum Upstream- und Downstream-Processing mit effektiver Separation von Stoffströmen mittels Membranen oder anderen Trenntechniken in unserem Fokus. Die integrierte Kreislaufführung von Stoffströmen und Rückgewinnung von Wertstoffen (Recycling) als Bestandteil eines nachhaltigen Abfallmanagements stellen hierbei aktuelle Handlungsfelder dar. Eine Steigerung der Effizienz durch bessere Umsetzungsraten erreichen wir beispielsweise durch einen intensiven Energieeintrag mit Mikrowellen.

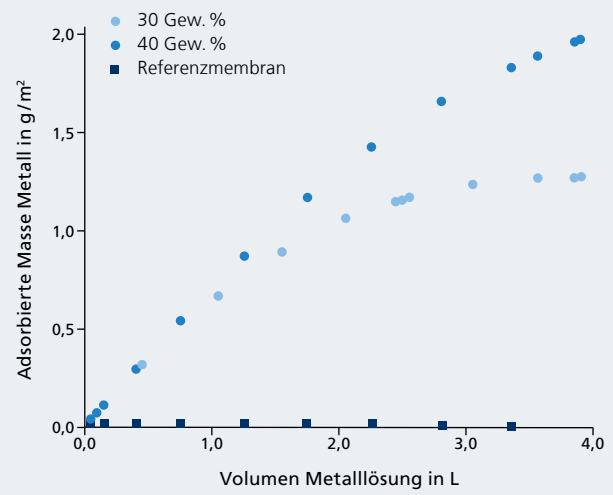
**Funktionale Oberflächen und Materialien** – Durch die Entkopplung von Volumen- und Oberflächeneigenschaften von Materialien durch Grenzflächenverfahrenstechnik, beispielsweise in Form maßgeschneiderter Beschichtungen, die ihrerseits verfahrenstechnisch auf Ressourceneffizienz ausgelegt sind, ergeben sich neue Wahlmöglichkeiten für die Basismaterialien von Werkstücken und damit auch für neue Produkte auf Basis einer nachhaltigen Rohstoffauswahl.

Zudem untersuchen wir Chemikalien (z. B. im Rahmen von REACH) auf ihr Gefährdungspotenzial. In unseren vielfältigen Forschungsarbeiten stellen wir uns, auch in Kooperation mit anderen Instituten des Fraunhofer-Verbands Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS oder der Fraunhofer-Allianzen Nanotechnologie, Photokatalyse, Polymere Oberflächen POLO® und Reinigungstechnik, den Herausforderungen dieser neuen Ansätze.



Partikel	chemische Funktion		potentielle Zielsubstanzen
●-COO <sup>-</sup>	Carboxyl	schwacher Kationentauscher	(Schwer-)Metalle
●-SO <sub>3</sub>	Sulfonat	starker Kationentauscher	(Schwer-)Metalle
●-NH <sub>2</sub>	Amin	schwacher Anionentauscher	Arsen, Diclofenac-Na
●-NMe <sub>3</sub>	quarternäres Ammonium	starker Anionentauscher	Penicillin G (K-Salz)
●-PO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Phosphonat	komplexierend	Seltene Erden, Eisen, Aluminium
●-NHSNH <sub>2</sub>	Thioharnstoff	Affinität	Silber, Gold, PGM
●	heteroaromatisch	hydrophobe Adsorption	Industriechemikalien, Medikamente
●	aromatisch	hydrophobe Adsorption	Industriechemikalien, Medikamente

1



2

# LEITPROJEKT »KRITIKALITÄT SELTENER ERDEN«

Uwe Vohrer, Thomas Schiestel, Klaus Niedergall, Christopher Hänel, Thomas Scherer, Max Kotzur, Lea König, Gabriele Beck-Schwadorf, Susanne Größchen, Hedwig Pilgram, Iris Trick

## Recycling von Magneten

Im Fraunhofer-Leitprojekt »Kritikalität Seltener Erden« ist das Fraunhofer IGB verantwortlich für das Arbeitspaket 7 »Gewinnung von Seltenen Erden aus Permanentmagneten und Produktionsabfällen« und hat sich mit den Projektpartnern bis zum Midterm-Meeting drei Ziele gesetzt. Erstens sollen Sintermagnete aus gebrauchten Elektromotoren so recycelt werden, dass das aufbereitete Granulat der Primärproduktion zu mindestens zehn Prozent zugeschlagen werden kann, ohne die Eigenschaften der Magnete zu beeinträchtigen. Zweitens soll geprüft und nachgewiesen werden, inwieweit das rezyklierte Magnetgranulat für die Herstellung kunststoffgebundener Magnete einsetzbar ist. Drittens sollen Magnete und/oder Produktionsstäube stofflich so aufgearbeitet werden, dass Metalloxide oder Metalle zurückgewonnen werden, die als rezykliertes Ausgangsmaterial in einen Produktionsprozess rückgeführt werden können.

## Stoffliche Aufarbeitung

Alle Meilensteine und Ziele wurden erfolgreich erreicht. Da sich das Fraunhofer IGB innerhalb des Forschungsprojekts auf den Bereich der stofflichen Aufarbeitung fokussiert, sind nachfolgend die wichtigsten Ergebnisse der drei dabei untersuchten und weiterentwickelten Technologien dargestellt.

## Bioleaching

Beim Bioleaching handelt es sich um Verfahren, die im Primärabbau von Metallen seit Jahrtausenden bekannt sind und mit dem heutigen Stand der Biotechnik in der Aufarbeitung von metallhaltigen Abfallströmen eingesetzt werden können. Dennoch gab es vor Projektbeginn noch keine Erkenntnisse über geeignete Mikroorganismenstämme, die für die Aufarbeitung

von Altmagneten eingesetzt werden und idealerweise Neodym spezifisch auswaschen können.

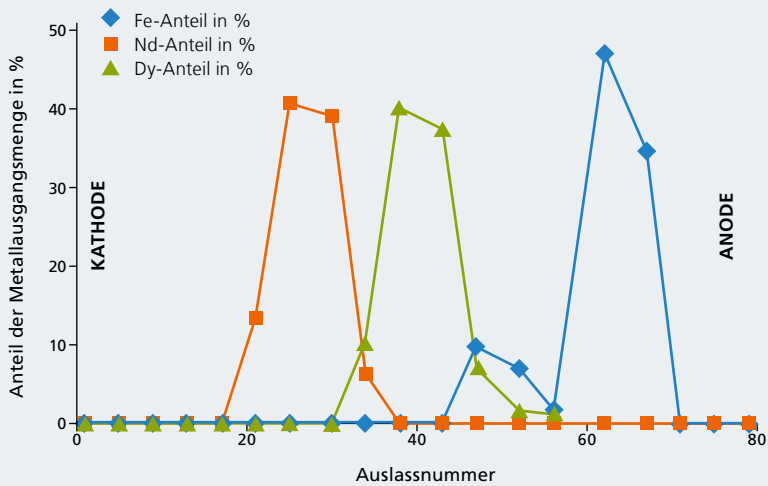
Wir haben daher sowohl bekannte Bakterienstämme untersucht, als auch Organismen aus Bodenproben isoliert und im Labormaßstab in Bezug auf ihre Fähigkeit zur Freisetzung und Anreicherung von Neodym bewertet. Dazu wurden gerührte Bioreaktoren und Festbettreaktoren eingesetzt. Aus den Bodenproben konnte eine Population aus verschiedenen aeroben Bodenbakterien isoliert und kultiviert werden. Diese wurden charakterisiert und u. a. rasterelektronenmikroskopisch abgebildet. Diese Population zeigt im Labormaßstab eine bevorzugte Freisetzung und damit Anreicherung des Neodyms.

Fazit: Es konnte ein aerober Prozess mit einer geeigneten Mischpopulation aufgebaut und gezeigt werden, dass die darin eingesetzten Mikroorganismen zu einer spezifischen Anreicherung von Neodym fähig sind.

## Membranadsorption

Membranadsorber konnten als Flach- und als Hohlfasermembranen realisiert werden. Die adsorberaktive Schicht wurde dabei in Form modifizierter Partikel bis zu 40 Gewichtsprozent eingebracht. Die Flachmembranen haben beispielsweise eine Dicke von  $107 \pm 9 \mu\text{m}$ . Als Adsorbermaterialien wurden unterschiedliche Partikel getestet. Abb. 1 zeigt eine Auswahl der eingesetzten chemisch funktionalisierten Partikel.

Die Kapazität einer mit 30 bzw. 40 Gewichtsprozent Phosphonat-Partikeln beladenen Membran für Neodym im Vergleich zu einer nichtbeladenen Referenzmembran zeigt Abb. 2.



3



4

Fazit: Es konnte gezeigt werden, dass funktionalisierte Membranadsorber genutzt werden können, um verdünnte Neodym-Lösungen um den Faktor 100 anzureichern. Die Beladung ist vollständig reversibel. Über die Desorption kann eine gewisse Selektivität für die Trennung von Neodym und Dysprosium erreicht werden.

### Free-Flow-Elektrophorese (FFE)

Mittels der Free-Flow-Elektrophorese können Ionen im elektrischen Feld abgelenkt und getrennt werden. Abb. 3 zeigt die erfolgreiche Trennung eines Neodym-Dysprosium-Eisen-Gemisches. Als Probe diente ein Eluat aus der Membranadsorption. Als Komplexligand wurde EDTA im Verhältnis eins zu eins zu Dysprosium und Eisen verwendet. Als Trennmedium wurden HCl und KCl in einem 3,25-mM-Acetatpuffer eingesetzt. Die Feldstärke betrug 139,5 V/cm und die Verweilzeit 90 Sekunden. Des Weiteren konnte eine Aufskalierung des Reaktors um den Faktor drei im Labormaßstab realisiert werden (Abb. 4).

Fazit: Es konnte gezeigt werden, dass mittels der optimierten Free-Flow-Elektrophorese auch Metalle der Seltenen Erden voneinander getrennt werden können. Neben dem Nachweis der prinzipiellen Machbarkeit konnte bereits eine Skalierung der Anlage um den Faktor drei erfolgreich umgesetzt werden.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Uwe Vohrer**

Telefon + 49 711 970-4134

uwe.vohrer@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Thomas Schiestel**

Telefon + 49 711 970-4164

thomas.schiestel@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Über die Leitprojekt-Initiative will die Fraunhofer-Gesellschaft den Wirtschaftsstandort Deutschland stärken, indem wissenschaftlich originäre Ideen schnell in marktfähige Produkte umgesetzt werden.

### Projektpartner

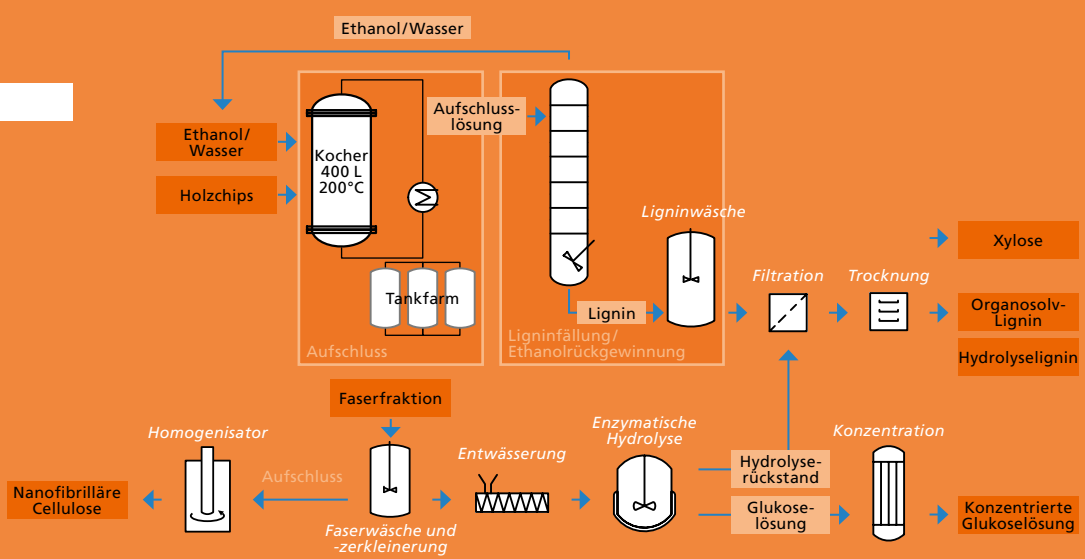
Fraunhofer-Institute IWMS, IWM, IWU, IWKS, IGB, IFAM, ISI, LBF

### Weitere Informationen

[www.seltene-erden.fraunhofer.de](http://www.seltene-erden.fraunhofer.de)

- 1 In den Membranadsorbern wurden Partikel mit unterschiedlichen funktionellen Gruppen eingesetzt.
- 2 Adsorption von Neodym an  $PO_3H^-$ -funktionalisierten Partikeln.
- 3 Trennung von Fe, Nd und Dy mittels Free-Flow-Elektrophorese aus einem Eluat der Membranadsorption.
- 4 Free-Flow-Elektrophorese-Prototyp.





# NANOFIBRILLÄRE CELLULOSE

Carmen Gruber-Traub, Achim Weber

## Biobasierter Grundstoff für neue Anwendungen

Cellulose ist der Hauptbestandteil in Pflanzen und hat große technische und wirtschaftliche Bedeutung. Sie wird in unseren Breiten vorwiegend aus Holz oder Stroh gewonnen. Die größten Mengen an Cellulose werden in der Papier- und Textilindustrie umgesetzt. Das aktuelle Interesse richtet sich auf drei neue Arten von Cellulose: Nanofibrilläre Cellulose (NFC), nanokristalline Cellulose (NCC) und bakterielle Nanocellulose (BNC). Diese werden unter dem Begriff Nanocellulose zusammengefasst. Bisher ist Nanocellulose jedoch noch nicht kommerziell verfügbar. Ihre Herstellung erfolgt momentan nur in Pilotanlagen.

## Nanocellulose aus Restströmen von Lignocellulose-Bioraffinerien

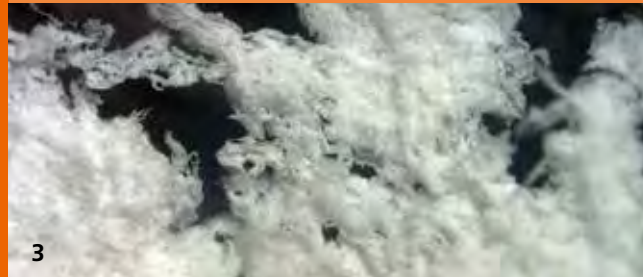
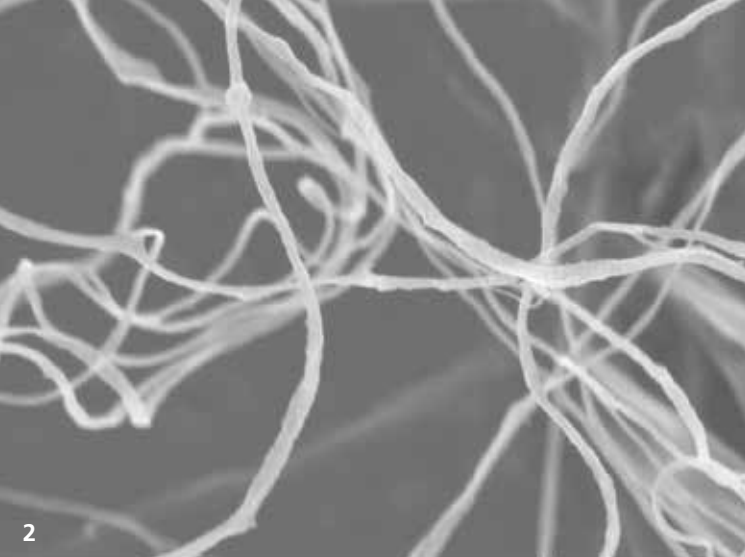
Für die Herstellung von Nanocellulose wird am Fraunhofer IGB ein bisher ungenutzter Reststrom der Lignocellulose-Bioraffinerie des Fraunhofer CBP als Ausgangsmaterial eingesetzt. Für die Umwandlung von Holz oder Lignocellulose in Basischemikalien für die Chemie der Zukunft wird bei diesem Verfahren das Holz zunächst aufgeschlossen und in seine chemischen Grundbestandteile aufgetrennt. Aus dem bisher ungenutzten lignocellulosehaltigen Reststrom (Abb. 1) konnte erfolgreich nanofibrilläre Cellulose (NFC) hergestellt werden. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung und Optimierung verfahrenstechnischer Parameter durch den Eintrag von Scherkräften während der Behandlung im Hochdruckhomogenisator oder bei der Verwendung von Ultraschall. Ebenso werden die entsprechenden Reinigungs- und Bleichverfahren optimiert.

## Neuer NFC-Herstellungsprozess durch Verfahrenskombination

Der entwickelte Gesamtprozess zur Herstellung der NFC teilt sich in drei Stufen: Aufreinigung, Bleichen und Extraktion. Die Aufreinigung (1. Stufe) besteht aus einem Quellvorgang zur Oberflächenvergrößerung und ethanolischen Reinigung der Fasern mit anschließender Alkalibehandlung. Beim Bleichen (2. Stufe) werden Restlignin und weitere unerwünschte Komponenten entfernt. Die Extraktion (3. Stufe) der NFC wird durch Eintrag hoher Scherkräfte realisiert. In diesem Schritt wurden am Fraunhofer IGB unterschiedliche Prozessschritte wie Ultraschalleintrag, Zerkleinerung mittels Rotor-Stator und der Einsatz eines Hochdruckhomogenisators unter Laborbedingungen untersucht und ein geeigneter Gesamtprozess durch Kombination verschiedener Verfahren entwickelt. Die NFC (Abb. 2) kann am Institut bisher im Grammaßstab hergestellt werden, eine Skalierung des Verfahrens ist möglich.

## Cellulose als Basis für neuartige Werkstoffe

In verschiedenen Industriezweigen steigt die Nachfrage nach faserverstärkten Verbundstoffen wie beispielsweise glasfaser- oder kohlefaserverstärkten Polymeren. Für viele dieser Anwendungen könnte der Einsatz von Nanocellulose eine echte, biobasierte Alternative zu den bisher eingesetzten Materialien darstellen. Die Vorteile von Cellulose sind ihre biologische Abbaubarkeit, ihre CO<sub>2</sub>-Neutralität, ihre große Verfügbarkeit und ihr geringer Preis. Zudem hat Cellulose eine hohe Zugfestigkeit und eine geringe Dichte. Zum Vergleich besitzen Carbonfasern und Kohlenstoffnanoröhren (CNT) ein Elastizitätsmodul von 270 GPa bis 950 GPa bei einer Zugfestigkeit von 30 GPa [1]. Allerdings sind die Produktionskosten sehr hoch. Hier liegt die Chance für Nanocellulose, die sich potenziell erheblich günstiger produzieren lässt. Bei einem Elastizitätsmodul von 150 GPa und einer Zugfestigkeit von 10 GPa – was beinahe



2

3

dem 8fachen von Stahl entspricht – und der geringsten Dichte der hier verglichenen Stoffe sind Kompositwerkstoffe möglich, die bei gleicher Festigkeit und Belastung ein Vielfaches an Gewicht und Kosten sparen können [2].

Aktuell wird am Fraunhofer IGB die Einarbeitung der Nanocellulose in Polylactid und Polyethylen untersucht (Abb. 3). Die Herausforderung hierbei liegt in einer möglichst homogenen Dispergierung der NFC in der Polymermatrix. Für Firmen, die ihre cellulosehaltigen Reststoffe in höherwertige Produkte umwandeln möchten, um diese am Markt zu platzieren, bietet unsere Entwicklung eine nachhaltige Alternative. So könnten beispielsweise neue Rohstoffquellen wie Baumwolle für die Nanocelluloseherstellung erschlossen werden. Gemeinsam mit industriellen Partnern soll daher in Anschlussprojekten an der vollständigen stofflichen Nutzung von Restströmen zur Gewinnung von Nanocellulose und dem Upscaling des Gesamtverfahrens gearbeitet werden.

### Ausblick

In den nächsten Jahren wird sich zeigen, ob sich die Nanocellulose sowohl hinsichtlich des Preises als auch in der Verwendbarkeit gegen konkurrierende Stoffe (wie z. B. Carbonfasern oder Graphen) durchsetzen kann.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Carmen Gruber-Traub**

Telefon +49 711 970-4034  
carmen.gruber-traub@  
igb.fraunhofer.de



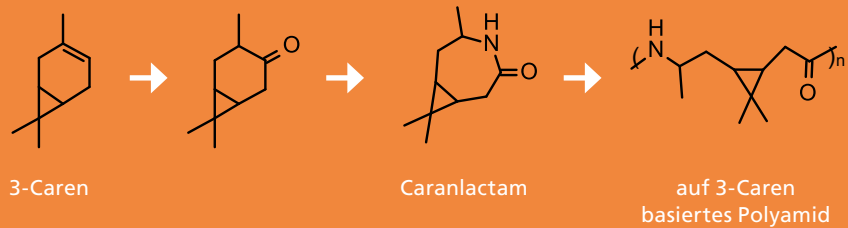
**Dr. rer. nat. Achim Weber**

Telefon +49 711 970-4022  
achim.weber@igb.fraunhofer.de

### Literatur

- [1] Yu, M.; Lourie, O.; Dyer, M.; Moloni, K.; Kelly, T.; Ruoff, R. (2000) Strength and Breaking Mechanism of Multiwalled Carbon Nanotubes Under Tensile Load, Science Magazine 287: 637–640
- [2] Crotagino, R. (2012) The economic impact of Nanocellulose; Arbornano – International Symposium on Assessing the Economic Impact of Nanotechnology, Washington DC, 27.03.2012

- 1 *Lignocellulose-Bioraffinerie mit NFC-Aufschluss.*
- 2 *NFC aus Restströmen der Lignocellulose-Bioraffinerie des Fraunhofer CBP.*
- 3 *Faserfraktion aus Reststrom (oben) und Kompositmaterial (NFC/Polylactid, unten).*



1

## ENTWICKLUNG TRANSPARENTER HOCHLEISTUNGSPOLYAMIDE AUS ABFÄLLEN DER HOLZINDUSTRIE

Harald Strittmatter, Dominik Pastötter, Paul Stockmann, Volker Sieber

### Ausgangssituation und Projektziel

Terpene fallen in großen Mengen als Nebenprodukt der Cellulosegewinnung an. Bis heute werden diese substituierten cyclischen oder bicyclischen, teilweise funktionalisierten Kohlenwasserstoffe überwiegend thermisch verwertet. Ziel der hier beschriebenen Arbeiten war der Ausbau der im Jahresbericht 2014 vorgestellten Entwicklung von Terpenlactamen als Bausteine für biobasierte Polyamide. Neben Campher, das aufgrund der bereits im Molekül vorhandenen Carbonylgruppe in nur einer chemischen Synthesestufe zum Monomer umgesetzt werden kann, haben wir uns mit 3-Caren, einem Hauptinhaltsstoff von Terpentinöl, beschäftigt.

### Synthese von Caranactam

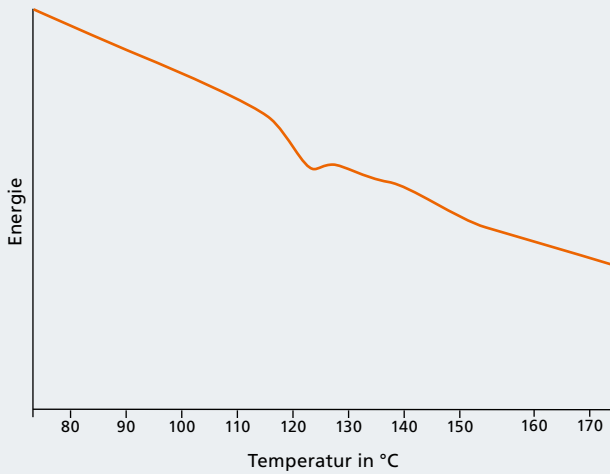
3-Caren ist, wie Campher, ebenfalls ein bicyclisches Terpen. Allerdings muss die für die Herstellung eines Lactams benötigte Carbonylgruppe erst durch Oxidation der im Molekül vorhandenen Doppelbindung erzeugt werden. Das auf 3-Caren basierte Lactam (Caranactam) verspricht jedoch eine im Vergleich zum Campherlactam einfachere Polymerisation, da der zweite Zyklus weiter von der für die Kettenbildung benötigten funktionellen Gruppe entfernt ist. Damit sorgt er, wie die DSC-Analyse (Differenzkalorimetrie, engl. Differential Scanning Calorimetry) andeutet, für eine geringere, für die erwarteten Kunststoffeigenschaften aber ausreichende sterische Hemmung.

### Polymerisation von Caranactam

Die Polymerisation des auf 3-Caren basierten Lactams kann analog der Herstellung von Polyamid 6 anionisch (Reaction in mold, RIM) erfolgen. Bei der anionischen Polymerisation wird das Lactam geschmolzen und beispielsweise durch Zugabe von Natriumhydrid und Essigsäureanhydrid polymerisiert. Die Polymerisation des Caranactams erfolgt bei Temperaturen von etwa 220 °C innerhalb weniger Minuten. Auf diese Weise erhalten wir ein transparentes Polymer, das bei der dynamischen Differenzkalorimetrie keinen Schmelzpunkt aufweist (Abb. 2). Dies deutet darauf hin, dass höchstens noch geringe kristalline Bereiche vorhanden sind.

### Vorteile der neuen Polyamide

Im Gegensatz zu den meisten anderen Biopolymeren, die aus Zucker oder Stärke hergestellt werden und damit in direkter Konkurrenz zur Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung stehen, werden im hier beschriebenen Fall Reststoffe verwertet. Aufgrund des sterisch anspruchsvollen substituierten Ringes zwischen den Amidbindungen erhalten wir Materialien, die – im Unterschied zu den typisch teilkristallinen Standardpolymeren – überwiegend amorphe Eigenschaften aufweisen und aufgrund ihrer Transparenz neue Anwendungen, beispielsweise für die Herstellung von Skibrillen, ermöglichen.



### Weitere Arbeiten

Ziel weiterer Arbeiten ist es, ein optimiertes Syntheseverfahren für Caranlactam und das entsprechende Polymer zu entwickeln, das die ökonomisch kompetitive Herstellung von Kilogramm-Mengen des Kunststoffes ermöglicht. Nach der Produktion von Prüfkörpern sollen die mechanischen Eigenschaften des neuen Materials bestimmt und mögliche Anwendungen identifiziert werden.

### Kontakt



**Dr. phil. Harald Strittmatter**  
 Telefon +49 9421 187-350  
[harald.strittmatter@igb.fraunhofer.de](mailto:harald.strittmatter@igb.fraunhofer.de)

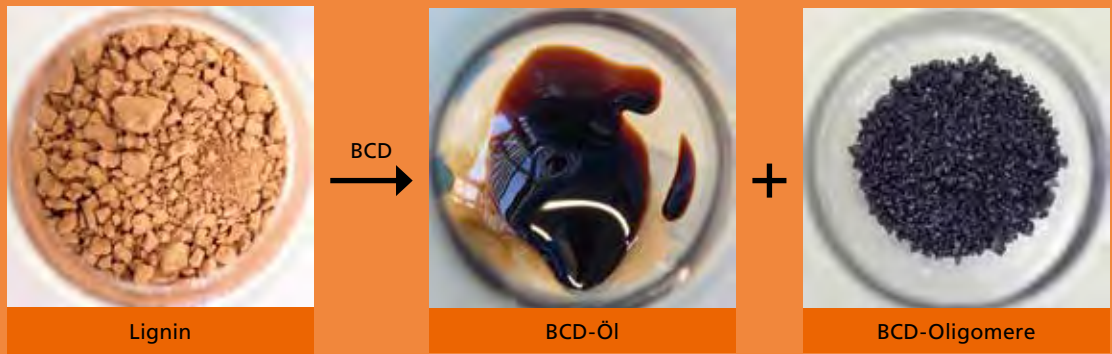


**Prof. Dr. rer. nat. Volker Sieber**  
 Telefon +49 9421 187-300  
[volker.sieber@igb.fraunhofer.de](mailto:volker.sieber@igb.fraunhofer.de)

### Förderung

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie für die finanzielle Unterstützung.

- 1 Polyamide aus Caranlactam.
- 2 Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) des neuen Polyamids.
- 3 Die biobasierten amorphen Polyamide eignen sich auch für transparente Anwendungen.



1

## VERFAHRENSSKALIERUNG ZUR HERSTELLUNG VON BIOAROMATEN AUS LIGNIN

Daniela Pufky-Heinrich, Björn Rößiger, Robert Röver, Gerd Unkelbach

### Lignin als biobasierter Rohstoff

Zur Erzeugung von Basischemikalien fokussieren aktuelle Entwicklungen auf pflanzliche Biomassen, die nicht als Lebensmittel oder zur Lebensmittelherstellung sowie als Futtermittel verwendet werden und als Rohstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen zur Verfügung stehen. Hierbei spielen Lignocellulosen wie Holz eine wesentliche Rolle. Grundsubstanz des Holzes ist neben Cellulose das Lignin. Es wird in den pflanzlichen Zellwänden eingebaut und verleiht dem Holz seine Festigkeit. Derzeitige Verfahren zur Herstellung chemisch-technischer Produkte aus lignocellulosehaltigen Rohstoffen sind jedoch weitestgehend auf die Gewinnung von Zellstoff ausgerichtet und nicht auf die ganzheitliche Nutzung aller Inhaltsstoffe ausgelegt [1]. In der Zellstoffindustrie fallen jährlich weltweit etwa 50 Mio Tonnen Lignin als Nebenprodukt an, überwiegend in Form des sogenannten Kraftlignins. Der Großteil dieses Lignins wird bisher vor allem energetisch genutzt und direkt in den Zellstoffwerken verbrannt [2].

In geringem Umfang wird Lignin unter Erhalt der polymeren Struktur für Anwendungen als Bindemittel, Zementzusatz oder in Kautschukadditiven genutzt. Dabei besitzt es durch seine aromatische Grundstruktur ein enormes Potenzial als Rohstoffquelle für die Herstellung aromatischer Synthesebausteine.

### Aufspaltung von Lignin zu aromatischen Strukturen

Durch die Spaltung des phenolischen Makromoleküls Lignin lassen sich Gemische aromatischer Synthesebausteine erhalten, die als direkter Rohstoff, z. B. für Phenol-Formaldehydharze, Polyurethane oder in Epoxiden eingesetzt werden können oder sich nach weiterer Auftrennung und

Defunktionalisierung zu den klassischen Aromaten Benzol, Toluol, Xylol oder Phenol konvertieren lassen. Hierfür eignen sich unterschiedliche Verfahren wie Hydrolyse, oxidative und reduktive Spaltungen oder enzymatische Umsetzungen. Großtechnisch wird bisher nur die oxidative Spaltung von Lignosulfonaten zu Vanillin realisiert. Für andere Ansätze wurden bis heute noch keine industriellen Verfahren beschrieben [3].

Der Prozess der basenkatalysierten Depolymerisation (engl. base-catalyzed depolymerization, BCD) von Lignin führt zur Hydrolyse der Ether-Bindungen im Ligninmakromolekül und dadurch zur Bildung von monomeren, dimeren und oligomeren alkylfunktionalisierten aromatischen Verbindungen. In wässrigen oder alkoholischen Systemen wird der BCD-Prozess bei Temperaturen von bis zu 350 °C und bei 250 bar durchgeführt. Intensive Untersuchungen sowohl an Organosolv-Lignin als auch schwefelhaltigem technischen Lignin wurden am Fraunhofer ICT im Labormaßstab durchgeführt und der Prozess optimiert. Der BCD-Prozess liefert sehr selektiv und in hohen Ausbeuten aromatische Spaltprodukte [4].

### Pilotierung des Verfahrens am Fraunhofer CBP

Am Fraunhofer CBP wurde die Skalierung dieses Verfahrens in den Pilotmaßstab erfolgreich durchgeführt. In einer mehrstufigen Prozessauslegung haben wir das kontinuierliche Verfahren der chemischen Spaltung von Lignin und die anschließende Abtrennung und Aufreinigung der Aromatenfraktionen untersucht und optimiert. Mit einer Kapazität von bis zu 20 kg/h wird die alkalische Lösung prozessiert. Nach der Depolymerisation werden die aromatischen Ligninbruchstücke durch Ansäuern der Reaktionslösung freigesetzt und bei der anschließenden Separation und Aufreinigung durch mechanische und





2



3

thermische Trennverfahren in eine flüssige monomerreiche Ölfraction (BCD-Öl) und eine feste oligomerreiche Phenolfraction (BCD-Oligomere) getrennt. Hierfür stehen am Fraunhofer CBP diverse Filtereinheiten und Zentrifugen zur Verfügung. Die BCD-Öl-Extraktion erfolgt in einer kontinuierlichen Gegenstromextraktionsanlage mit einem maximalen Durchsatz von 85 kg/h. Zur Lösungsmittelrückgewinnung aus dem Extrakt können Destillationseinheiten mit einer Kapazität von bis zu 60 L/h eingesetzt werden.

Mit zunehmender Prozessintensität (Temperatur, Druck und Verweilzeit) steigt die Ausbeute an BCD-Ölen bei gleichzeitiger Zunahme des Monomergehalts. Der Depolymerisationsgrad steigt an und bedingt zugleich eine Abnahme der molaren Masse der BCD-Oligomere. Oligomere mit einem molaren Massenmittel von 609 g/mol konnten mit einer Ausbeute von 58,8 Massenprozent aus der Umsetzung von Kraftlignin ( $Mn_{\text{Lignin}} = 1488 \text{ g/mol}$ ) gewonnen werden.

### Ausblick

Der prinzipiellen Machbarkeit der Skalierung des BCD-Prozesses schließt sich eine Optimierung des Verfahrens hinsichtlich einer stoff- und energieeffizienten Verfahrensauslegung und Produktoptimierung an. Neben der Bereitstellung von Probemengen für Folgeprozesse soll hierbei vor allem die Integration der basenkatalytischen Spaltung als Technologiemodul in eine Bioraffinerie evaluiert werden.

- 1 *BCD-Öl und BCD-Oligomere als Produkte der Lignin-Depolymerisierung.*
- 2 *Pilotanlage zur basenkatalysierten Spaltung von Lignin.*
- 3 *BCD-Spaltproduktlösung.*

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Daniela Pufky-Heinrich**

Telefon +49 711 970-9103  
 daniela.pufky-heinrich@  
 cbp.fraunhofer.de



**Dipl.-Chem. (FH) Gerd Unkelbach**

Telefon +49 711 970-9101  
 gerd.unkelbach@cbp.fraunhofer.de

### Literatur

- [1] Raschka, A.; Carus, M. (2012) Stoffliche Nutzung von Biomasse. Basisdaten für Deutschland, Europa und die Welt, Nova-Institut für Ökologie und Innovation GmbH, Hürth
- [2] Nachwachsende Rohstoffe (2009), FCI –Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e.V.
- [3] Pufky-Heinrich, D.; Unkelbach, G. (2014) Herstellung biobasierter umweltfreundlicher Klebstoffe. Aromatische Molekülbau- steine aus Lignin; adhäsion, Seite 16–19
- [4] Schmiedl, D.; Endisch, S.; Pindel, E.; Rückert, D.; Reinhardt, S.; Unkelbach, G.; Schweppe, R. (2012) Base catalyzed degradation of lignin for the generation of oxy-aromatic compounds – possi- bilities and challenges, Erdöl Erdgas Kohle 128 (10): 357–363

### Förderung

Wir danken dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) für die Förderung des Projekts »Lignoplast«, Förderkennzeichen 22014212.



## RAPS-BIORAFFINERIE – WERTSTOFFGEWINNUNG AUS RAPS

Marcus Zang, Sandra Franke, Daniela Pufky-Heinrich

### Klassische Rapssaatenverarbeitung

Die Rapsverarbeitung in Europa erfolgt gegenwärtig in klassischen Ölmühlen und besteht aus der Pressung sowie einer Nachextraktion des Presskuchens mit n-Hexan, um die Ölausbeute zu steigern. Dabei ist Rapsöl das wertbestimmende Produkt. Die in den letzten Jahrzehnten optimierten Technologien ermöglichen so maximale Ölausbeuten. Das Rapsextraktionsschrot bzw. der Rapspresskuchen werden als Koppelprodukt als konventionelles Futtermittel vermarktet. Im Raps enthaltene bioaktive und wertvolle Inhaltsstoffe wie beispielsweise Sinapin, Phytinsäure und Tocopherol werden nicht verwertet, da diese mit der klassischen Methode nicht nativ gewonnen werden können. Auf dieser Grundlage gibt es kaum Potenzial zur Erhöhung der Wertschöpfung in konventionellen Ölmühlen. Durch die technologische Entwicklung der Rapsschälung in den letzten Jahren wurde jedoch die Grundlage geschaffen, den Anteil an antinutritiven Verbindungen, Farbstoffen, Bitterstoffen und Faserbestandteilen in den Rapskernen zu minimieren, sodass die Qualität des Öls als auch des Rapsschrotes gesteigert werden kann [1]. Konventionelle Pressverfahren der klassischen Ölmühlen lassen sich allerdings auf die geschälte Rapssaat mit entsprechend niedrigem Restschalenanteil nicht anwenden.

### Ölsaatenverarbeitung für die Industrie

Mit der Zielstellung der effektiveren Nutzung einheimischer Ressourcen sollen vor allem spezielle Rapsschrote und Rapsproteine sowie hochwertige Inhaltsstoffe zu wertsteigernden Produkten werden und zu einer Diversifizierung in der Produktpalette im Hochpreissegment führen. Aus dieser Situation heraus ergibt sich ein erhebliches Marktpotenzial in der ölsaatenverarbeitenden Industrie. Durch die Erschließung

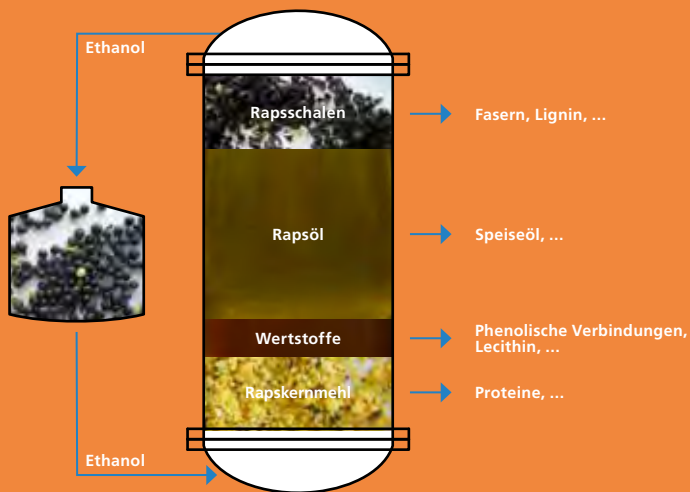
neuer Wertschöpfungspotenziale kann dies zu einer Reduzierung der Abhängigkeit des Industriezweiges von der Biodieselproduktion führen und neue Absatzmärkte in der Chemie-, Pharma- und Kosmetikindustrie erschließen.

### Natives Aufschluss- und Extraktionsverfahren

Ausgehend von geschälter Rapssaat wurde ein Aufschluss- und Extraktionsverfahren unter Verwendung von Ethanol als Extraktionsmittel entwickelt, mit welchem die Inhaltsstoffe schonend gewonnen werden können. Durch den Einsatz eines Rotor-Stator-Systems erfolgt ein Zellaufschluss der Saat, um eine möglichst vollständige Ölausbeute durch eine nachfolgende Mehrfachextraktion zu erzielen. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass das verdrängte Öl durch Abkühlung energieeffizient von der ethanolischen Phase separiert werden kann und nicht destillativ gewonnen werden muss. Als weitere Produkte werden Rapskernmehl sowie ein Extraktmix mit sekundären Inhaltsstoffen gewonnen.

### Ganzheitliche Verwertung von Raps

Das gewonnene Rapsöl entspricht der Qualität eines Vorraffinates. Eine vollständige Raffination zur Einführung als Speiseöl ist demzufolge nicht zwingend nötig. Das entölte Rapskernmehl ist nahezu farblos und hat einen Proteingehalt von mehr als 50 Prozent. Der geringe Anteil an Sinapin und Glucosinolenat ermöglicht zudem die Weiterverarbeitung zu hochwertigen Futtermitteln und Raps-Proteinprodukten. Aus dem durch die Miscella-Aufarbeitung isolierten Extraktmix konnten Sinapinsäure, Phospholipide, Oligosaccharide, phenolische Verbindungen sowie Glucosinolate angereichert werden. Die Rapsschalen sind mit einem Anteil von ca. 30 Prozent reich an Lignin, welches für die weitere stoffliche Verwertung zur



3

Verfügung steht. Die Forschungsergebnisse sind von großem Interesse für die Ölsaaten- und weiterverarbeitende Industrie. Gemeinsam mit dem Projektpartner B+B Engineering GmbH wurde innerhalb des Vorhabens ein Patent (»Verfahren zur ganzheitlichen Verwertung von Ölsaaten«) angemeldet.

### Ausblick

Mit den erzielten Produktqualitäten an Rapsöl und Rapskernmehl sowie der Anreicherung von sekundären Inhaltsstoffen im Extraktmix sind die Voraussetzungen für eine ganzheitliche Nutzung des Rohstoffes Raps geschaffen worden. Konzepte zur stofflichen Nutzung der Rapsschalen sollen evaluiert werden. Im Rahmen eines geplanten Verbundprojekts der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. mit Partnern aus Industrie und Forschung soll eine Pilotanlage am Fraunhofer CBP errichtet werden, um eine Industrieintroduktion vorzubereiten. Über eine Laufzeit von drei Jahren werden folgende Ziele verfolgt:

- Optimierung von Prozess- und Verfahrensparametern
- Bewertung der Produkte für den Einsatz in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie
- Techno-ökonomische und ökologische Bewertung der einzelnen Verfahrensschritte sowie des Gesamtverfahrens
- Strategieentwicklung zur Industrieintroduktion und Technologievermarktung

- 1 *Rapsblüte.*
- 2 *Rapssaat, Rapskerne und Rapsschalen.*
- 3 *Produktfraktionen aus der Raps-Bioraffinerie.*

### Kontakt



#### Marcus Zang M. Eng.

Telefon +49 3461 43-9115  
marcus.zang@igb.fraunhofer.de



#### Dr. rer. nat. Daniela Pufky-Heinrich

Telefon +49 3461 43-9103  
daniela.pufky-heinrich@igb.fraunhofer.de

### Literatur

[1] Börner, M.; Peglow, M.; Henneberg, M.; Ihlow, M. (2012) Dehulling of canola seed in a fluid bed application; 103<sup>rd</sup> AOCS Conference; Long Beach, CA

### Förderung

Wir danken dem Ministerium für Wissenschaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt und der Investitionsbank Sachsen-Anhalt für die Förderung des Projekts »Entwicklung von Aufschlussverfahren zur Gewinnung hochwertiger Produkte aus Raps«, Förderkennzeichen 1304/00101.

Ebenfalls danken wir dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. für die Förderung des Projekts »Vorstudie für die Pilotierung zur ethanolischen nativen Extraktion geschälter Rapssaat«, Förderkennzeichen 22035614.

### Projektpartner

B+B Engineering GmbH, Magdeburg



## LEITPROJEKT »STROM ALS ROHSTOFF« – ELEKTROCHEMISCHE VERFAHREN FÜR FLUKTUIERENDE ENERGIE- UND ROHSTOFFSYSTEME

Uwe Vohrer, Thomas Schiestel, Klaus Niedergall, Thomas Scherer, Tobias Gärtner

### Überschussstrom für die energieintensive Produktion

Die Energiewende in Deutschland ist in vollem Gange. Im Jahr 2013 machten erneuerbare Energien 24 Prozent der Stromerzeugung von 630 TWh aus. Bis 2050 soll ihr Anteil auf 80 Prozent steigen, gleichzeitig sollen die Treibhausgasemissionen um 80 Prozent gegenüber 1990 sinken. Der damit verbundene Ausbau von Windkraft und Fotovoltaik lässt das Stromangebot aus fluktuierenden Energiequellen deutlich weiter ansteigen. Für den Industriestandort Deutschland stellt sich daher die drängende Frage, ob und wie sich das zu erwartende Überangebot im Energiesystem effizient mit energieintensiven Produktionssystemen koppeln lässt.

### Ziel: Power-to-Chemicals

Die Fraunhofer-Gesellschaft sieht die Energiewende und den mit ihr anfallenden günstigen Überschussstrom als Chance für eine stromgekoppelte Produktion. Ziel des Leitprojekts »Strom als Rohstoff« ist es, neue elektrochemische Verfahren zu entwickeln, um Überschussstrom zur Produktion von Chemikalien zu nutzen. Für die anschließende technische Demonstration und Systemkopplung bedeutet dies, die Verfahren zu modularisieren und zu dezentralisieren oder elektrochemische Produktionen an bestehenden Verbundstandorten zu flexibilisieren. Für den Zukunftsmarkt »Power-to-Chemicals« werden neue Technologien und wissenschaftliche Kompetenzen entwickelt, die anschließend in dauerhaft etablierten Verwertungsketten vermarktet werden. Es soll die wissenschaftlich-technische Basis gelegt werden, Produkte aus einem zunehmend CO<sub>2</sub>-freien Strommix herzustellen.

### Syntheserouten über CO<sub>2</sub>-Konversion oder Wasserstoffperoxid

Technologisch steht die Neuentwicklung elektrochemischer Verfahren im Vordergrund, wobei sich das Leitprojekt auf zwei Syntheserouten konzentriert.

- Die eine zielt auf die elektrochemische Herstellung von Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) aus Sauerstoff und Wasserstoff und die technische Demonstration des Prozesses in einer dezentralen Anlage. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> wird als umweltfreundliches Oxidationsmittel für vielfältige Anwendungen in der Chemie-, Papier- und Textilindustrie eingesetzt. Die Leitung dieses Teilprojekts liegt beim Fraunhofer ICT.
- Die zweite Route hat die elektrokatalytische Konversion von CO<sub>2</sub> zur Herstellung kohlenstoffbasierter Basischemikalien wie Alkenen und Alkoholen und die Demonstration im Technikumsmaßstab zum Ziel. Ein Demonstrator zur einstufigen Elektrosynthese von Ethen aus CO<sub>2</sub> mittels Gasdiffusions-elektroden wird unter Leitung des Fraunhofer IGB, ein weiterer zur einstufigen Elektrosynthese von C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub>-Alkoholen aus CO<sub>2</sub> mittels Hochdrucktechnologie unter Leitung von Fraunhofer UMSICHT, ein dritter zur zweistufigen CO<sub>2</sub>-Aktivierung mit H<sub>2</sub> zur Synthese von C<sub>4</sub>–C<sub>20</sub>-Alkoholen unter Leitung des Fraunhofer IKTS entwickelt.

Alle Entwicklungen werden durch Prozesssimulationen (Fraunhofer ITWM) sowie die Entwicklung elektrochemischer Komponenten und prozessanalytischer Systeme (Fraunhofer ISC, IST, IAP) begleitet. Ein Arbeitspaket zur Systemanalyse und Nachhaltigkeitsbetrachtung (Fraunhofer UMSICHT, IGB) rundet das Projekt ab.





1

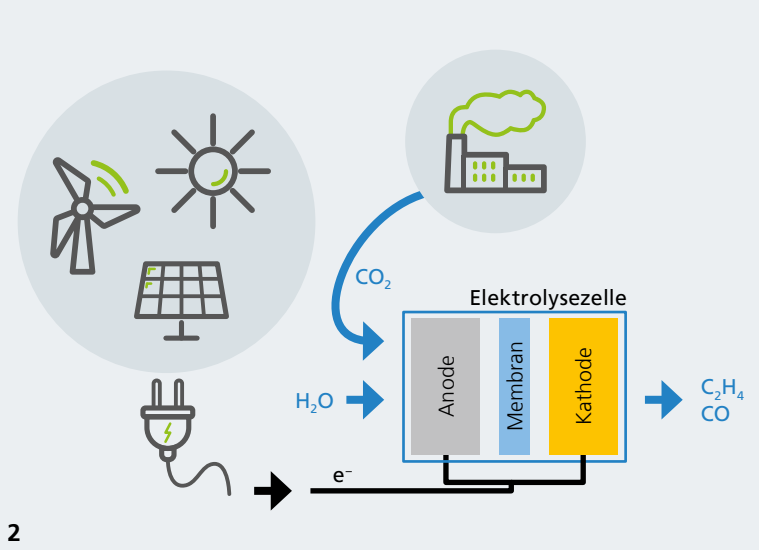
### Elektrochemische Erzeugung von Ethen

Das Fraunhofer IGB koordiniert das Teilprojekt »Entwicklung eines neuen einstufigen elektrochemischen Verfahrens, mit dem Alkene, vorzugsweise Ethen, elektrochemisch aus CO<sub>2</sub> und Wasser hergestellt werden«. Die wesentliche Innovation dieses Teilprojekts besteht darin, dass Ethen oder andere Alkene in nur einem Verfahrensschritt durch direkte Reduktion von CO<sub>2</sub> hergestellt werden. Das Verfahren soll in einem Maßstab von 1 Kilogramm Ethen pro Tag demonstriert werden.

Am Fraunhofer IGB arbeiten insgesamt vier Abteilungen in diesem Projekt zusammen. Der Institutsteil BioCat in Straubing kümmert sich um die Entwicklung der Katalysatoren, die Optimierung der Elektrodenreaktion und die Materialcharakterisierung. Die Abteilung Grenzflächentechnologie und Materialwissenschaft hat die Elektrodenmaterialentwicklung und -charakterisierung (Membran und Gasdiffusionselektrode) sowie die Charakterisierung und Optimierung der Grenzflächenphänomene an der Dreiphasengrenzfläche zum Schwerpunkt. Die Abteilung Physikalische Prozesstechnik kümmert sich um die Elektrodenkonfiguration, das Gesamtsystem und den Aufbau, die Testung und Optimierung des Demonstrators. Die für den Demonstrator notwendige Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik wird durch die Abteilung Umweltbiotechnologie und Bioverfahrenstechnik beigesteuert.

Die Entwicklung wird in enger Zusammenarbeit mit den begleitenden Arbeitspaketen zur Prozesssimulation (Fraunhofer ITWM) und zur Komponentenentwicklung bzw. Prozessanalytik (ISC, IST, IAP) durchgeführt.

- 1 *Wird die Stromerzeugung aus wetterabhängigen Energien wie Wind und Sonne weiter ausgebaut, fällt elektrochemisch nutzbarer Überschussstrom an.*
- 2 *Prinzip der elektrochemischen Herstellung von Ethen aus CO<sub>2</sub>.*



2

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Uwe Vohrer**

Telefon + 49 711 970-4134

uwe.vohrer@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Thomas Schiestel**

Telefon + 49 711 970-4164

thomas.schiestel@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Über die Leitprojekt-Initiative will die Fraunhofer-Gesellschaft den Wirtschaftsstandort Deutschland stärken, indem wissenschaftlich originäre Ideen schnell in marktfähige Produkte umgesetzt werden.

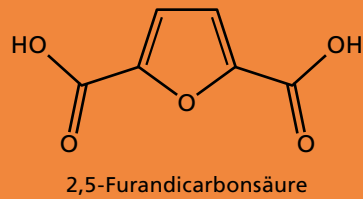
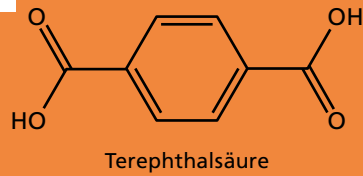
### Projektpartner

Fraunhofer-Institute IAP, ICT, IGB, IKTS, ISC, IST, ITWM, IVV (beratend), UMSICHT, WKI

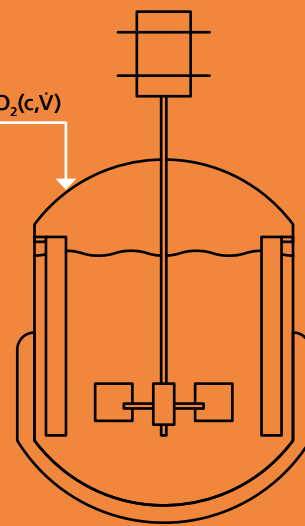
### Weitere Informationen

[www.strom-als-rohstoff.fraunhofer.de](http://www.strom-als-rohstoff.fraunhofer.de)





1

 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{c},\text{V})$ 

2

## BIOBASIERTE MONOMERE FÜR DIE POLYMER-CHEMIE – VOM LABOR IN DEN PILOTMASSSTAB

Fabian Haitz, Björn Vater, Nicole Werner, Susanne Zibek

### Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen

Mit den Begriffen Polymer oder Plastik verbinden Fachleute wie auch Laien Chemie in seiner ursprünglichsten Form. Tatsächlich werden im Rahmen der Synthesechemie erdölbasierte Monomere dargestellt und später mithilfe der makromolekularen Chemie katalytisch zu langen Ketten, den Polymeren, miteinander verknüpft. Die Polymerchemie ist somit sehr stark auf die petrochemisch hergestellten Edukte fixiert. Dies führt zu starken Abhängigkeiten. Die Verwendung von lokal verfügbaren nachwachsenden Ressourcen würde diese Abhängigkeiten von Erdöl exportierenden Ländern verringern, zudem könnte die Produktion nachhaltiger gestaltet werden.

Das europäische Projekt BioConSepT trägt genau diesem Ansatz Rechnung und schlägt eine Brücke zwischen Biologie und Chemie. Innerhalb des Projekts wurde ausgehend von nachwachsenden Rohstoffen der zweiten Generation, wie etwa Lignocellulose oder pflanzlichen Ölen, die im Lebensmittelsektor keine Anwendung finden, die Herstellung verschiedener relevanter Ausgangsprodukte verfolgt. 29 Partner aus ganz Europa arbeiteten gemeinsam an einer Biologisierung dieser Ausgangsprodukte. Das Fraunhofer IGB hatte innerhalb des Konsortiums die Aufgabe, die biotechnologische Produktion von Pflanzenölepoxiden, 2,5-Furandicarbonsäuren (FDCA) und langkettigen Dicarbonsäuren (DCA) im Labormaßstab zu etablieren und zu optimieren, um diese Prozesse anschließend in den technischen Maßstab zu übertragen. Für dieses Scale-up wurden Modellexperimente unter Verwendung skalierbarer Reaktoren oder Fermenter im Labor durchgeführt. Anhand hierbei ausgewählter dimensionsloser Kennzahlen konnten wir die Prozesse in der maßstäblich größeren Pilotanlage auslegen. Um das Potenzial der biotechnologischen Prozesse zu

demonstrieren, wurde die chemo-enzymatische Herstellung der Epoxide erfolgreich im Pilotmaßstab durchgeführt.

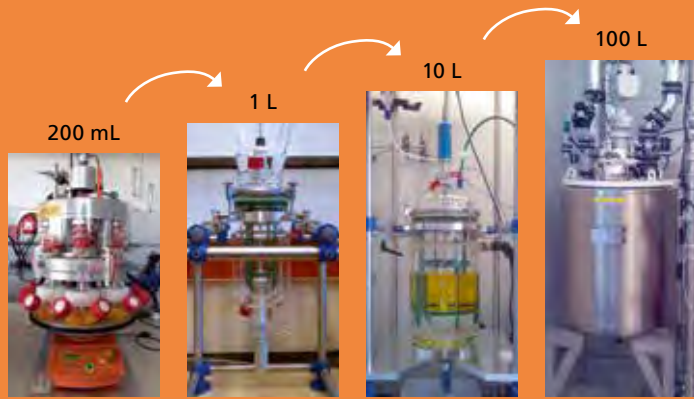
### 2,5-Furandicarbonsäuren und langkettige Dicarbonsäuren

FDCA und DCA sind aufgrund ihrer Bifunktionalität wichtige Synthesebausteine. Im Falle der FDCA basiert das vielversprechende Potenzial auf der hohen Strukturhomologie zur Terephthalsäure. Im Rahmen des Projekts konnten wir durch Zugabe von Hydroxymethylfurfural aus lignocellulosehaltiger Biomasse erfolgreich eine Ganzzellkatalyse mit *Pseudomonas putida* entwickeln und etablieren. Durch gezielte Reaktionsführung konnte im Labor eine Ausbeute von mehr als 80 Prozent bei einer Konzentration bis zu 20 g/L FDCA erreicht werden.

Dicarbonsäuren haben wir ebenfalls mit einem ganzzellbiokatalytischen Verfahren durch Konversion aus langkettigen Monocarbonsäuren (MCA) hergestellt. Der Mikroorganismus *Candida viswanathii* führt diese Aufgabe mit einer hohen Selektivität aus, wobei Konzentrationen bis zu 100 g/L 1,18-Octadecensäure erreicht werden. Zudem wurden Monocarbonsäuren mit unterschiedlichen Kohlenstoffkettenlängen (C9, C16–C22) erfolgreich zu den korrespondierenden Dicarbonsäuren umgesetzt.

### Epoxide aus pflanzlichen Ölen und Reststoffen

Die Verwendung einzelner Enzyme zur Herstellung von Epoxiden aus Ölen wurde ebenfalls innerhalb des Projekts verfolgt. Epoxide stellen eine reaktive, sterisch gespannte Gruppe dar, die in Polymerisationsreaktionen unter Ringöffnung mit anderen Molekülen verknüpft werden kann. Die Darstellung von



3

Epoxidieren erfolgt normalerweise aus Hydroperoxiden unter drastischen chemischen Bedingungen. Eine chemisch-enzymatische Epoxidierung von Ölen bietet demgegenüber die Möglichkeit, ein funktionelles Monomer aus nachwachsenden Rohstoffen oder auch Abfallströmen mithilfe einer Lipase unter milden Bedingungen darzustellen. Zudem konkurriert der nachwachsende Rohstoff nicht mit Ackerflächen der Nahrungsmittelproduktion.

Im Rahmen von BioConSepT wurde ein Prozess entwickelt, der immobilisierte Lipasen zur Herstellung der Epoxide verwendet. Dies resultiert in einem geringeren Aufreinigungsaufwand der Epoxide und in der Wiederverwendbarkeit des Enzyms. Das Fraunhofer IGB hat den Prozess im 10-Liter-Maßstab optimiert, verfahrenstechnisch orientierte dimensionsanalytische Untersuchungen durchgeführt und die Maßstabsübertragung in der Pilotanlage am Fraunhofer CBP im 100-Liter-Maßstab realisiert und evaluiert. Dabei wurde der Prozess fünf Mal in Folge mit derselben Enzymcharge durchgeführt und die Rezyklierbarkeit des Enzyms durch eine jeweilige Ausbeute an Epoxid von mehr als 80 Prozent gezeigt. Das hergestellte Epoxid wurde von den Chemieunternehmen aufgereinigt, veredelt und die Anwendung als Weichmacher für PVC untersucht.



4

#### Kontakt



**Fabian Haitz M. Sc.**

Telefon +49 711 970-4213

fabian.haitz@igb.fraunhofer.de



**Dr.-Ing. Susanne Zibek**

Telefon +49 711 970-4167

susanne.zibek@igb.fraunhofer.de

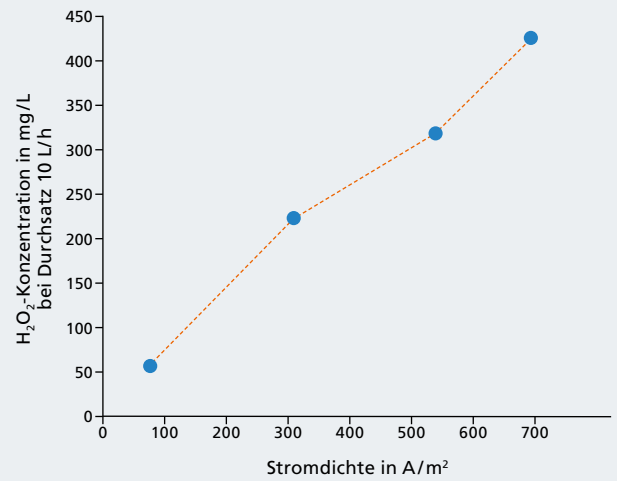
#### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Forschungsprojekts »BioConSepT – Bio-Conversion and Separation Technology« im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7/2007–2013), Förderkennzeichen 289194.

#### Weitere Informationen und Projektpartner

[www.bioconcept.eu](http://www.bioconcept.eu)

- 1 *Strukturvergleich der petrobasierten Terephthalsäure mit der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten FDCA.*
- 2 *Schematische Darstellung eines aufgrund seiner standardisierten geometrischen Verhältnisse skalierbaren Rührreaktors.*
- 3 *Kaskade vom Labormaßstab zum 100-Liter-Rührkessel.*
- 4 *Nicht im Lebensmittelbereich einsetzbare Fraktionen pflanzlicher Öle als Lieferant für biobasierte Monomere.*



1

## ELEKTROLYTISCHE ERZEUGUNG DER BASISCHEMIKALIE WASSERSTOFFPEROXID

Christiane Chaumette, Carsten Pietzka, Behnam Parwizi, Thomas Scherer

### Dezentrale, stromgeführte Produktion von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Wasserstoffperoxid ist eine Plattformchemikalie mit vielfältigen Anwendungen, die großtechnisch in zentralen Chemieanlagen produziert wird. Anwendungsgebiete sind beispielsweise die Zellstoffproduktion oder die Wasseraufbereitung, aber auch Anwendungen mit kleineren Verbrauchsmengen, wie die Anlagen- und Oberflächendesinfektion in Lebensmittelbetrieben und Krankenhäusern. Da Wasserstoffperoxid als Transportgut einen Gefahrstoff darstellt, ist der Transport kostenintensiv, was die Nutzung zukünftig limitieren wird. Daher hat das Fraunhofer IGB zusammen mit Industriepartnern ein Konzept entwickelt, bei dem Wasserstoffperoxid dezentral und bedarfsorientiert in einer elektrochemischen Zelle erzeugt wird.

Die dezentrale Produktion von Wasserstoffperoxid, in Konzentrationen und Volumen unterhalb der Explosionsgefahr, ist aus zwei Gründen attraktiv: Zum einen verringert diese Variante Gefahr und Kosten von Transport, Lagerung und Handhabung; zum anderen erlaubt die elektrolytische Erzeugung aus Strom einen flexiblen Betrieb der Gewinnung. Diese ist zukünftig dann besonders kostengünstig, wenn der Strom zum Ausgleich von Stromspitzen im Versorgungsnetz gerade dann genutzt wird, wenn er infolge intermittierender, regenerativer Stromerzeugung im Überschuss zur Verfügung steht.

In dem von der Europäischen Union geförderten Forschungsprojekt »Oxfloc – Integrated water treatment in a one-stage oxidative-adsorptive process to degrade and remove harmful substances« konnte die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoffperoxid auch mit Deponiesickerwasser demonstriert werden. In diesem Projekt wurde ein Behandlungsprozess

entwickelt, der die oxidative und adsorptive Schadstoffentfernung aus Deponiesickerwasser in einem Behandlungsschritt realisiert. In der Demonstrationsanlage wird zur Sickerwasserbehandlung u. a. Strom aus Solarzellen genutzt.

### Elektrolysezelle für vielfältige Entwicklungsvorhaben

In der am IGB entwickelten Elektrolysezelle mit definierter Flächenüberströmung der Elektroden (Abb. 2) finden an der Anode Oxidationsreaktionen statt und der pH-Wert sinkt, während kathodisch an einer Gasdiffusionselektrode aus Sauerstoff und Wasser eine Wasserstoffperoxidlösung entsteht und Protonen verbraucht werden.

In ersten Versuchsläufen mit Sauerstoffzufuhr wurden in Natriumsulfatlösung (50 mM) Konzentrationen von > 400 mg/L Wasserstoffperoxid (Abb. 1) erreicht. Mit Luftzufuhr konnten wir H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Konzentrationen von 50 mg/L bei einem Energiebedarf von 10 kWh/kg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> erreichen. Die verwendete Zelle arbeitet im Durchfluss, eine Rezirkulation der Lösung erfolgt nicht. Modular mit solchen Zellen aufgebaute Anlagen sind flexibel auf den jeweiligen Bedarf an Wasserstoffperoxid einstellbar.

Durch Auswahl der Prozessbedingungen (geteilte/ungeteilte Elektrolysezelle, Volumenstrom und Zusammensetzung der Lösung, Stromdichte und Temperatur) und des Elektrodenmaterials können wir den pH-Wert und die Konzentration der Lösung einstellen. Dies erlaubt die energieoptimierte Behandlung eines Wasserstroms und dessen Wiederverwertung im integrierten Wassermanagement industrieller Prozesse.



### Ausblick

In Zukunft werden wir weitere Gasdiffusionselektroden für die Elektrosynthese zur Bereitstellung von Chemikalien vor Ort und zum Ausgleich von Stromspitzen, beispielsweise aus fluktuierendem regenerativem Stromangebot, durch Umsetzung der elektrischen Energie in Basischemikalien untersuchen und nutzen. Zur Prozessentwicklung stehen skalierbare Durchflusszellen zur Verfügung, die durch Austausch der Gasdiffusionslage schnell adaptierbar sind.

Ferner eignen sich die flachen Zellen mit 90–140 cm<sup>2</sup> Elektrodenfläche für das Benchmarking unterschiedlicher Gasdiffusionselektroden und ihrer Katalysatoren sowie für Stabilitätstests und Machbarkeitsuntersuchungen mit realen Prozesslösungen und Abwässern.

### Anwendungen

Neben der Abwasserbehandlung direkt am Entstehungsort werden zunächst Anwendungen mit kleineren Verbrauchsmengen, wie die Hygienisierung von Anlagen und Maschinen in der Lebensmittelindustrie oder die Oberflächendesinfektion in Krankenhäusern als Anwendungsfelder erschlossen. Die Chemikalienproduktion im industriellen Maßstab ist ein mittelfristiges Ziel.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Thomas Scherer**

Telefon +49 711 970-4091

thomas.scherer@igb.fraunhofer.de



**Dipl.-Ing. Siegfried Egner**

Telefon +49 711 970-3643

siegfried.egner@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Forschungsprojekts »Oxfloc« im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7/2007–2013), Förderkennzeichen 606216, aus dem Teilergebnisse in diese Forschung mit eingeflossen sind.

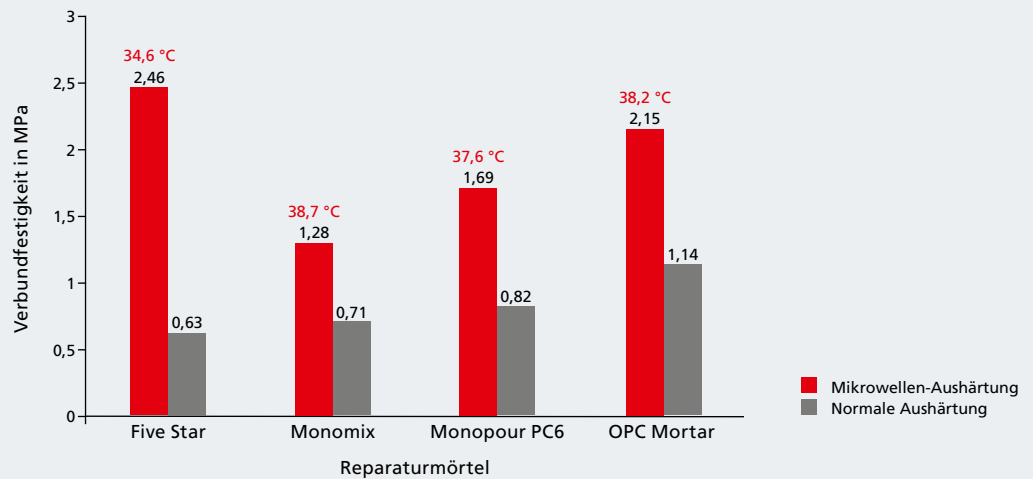
### Projektpartner

Magneto Special Anodes BV, Schiedam, Niederlande | Bamo Mesures SAS, Argenteuil, Frankreich | Eilenburger Elektrolyse- und Umwelttechnik GmbH, Eilenburg | E.R.S. Steuerungstechnik GmbH & Co. KG, Osterburken | ASIO spol. s r.o., Brno, Tschechische Republik | Acondicionamiento Tarrasense Asociacion, Terrassa, Spanien

### Weitere Informationen

[www.oxfloc.eu](http://www.oxfloc.eu)

- 1 Erzeugung von Wasserstoffperoxid aus Wasser und Sauerstoff in Salzlösung.
- 2 Elektrolytische Zelle mit 130 cm<sup>2</sup> Anodenfläche in ihrer Schnellspannvorrichtung.



1

## MCure – NEUE TECHNOLOGIE ZUR EFFIZIENTEN REPARATUR UND AUSHÄRTUNG VON BETON

Chen Zhao, Ali Imran Javaid, Simone Mack, Siegfried Egner

### Betonsanierung und -aushärtung

Eine große Zahl von Betonkonstruktionen, etwa bei Brücken, Tunneln, Abwasserkanälen oder Hafenanlagen, ist oder wird auf die Dauer reparaturbedürftig. Die Ursachen hierfür sind Zerfallsprozesse im Beton selbst, Überbelastung oder schlechte Verarbeitung. Laut CON REP NET entfallen 50 Prozent der jährlichen Bauausgaben in Europa auf Reparatur- oder Ausbesserungsprojekte, insbesondere für die Instandsetzung geschädigter Betonbauten [1]. Daraus ergibt sich Bedarf an einer Technologie zur effektiven und dauerhaften Ausbesserung von Betonschäden. Neben der Betonsanierung ist die effiziente Aushärtung von Beton auch in der Produktion von Fertigteilen wichtig.

Die Aushärtung von Beton ist stark vom Verlauf der Prozesstemperatur und damit von der Umgebungstemperatur abhängig, was Arbeiten in klimatisch kälteren Zonen saisonal einschränkt. Im Projekt »MCure« wurde daher ein wissenschaftlich neuartiges System zur Stimulation des Aushärtungsprozesses entwickelt, das unabhängig von der Umgebungstemperatur funktioniert. Es beruht auf dem Einsatz von Mikrowellen und zeichnet sich durch einen niedrigen Energiebedarf und hohe Zeiteffizienz aus.

### Aushärtungsprozess

Damit frischer Beton optimal aushärtet und die gewünschte Festigkeit erreicht, muss nach dem Einbau und der Oberflächenbearbeitung ein bestimmter Feuchtigkeitsgehalt und ein entsprechendes Temperaturprofil über einen gewissen Zeitraum aufrechterhalten werden. Das Zusammenspiel von Wärme bzw. innerem Temperaturverlauf und Aushärtungsdauer und dessen Auswirkung auf die Festigkeit des Betons

nennt man »Reife«. Diese nimmt in den ersten 24 Stunden der Aushärtung rapide zu, danach verlangsamt sich der Prozess allerdings deutlich und erstreckt sich über einen unbestimmten Zeitraum.

Eine optimale Festigkeit des Betons wird durch eine Hochtemperaturhärtung erreicht. Der Grad und die Dauer des Temperaturanstiegs müssen dabei exakt über einen spezifischen Zeitzyklus kontrolliert werden. Der erforderliche schnelle Temperaturanstieg kann nur durch Stimulation mittels einer externen Energiequelle – wie etwa Mikrowellen – geleistet werden und muss durch eine präzise Sensorik mit Betriebsalgorithmen gesteuert werden. Derzeit ist eine sichere Verarbeitung von Beton bei klimatisch ungünstigen Bedingungen nur bei Betonfertigteilen unter Nutzung einer Dampfheizung möglich.

### Aushärtung von frischem Beton mit Mikrowellen

Um die Aushärtung zu beschleunigen, können Mikrowellen eingesetzt werden, die vor allem mit der Feuchtigkeit im Beton interagieren. Aufgrund der hohen Elektronegativität von Sauerstoff und der Elektropositivität von Wasserstoff ist die im Beton enthaltene Feuchte stark polar. Auf dem Weg durch Materialien mit bipolarer Molekülstruktur verursachen die Mikrowellen durch ihr elektrisches Feld Schwingungen. Dadurch verdampft die Feuchtigkeit und diffundiert an die Oberfläche. Der Abbindeprozess beginnt mit dem direkten Zusammenspiel der Wassermoleküle mit Mikrowellen und teilweise mit der im Beton entstehenden Wärme. So entfaltet sich eine schnellere Wirkung in der ersten Phase der Aushärtung.

Im Falle der Betonaushärtung liegt die Priorität nicht darauf, eine möglichst schnelle Verdampfung zu erreichen, sondern





darauf, eine (relativ zur Umgebungstemperatur) ausreichend hohe Temperatur zu erzeugen, um damit die Diffusion der Wassermoleküle an die Oberfläche und die Verdunstung soweit zu verbessern, dass eine schnellere Aushärtung erreicht wird. Der kritische Punkt, z. B. an einem Beton-Reparaturstück, ist die Substratgrenzfläche. Probleme mit der Haftung entstehen zumeist hier. Durch das tiefe Eindringen der Mikrowellen in das Material können diese auch auf die Substratgrenzfläche effektiv einwirken.

### Feldversuche mit Prototyp

In Feldversuchen mit unterschiedlich starker Mikrowellenbestrahlung von verschiedenen Volumenkörpern wurden optimale Prozessparameter definiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das MCure-System leistungsfähiger ist als die bisher gängigen Betonaushärtungstechnologien.

### Vorteile des MCure-Systems

Mit dem System lassen sich das ganze Jahr über schnelle, langlebige und qualitativ hochwertige Reparaturen und Sanierungen durchführen, unabhängig von aktuell herrschenden klimatischen Verhältnissen. Aufgrund der Robustheit des Systems und der wetterunabhängigen Effektivität der verwendeten Technologie können Ressourcen selbst bei rauer, winterlicher Witterung effizienter eingesetzt werden. Sowohl die Haltbarkeit als auch die Festigkeit des reparierten Betons werden dabei verbessert. Die neuartige Aushärtungsmethode bringt außerdem Fortschritte im Bereich der ferngesteuerten Feuchtigkeitsmessung und bei der Druckfestigkeit des Betons.

### Ausblick

Mit MCure konnte die Qualitätssteigerung bei der Betonaushärtung mit einem Demonstrator gezeigt werden. In einem Anschlussprojekt soll nun zusammen mit den Industriepartnern ein mobiles und durch Robotik flexibles, baustellen-taugliches System entwickelt und getestet werden, das dann lizenziert auf den Markt gebracht wird.

### Kontakt



**Dipl.-Ing. Siegfried Egner**

Telefon +49 711 970-3643

siegfried.egner@igb.fraunhofer.de

### Literatur

[1] Vimmr, V. (2004) Future performance discussion on industry response to owners' aspirations, CON REP NET Network Newsletter No. 4

### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Forschungsprojekts »MCure« im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7/2007–2013), Förderkennzeichen 605664.

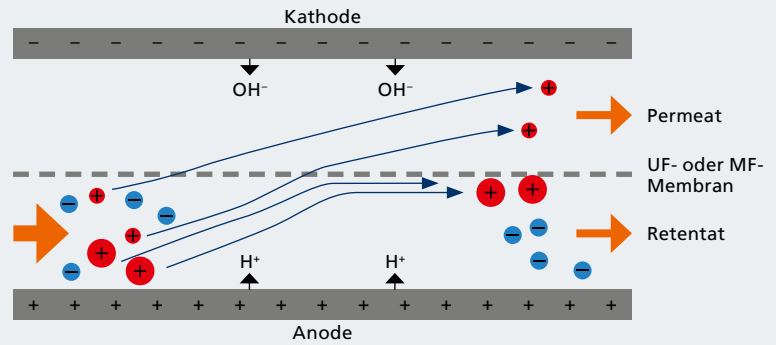
### Projektpartner

Uvasol Ltd, Leicester, Großbritannien | Meta Automation Ltd, Piräus, Griechenland | Jörg Heizmann Bauunternehmung GmbH, Osterburken | E.R.S. GmbH, Osterburken | Utingal S.L., Pontevedra, Spanien | Sheffield Hallam University, Sheffield, Großbritannien

### Weitere Informationen

[www.mcure-fp7.eu](http://www.mcure-fp7.eu)

- 1 *MCure: Bindungsfestigkeit von mikrowellen-behandeltem Beton im Vergleich zu normaler Aushärtung bei -5 °C.*
- 2 *MCure-Prototyp.*



1

## VERBESSERTE PROTEINFRAKTIONIERUNG FÜR DIE LEBENSMITTELINDUSTRIE

Ana Lucía Vásquez Caicedo, Carsten Pietzka, Fabiola Salguero del Valle, Salima Varona Iglesias

### Trends auf dem Markt für Nahrungsmittelproteine

Gesunde Ernährung und Wellness liegen im Trend, der Markt für Proteine in der Nahrungsmittelproduktion wächst. Molkeproteine beispielsweise eignen sich wegen ihres hohen Nährwertes hervorragend für Säuglings- und Sportnahrung sowie für die klinische Ernährung. Aufgrund ihrer funktionellen Eigenschaften könnten Molkeproteine auch chemische Zusätze für Schaumbildung, Emulgierung, Gelierung oder Wasserbindung ersetzen. Molke fällt in großen Mengen als Nebenprodukt bei der Käseherstellung an. Aktuell werden in Europa nur 10 Prozent der Molke zur Herstellung von Produkten für die menschliche Ernährung genutzt, 60 Prozent werden in kommunalen Abwasseranlagen entsorgt. Der Hauptgrund dafür ist, dass vor allem kleine und mittlere Molkereien weder die technische Ausstattung noch Zugriff auf entsprechende neue Technologien haben, um diese wertvolle und kostengünstige Ressource verwerten zu können.

### Technische Herausforderungen

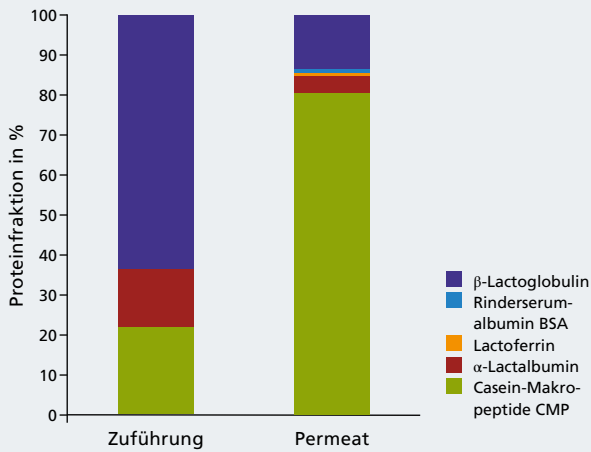
Aktuelle Technologien für die Fraktionierung und Konzentrierung von Proteinen sind arbeitsaufwendig und erfordern mehrere Verarbeitungsschritte. Bei der derzeit eingesetzten Membranprozessen (z. B. Ultrafiltration) ist wegen des Membranfoulings zudem der Reinigungsaufwand enorm und die Kosten für den häufigen Austausch der Membranen sind sehr hoch. Für die Proteintrennung sind zudem Säuren und Laugen sowie hohe Temperaturen erforderlich. Dies führt zur Denaturierung der Proteine und damit zu einer verringerten Produktqualität und erfordert die umweltbelastende Entsorgung der Chemikalien. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Technologien nur schwer auf größere Maßstäbe hochzukalieren sind. Eine wirtschaftliche und nachhaltige Lösung für eine umfänglichere Verwertung von Molke ist daher dringend erforderlich.

### Elektromembranfiltration

Das Projekt »Whey2Food« hatte zum Ziel, eine hocheffiziente, selektive und schonende Technologie auf Grundlage der Elektromembranfiltration (EMF) zu entwickeln, um die Trennung und Anreicherung von Proteinen und Peptiden aus Molke zu verbessern. Die EMF kombiniert ein elektrisches Feld mit einer mechanischen Membranfiltration. Die treibende Kraft für den Stofftransport durch die Membran wird sowohl durch den Transmembrandruck als auch durch das angelegte elektrische Feld erzeugt. Dies ermöglicht es, Peptide und Proteine gleichzeitig aufgrund ihrer Molekülgröße und elektrischen Ladung zu trennen (Abb. 1). Die Fraktionsreinheit und die Proteinausbeute werden dabei erhöht, da mittels EMF die Filtrationsgeschwindigkeit erhöht und gleichzeitig das Membranfouling, der Reinigungsaufwand und die Membranersatzkosten reduziert werden können.

### Übertragung in Industriemaßstab

Für eine erfolgreiche Anreicherung von Molkeproteinfraktionen wurden geeignete Elektrodenmaterialien und Konfigurationen der EMF-Zelle ausgewählt. Die entscheidenden Parameter dabei sind die Platzierung der Membranen zur Filtration und Elektrodenabschirmung, die elektrische Feldstärke, der pH-Wert, die Medientemperatur, das Fluiddruckgefälle und die Membrantrenngröße (Porengröße). Das Ziel war, ein umfassendes Verständnis für den EMF-Prozess und seine Wirkung auf die Molke und deren Inhaltsstoffe zu gewinnen. Dieses Wissen ermöglichte es, im Labormaßstab eine optimierte Systemkonfiguration zu entwickeln, mit der der Prozess in einen größeren, industrierelevanten Maßstab übertragen und ein Prototyp zur Demonstration in der industriellen Praxis konstruiert und gebaut werden konnte.



2



3

### Optimierter Prozess zur Fraktionierung

Das Projekt konzentrierte sich auf die Anreicherung einer Molkeproteinsuspension, die Casein-Makropeptide (CMP) enthält, die in der Molke vorhandene hydrophile Fraktion von  $\kappa$ -Casein. Da die für jedes Protein charakteristischen isoelektronischen Punkte sehr nahe beieinander liegen, erfordert die Trennung der CMP von Lactalbumin ( $\alpha$ -La) und  $\beta$ -Lactoglobulin ( $\beta$ -Lg) eine genaue Feineinstellung und Kontrolle der Parameter. In diesem Fall kann das elektrische Feld diese Stoffe auf der Retentatseite zurückhalten, während die CMP aufgrund des Transmembrandrucks die Membran als Permeat passieren. Vergleichbare kommerzielle Formulierungen weisen eine CMP-Konzentration zwischen 75 und 85 Prozent des Gesamtproteins auf. Dementsprechend konnten wir in unseren Laborversuchen erfolgreich eine CMP-Konzentration von 81 Prozent anreichern und das Verhältnis der CMP zu  $\beta$ -Lg in einem einzigen Schritt um das Zehnfache steigern.

Nach der Prozessoptimierung im Labormaßstab haben wir eine Pilotanlage konstruiert, die im Kern aus einer optimierten EMF-Zelle besteht. Diese sorgt für eine optimale Verteilung des elektrischen Felds, minimiert Schwankungen des pH-Werts und gewährleistet eine Anpassung des Querstroms und des Transmembrandrucks an den gewünschten Bereich. Die EMF-Einheit funktioniert im Semibatch-Modus (»feed and bleed«) mit einer Zulaufmenge von 1000 L/h bei optimalem Transmembrandruck (Abb. 3). Die Validierung der Aufskalierung des Prozesses ist derzeit in Arbeit.

- 1 Funktionsweise der Elektromembranfiltration.
- 2 Anreicherung von Casein-Makropeptiden (CMP) durch Elektromembranfiltration.
- 3 Whey2Food-Demonstrationsanlage.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Ana Lucía Vásquez Caicedo**

Telefon +49 711 970-3669  
 analucia.vasquez@igb.fraunhofer.de



**Dr.-Ing. Carsten Pietzka**

Telefon +49 711 970-4115  
 carsten.pietzka@igb.fraunhofer.de

### Literatur

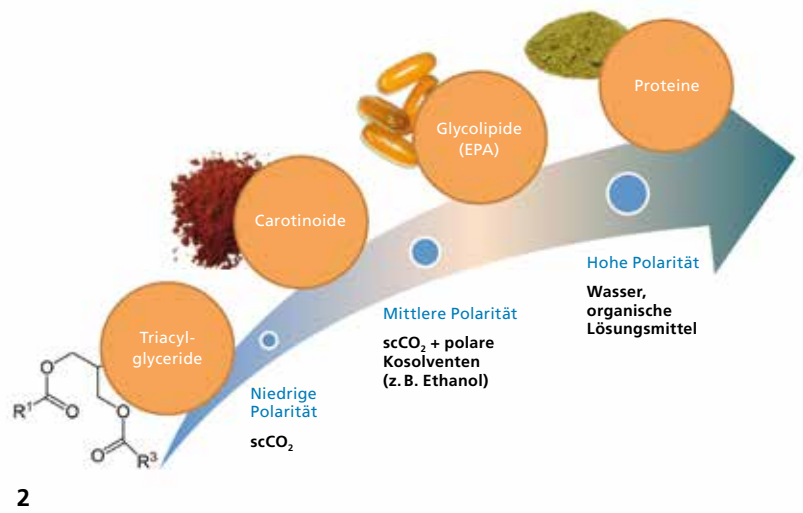
- [1] European Whey Products Association. [http://www.euromilk.org/ewpa/content\\_html](http://www.euromilk.org/ewpa/content_html) (abgerufen am 1.9.2013)
- [2] Electrofiltration of Biomaterials; Electrotechnologies for the extraction from foodplants and biomaterials (2008) Springer Science and Business Media, ISSN: 1571–0297
- [3] Post, E. A.; Rapp, F.; Hinrichs, J. (2010) Separation of Casein-macropeptide from whey by means of electrically enhanced cross-flow membran filtration. European Dairy Magazine 3: 30–33.

### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Projekts »Whey2Food – Enhanced protein fractionation from protein sources for their use in special food applications« im 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7/2007–2013), Förderkennzeichen 605807.

### Weitere Informationen und Projektpartner

[www.whey2food.eu](http://www.whey2food.eu)



## KASKADENNUTZUNG VON MIKROALGENBIOMASSE

Felix Derwenskus, Ulrike Schmid-Staiger

### Mikroalgen – Integrierte Nutzung für die Ernährung

Grundgedanke von Bioaffineriekonzepten ist die vollständige Verwertung von Biomasse durch Fraktionierung und die Gewinnung verschiedener Produkte. Mikroalgen können eine Vielzahl von Stoffen bilden, welche für den Ernährungssektor interessant sind. Abhängig von der eingesetzten Spezies und den Kultivierungsbedingungen bilden sie große Mengen an Fettsäuren als Triglyceride (bis zu 70 Prozent der Trockenmasse) oder Proteinen (bis zu 50 Prozent der Trockenmasse), darüber hinaus polare Membranlipide mit Omega-3-Fettsäuren (bis zu 7 Prozent der Trockenmasse) sowie verschiedene Carotinoide und Phytosterole. Diese sollen unter Beibehaltung ihrer technofunktionellen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften in der Lebensmittelherstellung eingesetzt werden.

Aufgrund der großen Bandbreite der Inhaltsstoffe und der unterschiedlichen Zellwandeigenschaften verschiedener Mikroalgenpezies ist eine gezielte Aufarbeitung der Biomasse notwendig, um die hochwertigen Nährstoffe aus Mikroalgen effektiv gewinnen zu können. Im Rahmen des Forschungsprogramms Bioökonomie Baden-Württemberg wird im Forschungsverbund »Mikroalgen – Integrierte Nutzung für die Ernährung« die möglichst vollständige Verwertung der verschiedenen Fraktionen, in Koppel- und Kaskadennutzung, angestrebt, um nachhaltige Prozesse für die Bioökonomie zu entwickeln.

### Aufarbeitung von Algeninhaltsstoffen

Bei der Gewinnung von Wertstoffen aus Algenbiomasse und einer weiteren Nutzung der Restbiomasse, insbesondere bei Kaskadennutzung, gelten besondere Anforderungen an die Aufarbeitung. Prinzipiell bestimmen der chemische Charakter

und die Marktspezifikation, etwa der geforderte Reinheitsgrad des Produkts, die Aufarbeitungstechnik. Weitere Anforderungen sind die weitestgehende Vermeidung eines energieaufwendigen Trocknungsschritts sowie eine schonende Extraktion, die sowohl die Funktionalität erhält als auch die Gewinnung weiterer Zellkomponenten erlaubt.

Gemeinsam mit den Partnern des Forschungsverbunds wurden drei Mikroalgenstämme (*Phaeodactylum tricornutum*, *Chlorella vulgaris* und *Nannochloropsis spec.*) ausgewählt, die sich grundlegend in Größe, Zellwandaufbau und Biomassezusammensetzung unterscheiden. Durch die Kombination aufeinanderfolgender Extraktionsverfahren in unterschiedlicher Abfolge sollen aus der Mikroalgenbiomasse, neben hochpreisigen Bestandteilen wie den Carotinoiden, insbesondere die Hauptfraktionen bestehend aus Proteinen, polaren Membranlipiden mit Omega-3-Fettsäuren sowie unpolaren Triglyceriden sequenziell fraktioniert werden.

### Selektive und gezielte Extraktion

Zum Einsatz soll hier vor allem die als »Pressurized Liquid Extraction« bezeichnete Technik kommen, die auch die Extraktion feuchter Biomasse erlaubt, sowie die Extraktion mittels überkritischer Fluide (Supercritical Fluids, SCF). Zur Erhöhung der Polarität überkritischer Fluide können Kosolventen wie Ethanol eingesetzt werden. Dies führt zu einer selektiven Extraktion polarer Lipide wie Eicosapentaensäure EPA; 20:5  $\omega$ -3. Das unterschiedliche Extraktionsverhalten ohne und mit Kosolvent wurde gezielt auch für die aufeinanderfolgende selektive Extraktion von unpolaren Lipiden wie Triglyceriden oder Carotinoiden und polaren Lipiden genutzt. Derzeit werden die Prozessparameter optimiert, mit dem Ziel Fraktionen





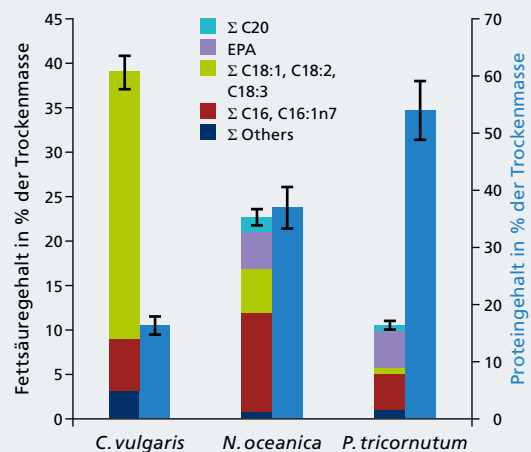
3

zu gewinnen, die von den Forschungspartnern auf den Einsatz in Lebensmitteln untersucht werden. Nach Extraktion der lipophilen Wertstofffraktion sollen die Proteine aus der Restbiomasse abgetrennt werden, um sie den Projektpartnern des Forschungsverbundes für die Herstellung von Lebensmitteln zur Verfügung zu stellen. Die verbliebenen Reststoffe eignen sich für die Futtermittelproduktion.

### Ausblick

Am Ende der Projektlaufzeit soll eine Methodenmatrix für die Aufarbeitung von Algenbiomasse zur Verfügung stehen, die auf Biomasse aus verschiedenen Algenspezies, mit jeweils unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung und mit unterschiedlichen Zielfractionen, übertragen werden kann. Damit wäre man dem Ziel, Mikroalgen ganzheitlich für die Ernährung zu nutzen, als wichtigem Baustein der Bioökonomie, einen großen Schritt näher.

- 1 *Pressurized Liquid Extraction: Extraktionsanlage im Labormaßstab (Dionex, ASE 350).*
- 2 *Schematische Darstellung der Polarität verschiedener Mikroalgeninhaltsstoffe und entsprechender Lösungsmittel.*
- 3 *Mikroalgenextrakte, von links nach rechts: N. oceanica, P. tricornutum und C. vulgaris. Die unterschiedliche Färbung der Extrakte ist bedingt durch algenspezifische Carotinoide.*
- 4 *Dargestellt ist der Gehalt an gesättigten und ungesättigten Fettsäuren (C<sub>14</sub>-C<sub>20</sub>) sowie der Proteingehalt von C. vulgaris, N. oceanica und P. tricornutum in der Biotrockenmasse.*



4

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Ulrike Schmid-Staiger**

Telefon +49 711 970-4111

ulrike.schmid-staiger@

igb.fraunhofer.de



**Felix Derwenskus M. Eng.**

Telefon +49 711 970-4074

felix.derwenskus@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Das Projekt wird am Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP, dem Partnerinstitut des Fraunhofer IGB an der Universität Stuttgart, bearbeitet. Wir danken der Baden-Württemberg-Stiftung und dem Ministerium für Wissenschaft und Kunst Baden-Württemberg für die Förderung des Projekts »Mikroalgen – Integrierte Nutzung für die Ernährung. Teilprojekt Entwicklung von Zellaufschluss- und Extraktionsverfahren zur Kaskadennutzung von Mikroalgenbiomasse« im Forschungsprogramm Bioökonomie Baden-Württemberg«, Förderkennzeichen 7533-10-5-93.

### Weitere Informationen

[www.bioeconomy-research-bw.de/mikroalgen](http://www.bioeconomy-research-bw.de/mikroalgen)





# UMWELT

Vor dem Hintergrund der weltweiten Diskussion über Treibhauseffekt, Ressourcenknappheit und Wasserverschmutzung kommt dem ressourcen- und umweltschonenden Wirtschaften wesentliche Bedeutung zu. In nationalen und internationalen Projekten mit Partnern aus Forschung, Industrie und Kommunen entwickelt das Fraunhofer IGB innovative Verfahren, Reaktoren und Apparate zur nachhaltigen Behandlung von industriellem Prozesswasser und kommunalem Abwasser, von Abluft, kontaminierten Böden und Abfällen. Das Geschäftsfeld Umwelt steht damit für fortschrittliche Technologieentwicklungen, die negative Auswirkungen auf die Umwelt vermeiden – und Wirtschaftlichkeit mit Nachhaltigkeit verbinden. Lösungsansätze sind in vielen Fällen stark mit Themen der Geschäftsfelder Energie und Chemie verknüpft.

**Sekundärrohstoffgewinnung** – Aufgrund der Endlichkeit primärer Rohstoffe erarbeiten wir Verfahren, um sie als Sekundärrohstoffe aus Produktions- und Abfallströmen – in einer den Primärrohstoffen gleichwertigen Qualität und mit vergleichbarem Prozessaufwand – für eine Wiederverwendung zurückzugewinnen. Für anorganische Rohstoffe (Metalle, Seltene Erden) entwickeln wir beispielsweise neue Aufarbeitungsprozesse, mit denen Stoffgemische selektiv auf molekularer bzw. atomarer Ebene aufgetrennt werden können. Im Bereich Boden konzipieren und realisieren wir Prozesse für die Rückgewinnung und Aufarbeitung gelösten oder organisch gebundenen Phosphors als hochwertige Dünger und Bodenverbesserer.

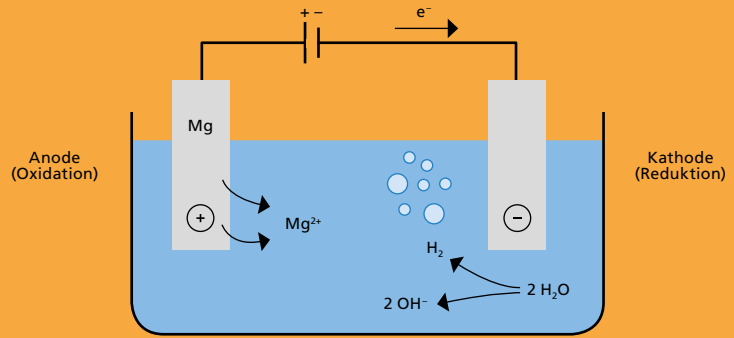
**Verbesserung der Rohstoffeffizienz** – Um den Nutzungsgrad der eingesetzten Rohstoffe zu erhöhen, verfolgen wir das Ziel, möglichst vollständige Wertstoffkreisläufe zu etablieren. Ein Beispiel ist die vollständige Verwertung biogener Ressourcen, bei der wir über eine Nutzungskaskade die stoffliche mit der energetischen Verwertung kombinieren. Bei der regenerativen Erzeugung von Algenbiomasse für die stoffliche und energetische Nutzung, einem weiteren Schwerpunkt, werden durch die Fixierung von Kohlenstoffdioxid das Klima geschont und hochwertige Rohstoffe, beispielsweise für den ökologischen Pflanzenschutz, gewonnen.

**Wasseraufbereitung** – Lösungen aus dem IGB sind innovative Infrastrukturkonzepte, die jeweils an die geographischen, demographischen und regionalen Rahmenbedingungen angepasst sind, für eine ökologische und ökonomische Bewirtschaftung von Wasser und Energie. Eine Reihe verschiedener Technologien setzen wir ein, um die Emission partikulärer oder gelöster persistenter Spurenstoffe zu verhindern. Die Rückgewinnung von Inhaltsstoffen aus Prozesswässern der Agroindustrie oder kommunalen Kläranlagen als Dünger kombiniert die Wasserreinigung mit stofflicher Wertschöpfung.

Zur Einbindung weiterer Kompetenzen ist das IGB in den Fraunhofer-Allianzen Bau, Reinigungstechnik, SysWasser, Food Chain Management und Energie, der Fraunhofer-Initiative Morgenstadt sowie in der nationalen Technologieplattform SusChem Deutschland engagiert und auch international, insbesondere innerhalb Europas, hervorragend vernetzt.



1



2

## ePhos® – ELEKTROCHEMISCHE PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG

Iosif Mariakakis, Uwe Claußnitzer, Jennifer Bilbao, Siegfried Egner

### Kreislaufführung und Recycling von Phosphor

Der Ausbau der Bioökonomie bei gleichzeitig weltweit steigendem Bedarf an Lebensmitteln führt zu einer steigenden Nachfrage für Düngemittel, insbesondere phosphorhaltigen. Allerdings wird das Angebot an Phosphordüngern durch die abnehmende Reinheit der Lagerstätten bei gleichzeitigem Rückgang der Phosphor-Konzentrationen bestimmt, sodass Abbau- und Aufbereitungskosten steigen. Ebenso steigen aufgrund des hohen Primärenergiebedarfs die Kosten für die Herstellung synthetischer Stickstoffdünger. Ein Ausweg aus dieser Entwicklung im Sinne der Nachhaltigkeit ist die Kreislaufführung der wesentlichen Nährstoffelemente Phosphor (P), Stickstoff (N) und Kalium (K). Hierzu müssen diese aus Stoffkreisläufen industrieller Produktion, der Verwertung von Lebensmitteln einschließlich kommunaler Abwässer und insbesondere aus der bioenergetischen Nutzung zurückgewonnen werden.

Das Fraunhofer IGB beschäftigt sich mit der Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger, kosteneffizienter Technologien und Strategien für ein integriertes Ressourcenmanagement. Einer der Schwerpunkte ist die Entwicklung neuartiger Technologien zur Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser und organischen Reststoffen.

### Elektrochemische Phosphatfällung aus Abwasser

Zur Rückgewinnung von Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) aus Filtratwasser der kommunalen Abwasserreinigung hat das Fraunhofer IGB das Verfahren ePhos® entwickelt. Die Phosphatfällung erfolgt elektrochemisch unter vollständigem Verzicht auf Chemikalien. Während dieses Prozesses fällt Phosphat als Magnesium-Ammonium-Phosphat ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6$

$\text{H}_2\text{O}$ , MAP oder Struvit) aus (Abb. 1). Die elektrochemische Phosphorfällung findet in einer Elektrolysezelle statt, die aus einer inerten Kathode und einer Opferanode aus Magnesium besteht (Abb. 2). Durch die kathodische Reduktion werden Wassermoleküle gespalten, wobei den pH-Wert erhöhende  $\text{OH}^-$ -Ionen gebildet werden. Hierdurch entfällt beim ePhos®-Verfahren die Einstellung des pH-Wertes durch Dosierung von Chemikalien. An der Anode findet eine Oxidation statt: Magnesiumionen gehen in Lösung und reagieren mit dem im Wasser enthaltenen Phosphor und Stickstoff zu Struvit.

### Machbarkeitsstudie in Pilotanlage

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde das Verfahren in einer Pilotanlage (Abb. 3) mit einem Durchfluss von bis  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  auf einer Kläranlage mit biologischer Phosphorelimination in Norddeutschland getestet. Wir konnten für den Kunden nachweisen, dass die Phosphorfällung und -rückgewinnung mittels des elektrochemischen Verfahrens ePhos® aus dem Zentratwasser auf dessen Kläranlage machbar ist und betriebliche Probleme lösen kann. Alle durchgeführten Versuche verliefen erfolgreich: Die Phosphor-Eliminationsrate aus dem Zentratwasser der Faulschlammwässerung bzw. Phosphor-Umsatzung zu Struvit betrug durchschnittlich mehr als 80 Prozent. Die Phosphorkonzentration im Zentratwasser wurde von durchschnittlich  $180 \text{ mg/L}$  auf  $20,8 \text{ mg/L}$  reduziert. Die Phosphorfracht, die bei der Rückführung des Filtratwassers nicht mehr behandelt werden muss, sinkt um 37 Prozent, beträgt  $9284 \text{ Kilogramm}$  jährlich und führt zu einer Reduzierung der Schlammproduktion um sieben Prozent. Die Auslegung des Verfahrens für die Anlage des Kunden ergibt, dass die elektrochemische Phosphatfällung jährlich ca. zehn Tonnen Magnesium in Form von Opferelektroden benötigen würde.

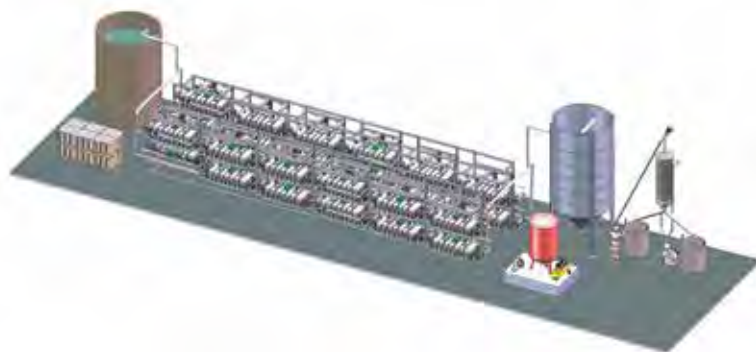




3



4



5

Hieraus könnten ca. 73 Tonnen Struvit pro Jahr gewonnen werden, das sich direkt als Düngemittel einsetzen ließe. Die gesamte auf der Kläranlage zu handhabende Chemikalienmenge, sänke um 40 Tonnen bzw. 20 Prozent pro Jahr.

### Großtechnische Umsetzung mit Flachreaktoren

Mit den Erkenntnissen der ersten Pilotierung, bei der tubulare Elektrolysezellen zum Einsatz kamen (Abb. 3), wurde das Verfahren für die großtechnische Umsetzung mit Flachreaktoren weiterentwickelt (Abb. 4). Auf der WEFTEC (Water Environment Federation's Annual Technical Exhibition and Conference) im Oktober 2015 haben wir das Verfahren zur Markteinführung in den USA vorgestellt. In Nordamerika wird auf Kläranlagen zunehmend die biologische Phosphorelimination mit anschließendem Abbau der Biomasse in Anaerob-Stufen eingesetzt. Bei dieser Betriebsweise muss Phosphor gezielt aus dem Prozess der Kläranlage entnommen werden, um unkontrollierte Ausfällungen in den Filtratwasserleitungen und Apparaten der Schlammwässerung zu vermeiden, die sonst enorme Schäden und Betriebskosten verursachen.

### Vorteile und Ausblick

Das ePhos<sup>®</sup>-Anlagenkonzept basiert auf der parallelen Serienschaltung der Elektrolysezellen (Abb. 5). Da es sich um ein rein elektrochemisches Verfahren handelt, können die Zellen bzw. die Straßen von Zellen dem Bedarf entsprechend durch ein Prozessleitsystem zu- und abgeschaltet werden. Diese vorteilhafte Betriebsweise und der effiziente, chemikalienfreie Betrieb stellen wettbewerbsfähige Alleinstellungsmerkmale dar. Zur industriellen Verwertung werden derzeit mit Interessenten Lizenzvereinbarungen getroffen. Bis Ende 2016 soll die erste großtechnische Anlage in den USA gebaut und in Betrieb genommen werden. Zukünftig werden wir das ePhos<sup>®</sup>-Verfahren noch durch weitere Prozessmodule ergänzen, um ein nachhaltiges Management der Nährstoffe auf Kläranlagen zu ermöglichen.

### Kontakt



**Dr.-Ing. Iosif Mariakakis**

Telefon +49 711 970-4231

iosif.mariakakis@igb.fraunhofer.de



**Dipl.-Ing. Siegfried Egner**

Telefon +49 711 970-3643

siegfried.egner@igb.fraunhofer.de

### Projektpartner

Ovivo LLC, Austin, USA

- 1 Zurückgewonnenes Struvit.
- 2 Grundprinzip des ePhos<sup>®</sup>-Verfahrens.
- 3 ePhos<sup>®</sup>-Pilotanlage zur elektrochemischen Phosphorfällung mit tubularen Reaktoren.
- 4 Weiterentwickelte ePhos<sup>®</sup>-Pilotierung mit kubischen Flachreaktoren.
- 5 Planungsstudie einer großtechnischen ePhos<sup>®</sup>-Anlage für eine Kläranlage mit 70 000 EW zur Gewinnung von ca. 73 t/a Struvit aus 200 m<sup>3</sup>/d Filtratwasser mit 250 mg/L Orthophosphat.



# DIE ULTRAEFFIZIENZFABRIK – VERLUSTFREI PRODUZIEREN IN LEBENSWERTER UMGEBUNG

Ursula Schließmann, Jan Iden

## Ausgangssituation

Das Projekt »Die Ultraeffizienzfabrik – Ressourcenschonende Produktion ohne Emissionen im urbanen Umfeld« strebt eine optimal gestaltete Fabrik an, von der keine Umweltbelastungen ausgehen und in der die eingesetzten Ressourcen verlustfrei verarbeitet werden. Dadurch kann die Ultraeffizienzfabrik auch in urbanen Räumen produzieren, ohne negative Einflüsse auf deren Umgebung auszuüben. Vor diesem Hintergrund haben sich drei Fraunhofer-Institute zum Ziel gesetzt, ein Konzept zu erarbeiten, wie die ultraeffiziente Fabrik aufgebaut sein muss und wie man bestehende Unternehmen im Rahmen dieses Konzepts bewerten und verbessern kann. In der ersten Projektphase wurde das Konzept der Ultraeffizienzfabrik entwickelt und ein umfassendes Reifegradmodell mit einem skalierten Kennzahlenmodell zur Bewertung ultraeffizienter Fabriken entwickelt.

## Die Produktion von morgen

Auf technisch höchstem Niveau effizient und effektiv zu produzieren, dabei die Umweltbelastung zu minimieren oder zu vermeiden und Zielkonflikte zu lösen – kurz: die zukünftige industrielle Produktion mit dem urbanen Leben in Einklang zu bringen – das verbirgt sich hinter dem gesamtheitlichen Ansatz der Ultraeffizienzfabrik.

Die Ultraeffizienzfabrik bringt die Effizienz (so wenig wie möglich) und die Effektivität (ökologisch möglichst unbedenklich) in Einklang. Damit ist nicht länger nur die Produktion im Fokus der Betrachtung, sondern das Umfeld des Produzierens wird mit eingeschlossen. In der Ultraeffizienzfabrik werden die Handlungsfelder Energie, Material, Emissionen, Mensch/Personal und die Organisation auf verschiedenen Ebenen

betrachtet (Abb. 1). Durch diesen ganzheitlichen Ansatz werden sämtliche für ein Unternehmen relevanten Themenfelder abgebildet und analysiert.

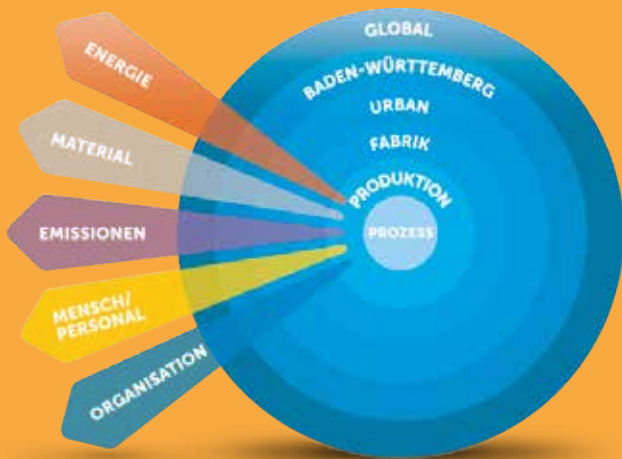
## Der Weg zur Ultraeffizienz

Im Rahmen des Projekts wurden drei Checks entwickelt, der Ultra-F-Check Basic, der Ultra-F-Check und der Ultra-F-Check Professional. Diese Checks helfen Unternehmen dabei, sich im Kontext einer Ultraeffizienzfabrik einzuordnen und zu verbessern. Der Ultra-F-Check Basic ist ein onlinebasierter Test, der nach dem ganzheitlichen Ansatz Unternehmen eine erste Einschätzung über ihren Status im Vergleich zu anderen Unternehmen gibt. Der Test bietet einen ersten kompakten Überblick über die Effizienz des jeweiligen Unternehmens.

Beim Ultra-F-Check wird in Vor-Ort-Terminen der individuelle Grad an Ultraeffizienz ermittelt. Nach der Auswertung dieses Checks können auf den unterschiedlichen Betrachtungsebenen Prozess, Produktion und Fabrik sowie in den Handlungsfeldern Energie, Material, Emissionen, Mensch/Personal und Organisation Verbesserungspotenziale aufgezeigt werden. Durch den Check erhalten Unternehmen eine übergeordnete, ganzheitliche Betrachtung und können so im Anschluss mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Effektivität und Effizienz gezielt planen und umsetzen.

Der Ultra-F-Check Professional ist eine computergestützte Detailanalyse eines Unternehmens. Durch die Aufnahme von konkreten Unternehmenskennzahlen können Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Parametern aufgezeigt und Optimierungsmaßnahmen und deren Auswirkungen im Detail abgebildet werden. Neben den Wechselwirkungen





1

verschiedener Parameter – wie dem Energieverbrauch, der Verwendung alternativer Ausgangsmaterialien und dem Anfall von Reststoffen oder Abwasser – werden damit auch die wirtschaftlichen Auswirkungen von Optimierungsmaßnahmen deutlich.

Zur Auswahl geeigneter Optimierungsmaßnahmen wurde innerhalb des Projektzeitraums eine umfassende Best-Practice-Datenbank aufgebaut, die Unternehmen dabei unterstützt, die für sie passenden Optimierungsmöglichkeiten zu finden. Das Modell der Ultraeffizienzfabrik mit Kennzahlen, Reifegraden und Best-Practice-Beispielen beinhaltet auch die Perspektive »Rohstoffversorgung und Rohstoffkreisläufe«.

### Optimierung durch Verfahrenstechnik

Es wurden bereits mehrere Unternehmen aus verschiedenen Branchen mithilfe der Ultra-F-Checks analysiert und optimiert, dabei konnte die Anwendung der verschiedenen Ultra-F-Checks erprobt und weiter optimiert werden. Bei einem unserer Kunden konnte durch die Durchführung des Ultra-F-Checks u.a. konkretes Optimierungspotential im Abwasserbereich aufgezeigt werden. Als Sofortmaßnahme plant das Fraunhofer IGB derzeit ein neues Konzept zur Behandlung von sulfathaltigem Abwasser durch eine Kombination von chemisch-physikalischer Vorbehandlung und biologischer Nachreinigung. Durch die Prozessoptimierung können die vorgegebenen Grenzwerte leichter eingehalten werden und es ergibt sich ein geringeres zu entsorgendes Feststoffvolumen.

Innerhalb des Projekts »Die Ultraeffizienzfabrik – Ressourcenschonende Produktion ohne Emissionen im urbanen Umfeld« liegen die Kompetenzen des Fraunhofer IGB in der Optimierung verfahrenstechnischer Prozesse in den Bereichen Wassermanagement, Industrieabwasserbehandlung, Umwelttechnik sowie der Produktgewinnung aus organischen Reststoffen.



2

### Kontakt



#### Jan Moritz Iden B. Sc

Telefon +49 711 970-4030  
jan.iden@igb.fraunhofer.de



#### Dr.-Ing. Ursula Schließmann

Telefon +49 711 970-4222  
ursula.schliessmann@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Wir danken dem Umweltministerium Baden-Württemberg für die Förderung des Projekts.

### Projektpartner

Fraunhofer IPA, Stuttgart (Projektkoordination) | Fraunhofer IAO, Stuttgart

### Weitere Informationen

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

- 1 Handlungsfelder und Betrachtungsebenen der Ultraeffizienzfabrik.
- 2 Ganzheitlicher Ansatz zur nachhaltigen Produktion.



## MORGENSTADT – CITY LAB TIFLIS

Marius Mohr

### Systemanalyse für die zukunftsfähige Stadt

Nicht umsonst hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Jahr 2015 unter das Motto »Wissenschaftsjahr Zukunftsstadt« gestellt. Städte nehmen bezüglich der nachhaltigen Entwicklung der Menschheit eine Schlüsselrolle ein. In diesem Zusammenhang hat die Fraunhofer-Gesellschaft im Jahr 2012 die Initiative »Morgenstadt« ins Leben gerufen. Ziel ist es, in einem Netzwerk aus Wissenschaft, Kommunen und Industrie einen Impuls für die nachhaltige Entwicklung von Städten zu geben. Als ein Ergebnis wurde eine Methodik zur Systemanalyse von Städten entwickelt, das »City Lab«. Es basiert auf der Sensitivitätsanalyse nach Frederic Vester [1] und soll die wesentlichen Handlungsfelder einer Stadt für ihre zukünftige Entwicklung identifizieren.

### Tiflis wird zum »Stadtlabor«

Finanziert im Rahmen der Zusammenarbeit mit Georgien aus Mitteln des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) sowie durch einen Eigenbeitrag der Stadt Tiflis wird von Juni 2015 bis März 2016 unter der Leitung des Fraunhofer IGB ein City Lab in Tiflis (Georgien) durchgeführt.

Ziel des City Lab ist die Erstellung eines Nachhaltigkeitsprofils sowie einer Roadmap der nachhaltigen Entwicklung für eine Stadt. Betrachtet werden insgesamt 16 verschiedene Sektoren, die zusammen ein nahezu vollständiges Bild der verschiedenen Tätigkeitsfelder in einer Stadt ergeben sollen. Dazu werden zunächst etwa 100 quantifizierbare Indikatoren erhoben und mit vergleichbaren Städten in Bezug gesetzt. Weiterhin werden ca. 80 Handlungsfelder aus den verschiedenen Sektoren darauf überprüft, wie weitgehend die betreffende Stadt im jeweiligen Bereich bereits aktiv ist. Zuletzt werden Einflussfaktoren ermittelt, die für die untersuchte Stadt

besonders relevant sind und die dort erfolgten Entwicklungen erklären, aber auch auf zukünftige Entwicklungen einwirken können.

### Analyse vor Ort zeigt Handlungsbedarf

Kernstück des City Lab ist die Vor-Ort-Analyse. In einem Zeitraum von zwei Wochen führt das Morgenstadt City-Team semi-strukturierte Interviews, besichtigt wichtige Einrichtungen und rundet die Datensammlung ab. Während der Vor-Ort-Analyse in Tiflis wurden Ende September/Anfang Oktober 2015 insgesamt 55 Interviews mit Vertretern der Stadtverwaltung, von Universitäten, nationalen Ministerien, Nichtregierungsorganisationen und privaten Unternehmen geführt. Am 9. Oktober 2015 fand ein Innovationsworkshop in Tiflis statt, in dem acht erste Projektideen mit etwa 40 Akteuren aus Tiflis diskutiert wurden.

### Nachhaltigkeitsprofil und konkrete Maßnahmen

Auf der Grundlage der Vor-Ort-Analyse wurde das Nachhaltigkeitsprofil von Tiflis erstellt. Parallel wurden im Rahmen der Roadmap-Erstellung insgesamt 19 Projektideen ausgearbeitet, von denen die Stadtverwaltung in Tiflis acht auswählte, die für den »Project Development Workshop« am 29. Januar 2016 weiterentwickelt wurden. Bei diesem Workshop wurden für die ausgewählten Projekte bereits möglichst konkrete nächste Schritte geplant, sodass sie unmittelbar nach der abschließenden Vorstellung der Roadmap zur nachhaltigen Entwicklung im März 2016 starten können.

### Ergebnisse der Vor-Ort-Analyse und Handlungsbedarf in Tiflis

Als Hauptstadt Georgiens an der Schnittstelle zwischen Europa und Asien hat Tiflis großen Einfluss auf die Entwicklung dieser Region am Kaukasus. Die Struktur der mehr als eine



3



4



5

Million Einwohner zählenden Stadt ist einerseits geprägt von der Sowjetunion mit Plattenbausiedlungen und einer grundlegenden, aber vielfach veralteten Infrastruktur, etwa einem unterirdischen Metrosystem und einer zentralen Wasserversorgung.

Andererseits gibt es seit 1990 eine starke Tendenz zur Privatisierung und Deregulierung. So sind Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie Strom- und Gasversorgung derzeit in privater Hand. Die biologische Stufe der zentralen Kläranlage, ursprünglich für eine mechanisch-biologische Behandlung von einer Million Kubikmeter Abwasser pro Tag ausgelegt, ist außer Betrieb und das nur noch mechanisch behandelte Abwasser wird in den Fluss Mtkvari eingeleitet. Die Grünflächen, die bis 1990 aufgrund einer zentralisierten Planung in großen Teilen der Stadt vorhanden waren, wurden seither durch unregulierte Bautätigkeit stark reduziert. Der Verkehr kommt auf zumeist maroden Straßen während der Hauptverkehrszeiten häufig zum Stillstand. Nachdem viele produzierende Unternehmen schließen mussten, gibt es etliche Industriebrachen in der Stadt. Auch die Auswanderung vieler qualifizierter Menschen und die Zuwanderung gering qualifizierter Menschen aus dem Umland stellen eine Herausforderung dar.

Als unangefochtenes Zentrum in Georgien weist Tiflis allerdings eine Vielzahl an Universitäten und Hochschulen auf. Aufgrund seiner Lage zwischen Russland, Iran und Türkei und eines touristisch reizvollen Umlands verfügt Tiflis über interessante Perspektiven. Auch die Stadt selbst ist sehenswert und der Tourismus nimmt zu. Nicht zuletzt ist Georgien, u. a. wegen der funktionierenden Demokratie und einer Gaspipeline von Aserbaidschan zum Schwarzen Meer, ein wertvoller Handelspartner der EU und der USA.

### Kontakt



**Dr.-Ing. Marius Mohr**  
 Telefon +49 711 970-4216  
 marius.mohr@igb.fraunhofer.de



**Dr.-Ing. Ursula Schließmann**  
 Telefon +49 711 970-4222  
 ursula.schliessmann@igb.fraunhofer.de

### Literatur

[1] Vester, F. (2002) Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Ein Bericht an den Club of Rome. dtv-Verlag, ISBN 3-423-33077-5

### Förderung

Wir danken dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung für die Förderung dieses Projekts.

### Projektpartner

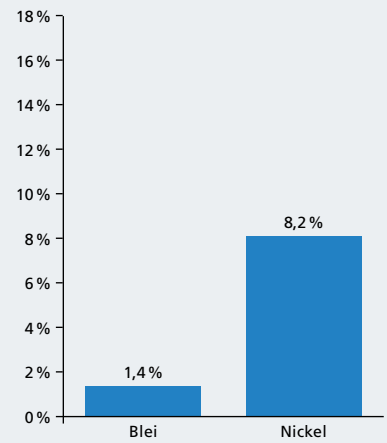
Fraunhofer IAO, Stuttgart | Drees & Sommer, Stuttgart

### Weitere Informationen

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

- 1+2 *Tiflis ist eine sehenswerte Stadt in einem reizvollen Umland.*
- 3+4 *Prägen das Stadtbild von Tiflis: Plattenbauten, Industriebrachen, marode Infrastruktur.*
- 5 *City Lab: Ziele und Roadmap zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung.*





2

## EIN WASSERTEST FÜR JEDEN HAUSHALT

Gabriele Beck-Schwadorf, Susanne M. Bailer

### Wasser – wichtigstes Lebensmittel

Trinkwasser wird in Deutschland sehr sorgfältig untersucht. Es entspricht den gesetzlichen Voraussetzungen der Trinkwasserverordnung, die sicherstellt, dass die kommunalen Wasserversorger nur Wasser höchster Qualität verteilen. Allerdings gibt es in Deutschland auch eine erhebliche Anzahl von Selbstversorgern. Zudem können auch externe Faktoren die Wasserqualität beeinflussen, die nicht der Kontrolle des Wasseranbieters unterliegen. Für diese Fälle bietet das Fraunhofer IGB gemeinsam mit einem Industriepartner eine umfassende Wasseranalytik an. Der bisherige rein chemisch-physikalische Wassercheck wird nun um bakteriologische Untersuchungen auf Keimbelastungen der Wasserproben ergänzt.

Beispielsweise sollte zur Herstellung von Babynahrung nitratarmes Wasser (< 10 mg/L) verwendet werden, da Nitrat bei Säuglingen das Risiko der sogenannten Blausucht erhöht. Brunnenwasser, das als Trinkwasser oder zum Bewässern von Gemüse und Kräutern genutzt wird, muss ebenfalls auf Schwermetalle und Nitrat sowie krankheitserregende Keime überprüft werden.

### Einfluss von Hausleitungen und Armaturen

Trinkwasser muss sowohl chemischen als auch mikrobiologischen Anforderungen entsprechen. Allerdings kann auf den letzten Metern, die das Trinkwasser vom Versorger bis zum Wasserhahn zurücklegt, noch viel passieren. Hausleitungen und Entnahmearmaturen sind ein besonders kritischer Bereich der Trinkwasserversorgung. Ursachen für die Beeinträchtigungen der Wasserqualität können z. B. in der häuslichen Bausubstanz liegen – bis 1973 wurden häufig Bleileitungen eingebaut. Des Weiteren können die verwendeten Armaturen – marken- und preisunabhängig – Metalle wie Nickel oder

Chrom ins Wasser abgeben. Insbesondere wenig genutzte Leitungen mit stehendem Wasser können zu dessen Anreicherung mit Schwermetallen und bakteriellen Keimen führen. In Deutschland versorgen sich außerdem rund eine Million Menschen über Hausbrunnen. Diese unterliegen keiner Kontrolle und Möglichkeiten, das Wasser zu analysieren, sind oft nicht gegeben.

### Aktuelle Auswertung

Bei einer aktuellen Auswertung von über 1500 Wasserproben aus deutschen Haushalten überschreitet fast jede zehnte Probe den zulässigen Grenzwert für Nickel, wie in der Trinkwasserverordnung definiert. Eine intensive landwirtschaftliche Flächen- und Bodennutzung kann das Grundwasservorkommen unter anderem mit Nitraten belasten. Die analysierten Wasserproben der Hausbrunnen zeigten bei fast 16 Prozent erhöhte Nitratwerte auf.

### Keime im Wasser

In Wasserleitungen können sich Krankheitserreger ansiedeln, wenn es von außen zu Verunreinigungen kommt, z. B. durch Bau- oder Sanitärarbeiten, defekte Leitungen oder die Nähe zu landwirtschaftlichen Anlagen, insbesondere bei Hausbrunnen. Ein gehäuftes Auftreten von Fäkal- oder Darmkeimen wie *Escherichia coli* und coliformen Keimen, welche zu Durchfallerkrankungen führen können, deuten auf Hygienemängel hin. *Pseudomonas aeruginosa* gilt selbst in geringen Keimzahlen als gesundheitlich bedenklich, vor allem bei älteren Menschen und Säuglingen.



3

### Chemisch-physikalische Untersuchungen

Trinkwasserproben untersuchen wir mit modernsten qualitätsgesicherten chemisch-physikalischen Analyseverfahren auf Metalle und Spurenelemente (Blei, Cadmium, Nickel, Kupfer, Aluminium, Eisen, Chrom, Molybdän, Lithium), auf Kationen (Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium) und Anionen (Chlorid, Fluorid, Nitrat, Phosphat, Sulfat). Zudem werden sensorische Parameter der Proben wie Geruch und Trübung bestimmt, auch Wasserhärte und Gehalt an Hydrogencarbonat werden überprüft.

### Mikrobiologische Untersuchungen

Um mikrobiologische Parameter zu analysieren, kommen klassische mikrobiologische Kulturmethode zum Einsatz. Keimspezifische Tests identifizieren und quantifizieren coliforme Bakterien, *Escherichia coli*, Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa*. Das Testergebnis wird als sogenannte koloniebildende Einheiten (KBE) je 100 mL angegeben.

#### Kontakt



**Staatl. gepr. LM-Chem. Gabriele Beck-Schwadorf**

Telefon +49 711 970-4035  
gabriele.beck-schwadorf@  
igb.fraunhofer.de



**Priv.-Doz. Dr. sc. nat. Susanne Bailer**

Telefon +49 711 970-4180  
susanne.bailer@igb.fraunhofer.de

#### Projektpartner

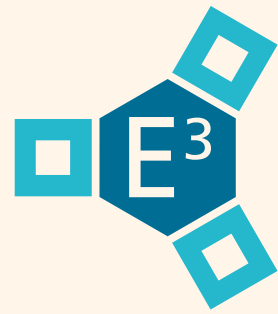
AQA GmbH, Wien, Österreich

#### Weitere Informationen

[www.wassercheck.org](http://www.wassercheck.org)

- 1 Hausleitungen und Armaturen beeinflussen die Trinkwasserqualität.
- 2 Anteil Grenzwertüberschreitungen aus 1500 vom IGB analysierten Wasserproben.
- 3 Wasseranalyse im Labor.



E<sup>3</sup>-PRODUKTION

## LEITPROJEKT E<sup>3</sup>-PRODUKTION – EFFIZIENT, EMISSIONSARM, ERGONOMISCH

Birgit Haller, Jan Iden, Ursula Schließmann

### Zukünftige Welt der Produktion

Für produzierende Unternehmen wird es immer wichtiger, alternative und regenerative Energieträger effizient einzusetzen und Materialien im Kreislauf zu führen. Auch die Rolle des Menschen ist in einer zunehmend digitalisierten und vernetzten Produktionsumgebung zu überdenken. Vor diesem Hintergrund haben sich zwölf Fraunhofer-Institute das Ziel gesetzt, die Produktionswelt mithilfe neuer Denkansätze zu verändern. Die drei »E« im Leitprojekt E<sup>3</sup> stehen für effiziente Technik, effiziente Fabriken und effizientes Arbeiten oder anders gesagt: maximale Ressourcenschonung und minimale Emissionen unter Einbindung des Menschen. In den ersten beiden Projektjahren wurden innerhalb des Konsortiums vielversprechende Lösungen zur Planung, Steuerung, Optimierung und Bewertung von Produktionsprozessen und -stätten erarbeitet, die nun zu einer »E<sup>3</sup>-Welt der Produktion von morgen« vereinigt werden sollen.

### Nachhaltigkeits- und Nutzenbewertung

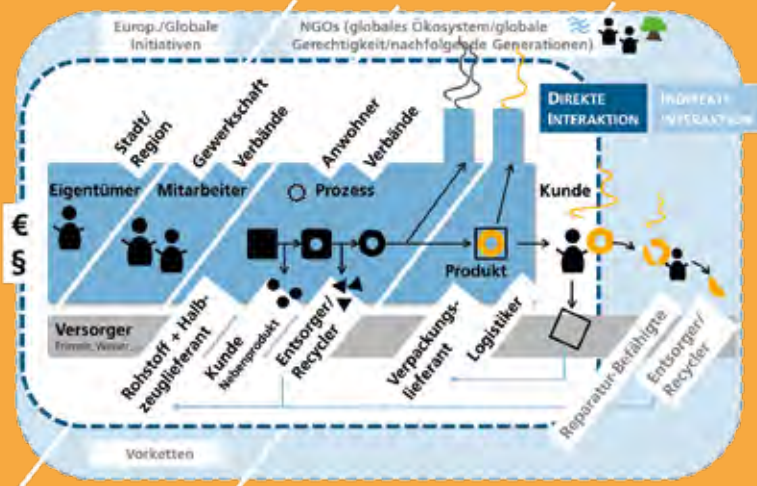
Bereits vor der Einführung neuer Prozesse oder dem Bau neuer Fabriken alle beteiligten Akteure in die Planung einzubeziehen, wird zum wichtigen Erfolgsfaktor für produzierende Unternehmen, vor allem, wenn Produktionsstätte und urbanes Umfeld stärker zusammenrücken. Die synergetische Betrachtung von ökonomischen, sozialen und ökologischen Kriterien in einem effizienten Produktionsablauf steht im Teilprojekt »Nachhaltigkeits- und Nutzenbewertung von Produktionen für die deutsche Industrie – SUSPROFIT« im Vordergrund. Hier wird ein praxisnahes, branchenbezogenes Bewertungssystem entwickelt, das Interessen betroffener Akteure identifiziert, im Kontext der Nachhaltigkeit einordnet und Handlungsoptionen aufzeigt.

### Stakeholdersicht weitet den Blick

Ziel ist die Bewertung von Produkten und Prozessen über einen Lebenszyklusansatz, der Herstellung, Verteilung, Nutzung und Entsorgung berücksichtigt. Das Expertenteam von Fraunhofer IGB und UMSICHT setzt dabei auf seine Erfahrungen aus dem Nachhaltigkeitsmanagement mit der eigenen Organisation sowie vorrangig aus großen Unternehmen. Alle Stakeholder einzubinden ist ein Ansatz, der dort schon standardmäßig eingeführt ist. Er wird auf die Betrachtung von Produktionsprozessen in kleineren und mittelständischen Betrieben angepasst, um den Unternehmen zu helfen, schneller auf mögliche Risiken reagieren zu können, eine höhere Akzeptanz in der Gesellschaft zu erreichen und letztendlich besser am Markt bestehen zu können (Abb. 1). Interessen von Mitarbeitern, Kapitalgebern, Lieferanten, Kunden und Verbrauchern, Anwohnern, Gesetzgebern und Umweltorganisationen werden im Dialog mit Unternehmensvertretern analysiert.

### Baukasten für die Interaktionsanalyse

Ein Baukasten aus rechnergestützten Analysewerkzeugen, einer Wissensdatenbank und Bewertungsmethoden ist das Gerüst für eine umfassende Systematisierung von Erfolgs- und Risikofaktoren. Kernelement für die sogenannte Stakeholder-Interaktionsanalyse ist das Gespräch mit dem Unternehmer (Abb. 2). Dabei werden alle relevanten Wirkfelder mit ökonomischer, ökologischer oder sozialer Ausprägung betrachtet und auf deren Bedeutung für wichtige Stakeholder hin untersucht. Für einen anschließenden Dialog mit den entsprechenden Anspruchsgruppen können verschiedene Formate gewählt werden, beispielsweise Mitarbeiterbefragungen oder Nachbarschaftsdialoge. Aus der zielgerichteten Verknüpfung von Analyse, Recherche, Dialog und Beratung erhält das



1



2

Unternehmen folgende Informationen: Einstufung des Ist-Zustands im Nachhaltigkeitskontext, Hinweise auf Interessenkonflikte, dringliche Handlungsfelder (Hot Spots), Machbarkeit von Verbesserungsmaßnahmen sowie Handlungsempfehlungen auf der Basis von Good-Practice-Beispielen.

Derzeit laufen konkrete Testprojekte bei zwei KMUs und einem Anlagenhersteller. In der verbleibenden Projektlaufzeit soll das Interaktionstool in den Demonstrator »Virtuelle Plattform E<sup>3</sup>-basierte Produktentwicklung« in Berlin integriert werden, um dort die Möglichkeiten der E<sup>3</sup>-Produktion sichtbar und erlebbar zu machen.

### Kontakt



**Dr.-Ing. Ursula Schließmann**

Telefon +49 711 970-4222  
ursula.schliessmann@igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Birgit Haller**

Telefon +49 711 970-4083  
birgit.haller@igb.fraunhofer.de

### Förderung

Wir danken der Fraunhofer-Gesellschaft für die Förderung des Leitprojekts »E<sup>3</sup>-Produktion«.

### Projektpartner

Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT, Sankt Augustin | Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart | Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal | Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg | Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen | Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund | Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin | Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart | Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Aachen | Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen | Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz

### Weitere Informationen

[www.e3-produktion.de](http://www.e3-produktion.de)

- 1 Modell der Stakeholder-Interaktionsanalyse.
- 2 Kernelement für die Stakeholder-Interaktionsanalyse ist das Gespräch mit dem Unternehmer.



# ENERGIE

Eine Energieversorgung auf der Basis von Rohöl, Erdgas und Kohle bedient sich endlicher Primärenergiequellen und führt zu einer rapiden Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und damit zu unkalkulierbaren Veränderungen des Klimas. Der Übergang zu einer nachhaltigen und umweltverträglichen, gleichwohl zuverlässigen und wirtschaftlichen Energieversorgung ist daher eine der zentralen Herausforderungen, der sich das Fraunhofer IGB für die Nutzungspfade Strom, Wärme und chemische Energieträger (Kraftstoffe) stellt.

**Nachhaltige Energiewandlung** – Die effiziente Erzeugung von Biogas aus organischen Abfällen, Reststoffen der Lebensmittelindustrie und der Landwirtschaft sowie Klärschlamm und Abwasser mit Anaerobtechnologien ist seit Jahrzehnten ein zentrales Forschungsgebiet am IGB. Zunehmend werden auch geringe Massenströme aus dezentralen Quellen interessant. Beiträge zur Erhöhung der Photosynthesekapazität leisten wir durch Kultivierungsprozesse für Mikroalgen. Deren Speicherstoffe lassen sich direkt (Lipide), nach fermentativer Umsetzung zu Ethanol (Stärke) oder nach Vergärung zu Biogas (Restbiomasse) energetisch nutzen. Die Erschließung weiterer regenerativer Energiequellen ermöglichen innovative Membrantechnologien, z. B. für Ethanol-Brennstoffzellen oder Osmosekraftwerke.

**Energieeffizienz bei verfahrenstechnischen Prozessen** – Der Energieverbrauch in der verfahrenstechnischen Industrie ist erheblich; Einsparpotenzial bieten Prozessoptimierungen, etwa effiziente Trennverfahren, sowie die Minimierung von Prozessschritten. Für die Abtrennung von hochreinem Methan aus Biogas als Grund- oder Kraftstoff untersuchen wir Absorptions- und Membranverfahren sowie ionische Flüssigkeiten, die CO<sub>2</sub> mit hoher Kapazität binden. Weitere Handlungsoptionen bieten energieeffiziente Trocknungsverfahren mit überhitztem Dampf bei Atmosphärendruck sowie Prozesse zum schnellen Energieeintrag mittels Mikrowellenfeldern, z. B. bei Pyrolyseprozessen. Um Windkraftanlagen auch bei Frost betreiben zu können, haben wir eine Antieisrüstung auf Folien entwickelt.

**Energiespeicherung** – Um die Klimaschutzziele zu erreichen, muss auch die bei der Stromerzeugung und in vielen Industrieprozessen anfallende Abwärme vermehrt genutzt werden. Um überschüssige Wärme für einen zeitlich und räumlich entkoppelten Bedarf zugänglich zu machen, arbeiten wir an Systemen zur thermo-chemischen Langzeitspeicherung von Wärme. Daneben werden neue Verfahren entwickelt, um elektrische Energie durch Bindung und Umwandlung von CO<sub>2</sub> in chemische Energiespeicher, beispielsweise in Form längerkettiger Kohlenwasserstoffe, zu nutzen.

Auch integrierte Stoffstrom- und Energiekonzepte für Kommunen und Regionen werden in Angriff genommen, um gewachsene Lösungen durch Systemansätze mit neuesten Technologien zu ersetzen. Deshalb engagiert sich das IGB auch in den Fraunhofer-Allianzen Energie, Bau und SysWasser sowie der Fraunhofer-Initiative Morgenstadt.





## ETAMAX – BIOGAS AUS LIGNOCELLULOSE-ARMEN ABFALL- UND ALGENRESTSTOFFEN

Brigitte Kempter-Regel, Ulrike Schmid-Staiger, Steffen Görner, Alexander Laug, Stephan Scherle, Christian Bringmann, Lukas Röhrenbach, Ronja Munkel, Ursula Schließmann

### Bioenergie für die Mobilität

Um die Abhängigkeit von knapper werdendem Erdöl und gleichzeitig den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid zu verringern, ist die Nutzung erneuerbarer Energien eine nachhaltige Alternative. Hier spielt die Nutzung pflanzlicher Biomasse zur Gewinnung von Bioenergie – Strom, Wärme oder Kraftstoffen – eine herausragende Rolle. Das Potenzial von Abfall-Biomasse zur Erzeugung von Biogas sowie dessen Anwendung als Kraftstoff werden jedoch bislang zu wenig ausgeschöpft.

### Effiziente Biogasgewinnung aus Biomasse

Bestens zur Vergärung geeignet sind organische Abfallstoffe mit sehr hohem Wasseranteil und geringem Gehalt an Lignin und Lignocellulose, z. B. Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, Großmarktabfälle oder Algenreststoffe.

Koordiniert durch das Fraunhofer IGB hat sich ein Projekt-konsortium daher zum Ziel gesetzt, leicht vergärbare, lignocellulosearme nasse Biomasse mit einem adaptierten Hochlastvergärungsverfahren unter maximaler Energiegewinnung vollständig zu Biogas umzusetzen und gleichzeitig alle Stoffkreisläufe zu schließen. Insbesondere konzentriert sich das Konsortium im Projekt EtaMax auf kostengünstig anfallende Bioabfälle und Algenrestbiomasse, die keine Konkurrenz zu Nahrungsmitteln darstellen. Im Rahmen des Projekts stand die regionale Erzeugung und Nutzung des regenerativen Methans aus Biogas im Mittelpunkt. Das aufgereinigte Biomethan wurde als Fahrzeugkraftstoff für den Antrieb von CNG-Fahrzeugen (Compressed Natural Gas) genützt. Bei der Vergärung anfallende, flüssige nährstoffreiche Gärreste wurden zur Anzucht von Mikroalgen eingesetzt, da sie die für das

Wachstum von Algen notwendigen anorganischen Nährstoffe in ausreichendem Maß enthalten.

### Umsetzung von Großmarktabfällen zu Biogas

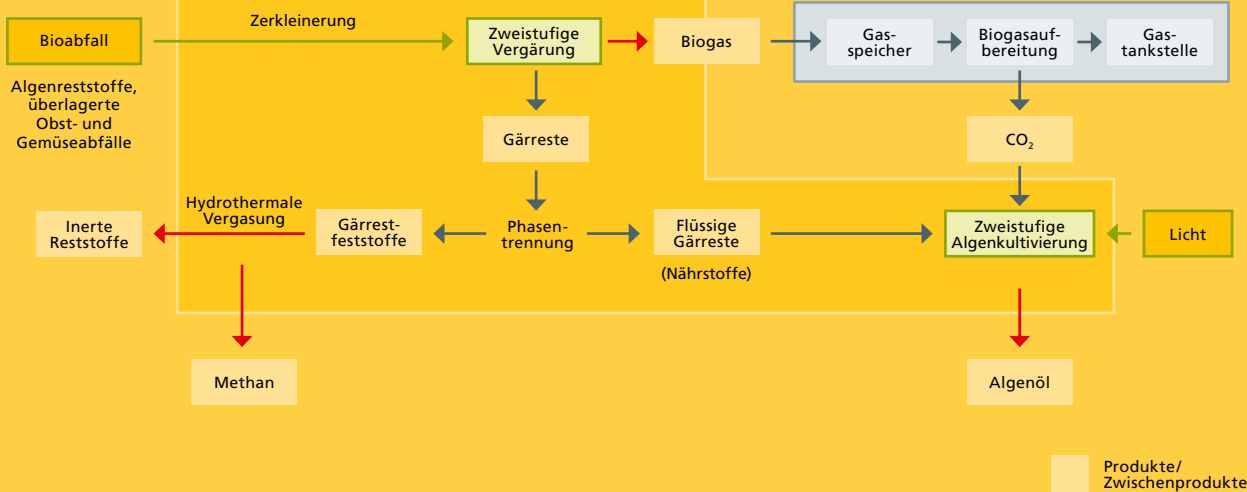
Erstmals wurden überlagerte Obst- und Gemüseabfälle eines Großmarktes (Großmarkt Stuttgart) in einem zweistufigen Verfahren in zwei Gas-Lift-Reaktoren mit je 3,2 m<sup>3</sup> sehr effizient zu Biogas umgesetzt. Dazu wurde das Hochlastvergärungsverfahren, das am Fraunhofer IGB entwickelt und für Klärschlamm seit 1994 mehrfach technisch realisiert wurde, erweitert und für dieses Substrat angepasst.

Mit einer hydraulischen Verweilzeit von 17 Tagen je Stufe konnte die Anlage auch mit wechselnden Obst- und Gemüseabfällen dauerhaft stabil betrieben werden. Es wurden Abbaugrade von bis zu 95 Prozent erzielt, wobei der überwiegende Teil des Abbaus in Stufe 1 erfolgte. Die Biogasausbeute lag hier zwischen 840–920 Normliter Biogas pro Kilogramm zugeführter organischer Trockensubstanz, der Methangehalt bei 55–60 Prozent.

### Biogaserzeugung und Algenkultivierung als effizienter Stoffkreislauf

Für die energetische Nutzung von Algeninhaltsstoffen wurde im Fraunhofer IGB ein zweistufiger vollautomatisierter Prozess zur Erzeugung von lipidreicher Algenbiomasse in Flachplatten-Airlift-Reaktoren (FPA) im Freiland entwickelt und in den Pilotmaßstab übertragen.

Die Schließung der Stoffkreisläufe für Stickstoff und Phosphat zwischen Biogaserzeugung und Algenkultivierung erfolgte



4

Produkte/  
Zwischenprodukte

über die Nutzung des Flüssiggärrests aus den Biogasreaktoren als Mediumskomponente für die Produktion von Algenbiomasse. Eine speziell auf diesen Flüssiggärrest adaptierte Algen-Mischkultur wurde mit Flüssiggärresten aus der Obst- und Gemüseabfallvergärung erfolgreich über vier Monate in 180-Liter-FPA-Reaktoren kultiviert. Dabei wurde die im Flüssiggärrest enthaltene Ammoniumkonzentration von ca. 800 mg/L vollständig verbraucht. Die Biomassekonzentration im FPA-Reaktor betrug 2,5 g/L bis 5,5 g/L zwischen den Erntezeitpunkten. Die volumetrische Biomasseproduktivität schwankte je nach Witterungsverhältnissen zwischen 0,1 und 0,35 g L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

### Ausblick

Die Vergärung von Obst- und Gemüseabfällen in wechselnder Zusammensetzung konnte erstmals im Langzeitbetrieb unter kontinuierlichen Bedingungen mit einer Verweilzeit von 17 Tagen stabil mit hohem Abbaugrad und hoher Biogasausbeute betrieben werden. Die Stoffkreisläufe wurden durch die Verwertung des Biogases (nicht dargestellt) und die Verwertung der Gärreststoffe geschlossen. Die Nutzung von Flüssiggärrest als Mediumskomponente für die Algenkultivierung ist ein Schritt zur Senkung der Produktionskosten für Algenbiomasse. Diese Ergebnisse zeigen aber auch einen Weg zur Reduktion der Stickstoff- und Phosphatfracht von Flüssiggärresten und zur Erzeugung von phototrophen Biomassen, die sowohl energetisch als auch stofflich verwertet werden können. Dies geht einher mit einer Kostenreduktion sowohl bei der Algenproduktion als auch bei der Abwasserreinigung von Biogasabläufen.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Brigitte Kempter-Regel**

Telefon +49 711 970-4128  
brigitte.kempter-regel@  
igb.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Ulrike Schmid-Staiger**

Telefon +49 711 970-4111  
ulrike.schmid-staiger@  
igb.fraunhofer.de

### Förderung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Verbundvorhabens »EtaMax – Mehr Biogas aus lignocellulosearmen Abfall- und Mikroalgenreststoffen durch kombinierte Bio-/Hydrothermalvergasung«, Förderkennzeichen 03SF0350A innerhalb des Programms »Bio-Energie 2021«.

### Projektpartner

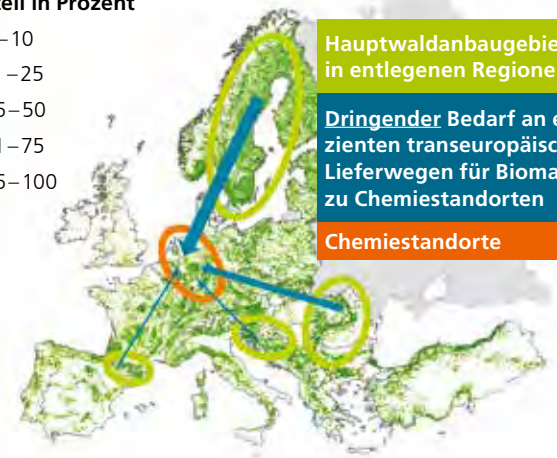
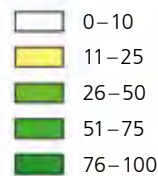
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising | Karlsruher Institut für Technologie (KIT) | Paul Scherrer Institut PSI, Villigen, Schweiz | Daimler AG, Stuttgart | EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Karlsruhe | FairEnergie GmbH, Reutlingen | Netzsch Mohnopumpen GmbH, Selb | Stulz Wasser- und Prozesstechnik GmbH, Grafenhausen | Subitec GmbH, Stuttgart | Stadt Stuttgart

- 1 *Obst- und Gemüseabfälle vom Großmarkt Stuttgart.*
- 2 *Zweistufige Pilotanlage zur Vergärung von Obst- und Gemüseabfällen.*
- 3 *Gewächshausanlage mit 180-Liter-Flachplatten-Airlift-Reaktoren.*
- 4 *Verfahrens- und Wertschöpfungskette.*



1

## Waldanteil in Prozent

Hauptwaldanbaugebiete  
in entlegenen RegionenDringender Bedarf an effizienten  
transeuropäischen  
Lieferwegen für Biomasse  
zu Chemiestandorten

Chemiestandorte

2

## TRANSPORTKONDITIONIERUNG VON LIGNO-CELLULOSE-BIOMASSE DURCH TORREFIZIERUNG

Simone Mack, Sukhanes Laopeamthong, Siegfried Egner

### Bioökonomie – Alternative für die Chemie

Die chemische Industrie steht aufgrund des Wachstums der kostengünstig produzierenden Schwellenländer EU-weit vor der Herausforderung, sich durch Innovationen und effizientere Produktionen im Wettbewerb zu behaupten. Die Produktion in dieser Industriebranche beruht derzeit im Wesentlichen auf der Nutzung fossiler Energieträger. Im Jahr 2010 wurden mehr als 54 Millionen Tonnen Öläquivalent verbraucht [1]. Diese stammen in erster Linie aus konkurrierenden oder instabilen Regionen außerhalb Europas. Zudem hat das Verbraucherverhalten zunehmend Einfluss auf die chemische Industrie. Verbraucher legen steigenden Wert auf umweltfreundliche Produkte, deren Inhaltsstoffe und Auswirkungen keinen negativen Einfluss auf die Umwelt haben [1, 2]. Als Alternative haben industrielle Bioraffinerien das Potenzial über die Nutzung von Biomasse dazu beizutragen, den Klimawandel abzuschwächen und die wachsende Nachfrage an Energie, Brennstoff, Chemikalien und Materialien zu stillen [1].

### SteamBio – Aufbereitung für wirtschaftlichen Transport

Daher ist es von zentraler Bedeutung, eine wirtschaftliche und nachhaltige Versorgung mit – wegen der hohen Massendichte insbesondere lignocellulosehaltiger – Biomasse sicherzustellen. Derzeitige Forschungsarbeiten konzentrieren sich überwiegend auf Themen der energetischen und stofflichen Nutzung [3, 4]. Bisher nicht beachtet wurden die Entfernungen zwischen den Regionen in Europa, die die notwendige Menge an Holz-Biomasse bereitstellen können (Skandinavien, Osteuropa etc.), und den wenigen zentralen Industriestandorten, an denen die Biomasse dann verarbeitet und genutzt wird (Abb. 2). Benötigt wird daher ein Konzept zur dezentralen Vorkonditionierung der Biomasse, um einen effizienten Transport zu ermöglichen.

Um das Potenzial der Lignocellulose-Biomasseressourcen optimal nutzen zu können, wird vom Fraunhofer IGB ein Prozess entwickelt, welcher lignocellulosehaltige Rohstoffe wie land- und forstwirtschaftliche Reststoffe mit mobilen Anlagen lokal in den Regionen, in denen sie anfallen, so konditioniert, dass sie trotz der Vorbehandlung vollständig stofflich verwertet sowie optimiert transportiert und gelagert werden können.

### Torrefizierung durch Trocknung mit überhitztem Wasserdampf

Dies wird durch einen flexiblen Torrefizierungsprozess realisiert. Hierbei wird die Biomasse in einer inerten Atmosphäre für eine bestimmte Prozesszeit erhitzt. Die Prozesstemperatur liegt jedoch unterhalb des Werts, ab dem eine Karbonisierung (Pyrolyse) stattfindet. Der am IGB entwickelte Torrefizierungsprozess basiert auf der Trocknung mittels überhitztem Wasserdampf bei Atmosphärendruck, bei der in einer inerten Atmosphäre aus reinem, luftfreiem Dampf prozessiert wird.

Die energieeffiziente Technologie hat sich bereits in den unterschiedlichsten Trocknungsanwendungen bewährt. In zwei Pilotanlagen konnten wir zeigen, dass mit überhitztem Wasserdampf Biomasse unter minimalem Abbau der Lignocellulose bei unter 300 °C torrefiziert werden kann. Bei diesem Prozess entsteht ein hydrophober und sehr leicht vermahlbarer Feststoff. Mit dem überschüssigen Dampf, der aus der Produktfeuchte resultiert, entweichen aber auch werthaltige, volatile Verbindungen als Nebenprodukte, die aus dem Dampf abgetrennt werden können.

Im Vergleich zur konventionellen Torrefizierung wird in der sauberen Atmosphäre des SteamBio-Reaktorkonzeptes die





torrefizierte Biomasse nicht durch Abgase kontaminiert. Hierdurch sind auch die gewonnenen volatilen Inhaltsstoffe von hoher Reinheit und somit hochwertig nutzbar. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der kontinuierlichen Prozessführung. Das zentrale Ziel des SteamBio-Konzeptes ist es, eine wirtschaftlich nutzbare Plattform zu schaffen. Die flexible Ausführung des Prozesses durch einen modularen Aufbau wird sowohl den saisonabhängigen mobilen Einsatz mit kleineren Durchsätzen als auch den Einsatz an festen Standorten mit großen Durchsatzmengen erlauben.

#### Einjahresstudie mit transportablem Demonstrator

Die Nutzung der SteamBio-Technologie in einem neuen Markt benötigt auch die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, um die gesamte Wertschöpfungskette aufzubauen. Im Rahmen des Projektes wird ein transportabler Demonstrator mit einem Durchsatz von 500 kg lignocellulosehaltiger Biomasse pro Stunde gebaut und an fünf ländlichen Einsatzorten betrieben und optimiert. Insgesamt werden dabei sechs verschiedene land- und forstwirtschaftliche Reststoffe (z. B. Nadelholz, Eiche, Stroh etc.) torrefiziert.

Sowohl die festen als auch die abgeschiedenen flüchtigen Bestandteile der torrefizierten Biomasse können in der chemischen Industrie und für Bioenergieanwendungen als grüne Basiskomponenten eingesetzt werden. Um jahreszeitlich bedingte Schwankungen des Ausgangsmaterials berücksichtigen zu können, wird sich die Demonstration über ein gesamtes Jahr erstrecken.

- 1 *Lignocellulosehaltige Biomasse – Ausgangsstoff für die Torrefizierung.*
- 2 *Große Entfernungen zwischen Hauptwaldanbaugebieten und Chemiestandorten in Europa.*
- 3 *Anlage zur Torrefizierung mit überhitztem Wasserdampf.*
- 4 *Fenster zur Prozesskammer mit Temperaturmessung.*

#### Kontakt



**Sukhanes Laoeamthong M. Sc.**

Telefon +49 711 970-3538  
sukhanes.laoeamthong@igb.fraunhofer.de



**Dipl.-Ing. Siegfried Egner**

Telefon +49 711 970-3643  
siegfried.egner@igb.fraunhofer.de

#### Literatur

- [1] Consumers identify with environmental issues: Environmental leader (1<sup>st</sup> September 2009)
- [2] <http://www.cosmeticsdesign-europe.com/Market-Trends/Consumer-demand-for-sustainability-leads-to-green-focus-for-chemical-industry> (abgerufen am 22.12.2015)
- [3] FP5 Project report VIEWLS
- [4] Biomass potential and potential development: M. Pisarek 1<sup>st</sup> European Summer School on Renewable Motor Fuels (31<sup>st</sup> August 2005)

#### Förderung

Wir danken der Europäischen Union für die Förderung des Forschungsprojekts »SteamBio« im 8. Rahmenprogramm für Forschung und Innovation Horizon 2020 der Europäischen Union, Förderkennzeichen Nr. 636865.

#### Weitere Informationen und Projektpartner

[www.steambio.eu](http://www.steambio.eu)





1



2

## SPEICHERUNG REGENERATIVER ENERGIE IN CHEMISCHEN ENERGIETRÄGERN

Fabian Steffler, Lenard-Istvan Csepei, Tobias Gärtner, Volker Sieber

### Herausforderung regenerative Energien

Die Energieversorgung in Deutschland steht vor der großen Herausforderung, in den Bereichen Strom, Wärme, Mobilität und Industriegrundstoffe langfristig auf regenerative Energieträger umgebaut zu werden. Dieser Systemwechsel erfordert zum einen den Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energieträger, zum anderen den beschleunigten Ausbau der Stromnetze und den Aufbau eines leistungsfähigen Energiespeicherverbunds, um insbesondere Fluktuationen bei den Energiequellen Sonne und Wind auszugleichen. Hierbei kommt vor allem der Verknüpfung von Energiewirtschaft und Produktionsprozessen eine zentrale Bedeutung zu.

Die Extrema, die sich durch den Ausbau der fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeugungsquellen ergeben, und die bei Wegfall weiterer konventioneller flexibler Kraftwerkskapazitäten zur Destabilisierung der Versorgungssicherheit führen können, zeichnen sich bereits heute ab. Laut Agorameter der Initiative »Agora Energiewende« erreichte am 11. Mai 2014 die regenerative Stromerzeugung in Deutschland zeitweise einen Spitzenanteil von 75 Prozent gemessen am Stromverbrauch. Dem entgegen steht ein Minimum von nur 12 Prozent am 11. Februar 2015 [1]. Diese Extrema werden zunehmende Herausforderungen mit sich bringen, da sie die Stabilität eines zukünftig auf Dezentralität der Stromerzeugung ausgelegten Stromnetzes beeinträchtigen.

### Chemische Energiespeicher

Chemische Speicher haben das Potenzial, die Bereiche Strom, Wärme, Chemie und Mobilität sinnvoll zu koppeln. In allen Technologiebereichen wird die Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte und Innovationen mit dem Ziel gefördert, die

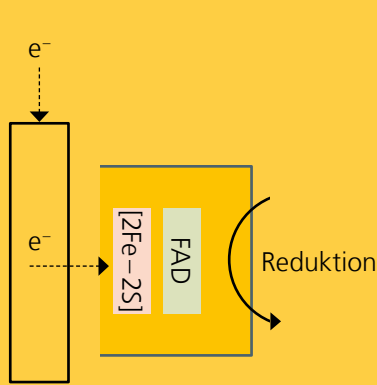
Speichereffizienz zu erhöhen, die Kosten zu reduzieren und für jedes Einsatzgebiet angepasste Speicher zur Verfügung zu stellen. Neben bereits verfügbaren prinzipiellen Lösungsansätzen wie z. B. Power-to-Gas [2] beschäftigt sich das Fraunhofer IGB im Rahmen des 2012 eingerichteten Centrums für Energiespeicherung mit der systematischen Entwicklung notwendiger Speichertechnologien. Hierzu entwickeln wir anwendungstechnische Umsetzungen in den Bereichen biotechnologische Verfahren, chemische Verfahren und (bio-)elektrokatalytische Verfahren, um regenerative Energie in chemischen Energieträgern zu speichern.

### Fermentative Prozesse

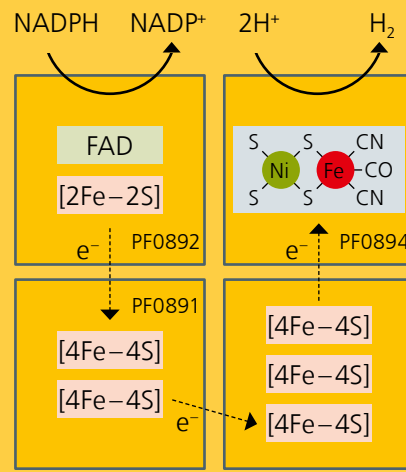
Im Rahmen der biotechnologischen Verfahren wurden fermentative Syntheserouten untersucht, die die Nutzung von C1-Verbindungen wie CO<sub>2</sub>, Methan oder Methanol mit Mikroorganismen ermöglichen. Dabei haben wir in einem breit angelegten Stammscreening geeignete Mikroorganismen ausgewählt, die in der Lage sind, diese C1-Verbindungen aufzunehmen und innerhalb ihres natürlichen Metabolismus zu verwerten. Im weiteren Schritt wurden die Anzucht und Produktbildung von chemischen Energiespeichern z. B. verzweigte langkettige Terpene, durch die Mikroorganismen etabliert und mit der Optimierung der Mikroorganismen hinsichtlich Substrataufnahme und Produktbildung begonnen.

### Chemische Prozesse

Die Aktivitäten im Bereich chemischer Verfahren konzentrieren sich u. a. auf die Themenfelder Katalysatorentwicklung für die Methanolsynthese und Entwicklung neuer Herstellungsverfahren. Für die Methanolherstellung wurden verschiedene dotierte Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Katalysatoren hergestellt,



3



4



die anschließend in der Methanolsynthese aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  in der Gasphasenreaktion sehr gute Umsätze zeigten. Neben bereits bekannten Katalysatoren konnten wir zur Nutzung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff auch eine völlig neue Entwicklung erarbeiten. Hierbei handelt es sich um metallhaltige Katalysatoren, wobei das Trägermaterial durch Pyrolyse eines tiefeutektischen Gemisches aus Harnstoff und Glukose hergestellt wurde.

### Enzyme für Elektrodenreaktionen

In den Arbeiten zur Bioelektrokatalyse wurden verschiedene Enzyme für Elektrodenreaktionen ausgewählt und molekularbiologische Methoden für die Synthese dieser potenziellen Katalysatoren erarbeitet. Im weiteren Verlauf der Arbeiten haben wir die Enzyme rekombinant produziert und deren Aufarbeitung optimiert. Es wurden unterschiedliche Methoden zur Aktivitätsbestimmung von Bioelektrokatalysatoren entwickelt, womit erste biochemische Reaktionen mit  $\text{CO}_2$  nachgewiesen werden konnten.

### Ausblick

Die im Centrum für Energiespeicherung erarbeiteten und noch zu entwickelnden Konversionen auf Basis von  $\text{CO}_2$  und regenerativer Energie bilden eine nachhaltige Verknüpfung von Energie- und Chemiebranche und gewinnen mit dem Abschluss des Pariser Klimavertrages weiter an Bedeutung. Somit kann das Fraunhofer IGB mit dem Institutsteil Straubing BioCat einen wichtigen Beitrag zum Gelingen der Energiewende liefern.

### Kontakt



**Dr. rer. nat. Tobias Gärtner**  
 Telefon +49 9421 187-352  
 tobias.gaertner@igb.fraunhofer.de



**Prof. Dr. rer. nat. Volker Sieber**  
 Telefon +49 9421 187-366  
 volker.sieber@igb.fraunhofer.de

### Literatur

- [1] <http://www.agora-energiewende.de/de/> (abgerufen im Dezember 2015)
- [2] <http://www.powertogas.info/> (abgerufen im Dezember 2015)

### Förderung

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie für die Förderung des Projekts »Centrum für Energiespeicherung«.

### Projektpartner

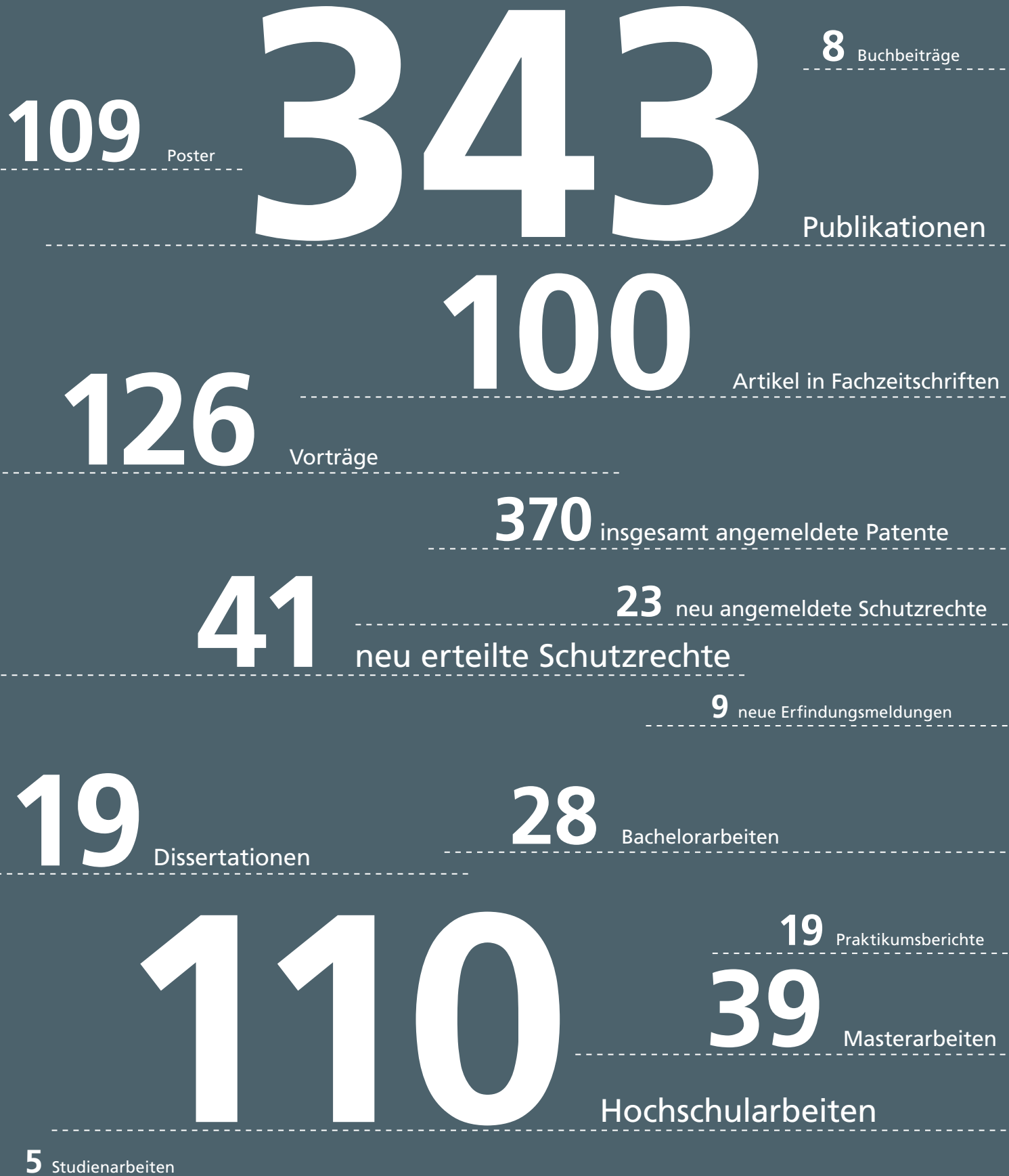
Fraunhofer UMSICHT, Institutsteil Sulzbach-Rosenberg

### Weitere Informationen

[www.centrum-energiespeicherung.de](http://www.centrum-energiespeicherung.de)

- 1 Herstellung von Biokatalysatoren.
- 2 Batch-Reaktoren für die  $\text{CO}_2$ -Konversion.
- 3 Schematische Darstellung einer elektro-biokatalytischen Reaktion.
- 4 Zielprodukte sind etwa synthetische Kraftstoffe.

WEITERE DATEN UND FAKTEN 2015



**47** Vorlesungen

**112** Lehrtätigkeiten

**1** Exkursion

**30** Praktika, Übungen, Projektstudien

**34** Seminare

**25** Presseinformationen und Nachrichten

**1384** Follower auf LinkedIn

**507**

**1120** Follower auf Twitter

Erwähnungen in Presse, Medien, TV und Hörfunk

**78**

**31** Messen und Veranstaltungen

**150** Aktivitäten in Fachausschüssen und Gremien

Strategische Kooperationen



Detaillierte Informationen  
[www.igb.fraunhofer.de/daten2015](http://www.igb.fraunhofer.de/daten2015)



# INFORMATIONSSERVICE

## Wünschen Sie weitere Informationen? Wir informieren Sie gern!

Bitte markieren Sie auf diesem Blatt die entsprechenden Felder und senden Sie es uns per Fax, Post oder E-Mail.

### Periodika

- Jahresbericht
- Online-Newsletter

### Absender / in

\_\_\_\_\_  
Name, Vorname, Titel

### Themenbroschüren und Produktblätter

- Medizin
- Pharmazie
- Chemie
- Umwelt
- Energie

\_\_\_\_\_  
Firma/Abteilung

\_\_\_\_\_  
Straße

\_\_\_\_\_  
PLZ, Ort

\_\_\_\_\_  
Telefon

\_\_\_\_\_  
Fax

\_\_\_\_\_  
E-Mail

**Fraunhofer-Institut  
für Grenzflächen- und  
Bioverfahrenstechnik IGB**  
Presse und Öffentlichkeitsarbeit  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-4150  
Fax +49 711 970-4200  
info@igb.fraunhofer.de  
www.igb.fraunhofer.de

.....  
**Online finden Sie unseren  
Bestellservice und  
Downloadbereich unter:**  
*www.igb.fraunhofer.de/  
publikationen*  
.....



# IMPRESSUM

## REDAKTION UND LEKTORAT

Jan Müller M. A.,  
Dipl.-Des. Thaya Schroeder (Bild),  
Dr. Claudia Vorbeck  
und die jeweils als Ansprechpartner oder  
Autoren genannten Wissenschaftler.

## GESTALTUNG UND PRODUKTION

Dipl.-Des. Thaya Schroeder

## DRUCK

Fraunhofer Verlag, Mediendienstleistungen,  
Stuttgart

## ANSCHRIFT DER REDAKTION

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-  
und Bioverfahrenstechnik IGB  
Dr. Claudia Vorbeck  
Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart

## BILDQUELLEN

Altmann, Jürgen: Seite 7  
Ausserhofer; David: Seite 31  
Fogel, Walter: Cover, Seiten 5, 38, 39, 47, 54, 55,  
60, 69  
Fraunhofer UMSICHT: Seite 121  
Fotolia: Seite 99  
Krötz, Rafael: Seiten 12, 42, 58, 89  
Loskill, Peter und Mathur, Anurag: Seite 25  
MEV: Seite 129  
Michalke, Norbert: Seiten 48, 49, 95  
Müller, Bernd: Seiten 74, 110, 122  
oe-werbung: Seite 49  
Scheible, Wolfram: Seite 124  
Shutterstock: Seiten 26, 50, 51, 66, 67, 93, 118,  
119, 121, 126

Alle anderen Abbildungen  
© Fraunhofer IGB/Fraunhofer-Gesellschaft

Soweit in diesem Bericht geschlechtsspezifische  
Formulierungen verwendet werden, gelten diese  
gleichermaßen für Frauen und Männer.

BioVaSc-TERM®, BoneVaSc-TERM®, GutVaSc-TERM®,  
LunVaSc-TERM®, OncoVaSc-TERM®, SkinVaSc-TERM®,  
TraVaSc-TERM®, ePhos®, NANOCYTES®, Morgenstadt®  
und POLO® sind eingetragene Marken der Fraunhofer-  
Gesellschaft zur Förderung der angewandten  
Forschung e. V. in Deutschland.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion  
erforderlich.

© Fraunhofer IGB, Stuttgart 2016

Dieser Jahresbericht wurde klimaneutral mit mineral-  
ölfreien Farben gedruckt. Das verwendete Papier ist  
aus 100 % Altpapier und FSC-zertifiziert sowie mit  
dem EU Ecolabel AT/11/002 und dem Blauen Engel  
ausgezeichnet.

Fraunhofer-Institut  
für Grenzflächen- und  
Bioverfahrenstechnik IGB  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-4401  
Fax +49 711 970-4200  
info@igb.fraunhofer.de  
www.igb.fraunhofer.de

Bleiben Sie mit uns in Verbindung:

