



# Wir verbinden Biologie und Technik

---

Jahresbericht 2021/22

## Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft.

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit wertorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Bereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Hochmotivierte Mitarbeitende auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern 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.

Stand der Zahlen: Januar 2022

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

# Wir verbinden Biologie und Technik

---

**Jahresbericht 2021/22**

# Inhalt

---

<b>Die Fraunhofer-Gesellschaft</b> .....	<b>2</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>6</b>
<b>Profil</b> .....	<b>8</b>
Kuratorium des Fraunhofer IGB .....	9
Das Institut in Zahlen .....	10
Haushalt .....	10
Personal .....	11
Organisation .....	12
Chancengleichheit am Fraunhofer IGB .....	14
<b>Highlights 2021</b> .....	<b>16</b>
Projekte .....	17
Dialog mit der Gesellschaft .....	19
Nachgefragt: Chemische Analytik .....	22
Erfolgreicher Forschungstransfer: IGB-Spin-off Variolytics .....	24
Das IGB – Ein starker Akteur in der Fraunhofer-Gesellschaft .....	26
<b>Ausgewählte Forschungsergebnisse: Gesundheit</b> .....	<b>28</b>
Smart Health Engineering und Enabling Technologies für die Präzisionsmedizin .....	28
CoV-2-KomET – Hochdurchsatz-Diagnostik von respiratorischen Erkrankungen wie SARS-CoV-2 .....	32
Untersuchung inhalationstoxikologischer Effekte von Mundschutzmasken .....	33
Aerosolgetragene Viren – Produktion, Capturing und Analyse .....	34
3D-In-vitro-Modell zur Validierung von Immunrezeptoren als Targets für die Behandlung von Psoriasis .....	35
Programmierung biointelligenter Viren für den therapeutischen Einsatz .....	36
Bakteriophagen – Viren mit Zukunftspotenzial .....	37
SOP Bioprinting .....	38
Campus UV-C: Optimierung und Prüfung von UV-C-Technologien zur Desinfektion für KMU .....	39

<b>Ausgewählte Forschungsergebnisse: Nachhaltige Chemie</b> .....	<b>40</b>
Entwicklung, Skalierung und Optimierung von Verfahren zur Herstellung nachhaltiger Chemikalien, Kraftstoffe und Materialien aus biogenen Roh-/Reststoffen oder CO <sub>2</sub> .....	40
Selbstklebende Folien für das umweltfreundliche Anti-Icing von Flugzeugen .....	44
Bioorganische Chemie – Das Beste aus Bio- und Chemokatalyse .....	45
Neuartige elektrobiokatalytische CO <sub>2</sub> -Reduktion zur Synthese von Feinchemikalien .....	46
Polymere aus biobasierten Furanoaten als Ersatz für PET .....	48
Flexibler Aufschluss von Lignocellulose .....	49
»Transnational Access« hilft KMU in der industriellen Biotechnologie .....	50
Multifunktionales Beschichtungssystem auf der Basis pflanzenölbasierter kationischer Tenside .....	51
Innovationsallianz Funktionsoptimierte Biotenside Phase 2 .....	52
Pilotierung biotechnologischer Produktionsprozesse für die Industrie .....	53
Erfolgreicher Projektabschluss: CO <sub>2</sub> -basierte Elektrosynthese von Ethylenoxid .....	54
Geld verdienen mit Kohlenstoffdioxid? .....	55
Biotechnologische Produktion von organischen Säuren aus Methanol – Update .....	56
Gewinnung von Plattformchemikalien aus Kondensaten der Torrefizierung von Biomasse mittels überhitztem Wasserdampf .....	57
AlgaeTex – Entwicklung von biobasierten Polymergarnen aus Mikroalgen .....	58
Chrysolaminarin, lösliches β-Glucan aus Mikroalgen .....	59
<b>Ausgewählte Forschungsergebnisse: Umwelt</b> .....	<b>60</b>
Nachhaltiges Ressourcenmanagement für Industrie, Kommunen und Landwirtschaft .....	60
Befeuchtermembranen für das Wassermanagement in Brennstoffzellen .....	64
Beschichtung additiv gefertigter bionischer Filter für die Luft- und Wasserreinigung .....	65
Bedarfsorientierte Biogaserzeugung als Beitrag zur Energiewende .....	66
Großtechnische Umsetzung der Wasserwiederverwendung im hydroponischen System .....	67
Morgenstadt Global Smart Cities: Anpassung an den Klimawandel .....	68
Wasserreinigung: Abbau von Spurenstoffen und hartem CSB .....	70
Die Kläranlage als Bioraffinerie? .....	71
Wasser 4.0 – Die Digitalisierung der Wasserwirtschaft .....	72
<b>Publikationen</b> .....	<b>74</b>
Dissertationen .....	75
Literatur .....	76
<b>Impressum</b> .....	<b>78</b>
<b>Information</b> .....	<b>79</b>

# Vorwort

---

## Sehr geehrte Damen und Herren,

die Corona-Pandemie mit ihren Auswirkungen hat uns alle ein weiteres Jahr in Atem gehalten. Es mussten völlig neue Lösungen für die mit der Pandemie einhergehenden Herausforderungen gefunden werden. Dabei hat sich die beeindruckende Leistungsfähigkeit der Kombination biotechnologischer Forschung mit verfahrenstechnischen Kompetenzen erneut als Schlüsselfaktor herausgestellt.

Basierend auf unserer Expertise haben auch wir am Fraunhofer IGB Werkzeuge entwickelt, welche die neuen Problemstellungen adressieren. Ein Beispiel ist die »Healthy Air Initiative« des Landes Baden-Württemberg, in welcher neue Methoden zum Nachweis von Viren in Aerosolen etabliert wurden. Lesen Sie mehr dazu in unseren Highlights (Seite 16) und im Bericht »Aerosolgetragene Viren – Produktion, Capturing und Analyse« (Seite 34).

Weiterhin haben wir intensiv daran geforscht, wie wir PCR-Testkapazitäten in ausreichender Menge bereitstellen können. Ein Verfahren zum Nachweis von SARS-CoV-2 mit der am IGB etablierten Hochdurchsatzsequenzierung könnte sich hier als erfolgversprechend erweisen: Es vereint die Proben mehrerer tausend Personen in einem diagnostischen Ansatz. Anhand eines neuartigen »molekularen Barcodes« können die Sequenzierungsergebnisse dabei direkt den individuellen Proben des Pools zugewiesen werden. Ein nahezu unglaublicher Gewinn an Zeit und Effektivität!

Die Pandemie ist jedoch nicht die einzige Aufgabe, welcher wir uns als Gesellschaft stellen müssen: Der Klimawandel verlangt ebenfalls nach neuen technologischen Fortschritten. In zahlreichen Projekten – z. B. CO<sub>2</sub>EXIDE (Seite 54) – untersuchen wir daher, wie sich CO<sub>2</sub> als Rohstoff für neue Konversionsprozesse und zur Erzeugung nachhaltiger Produkte nutzen lässt. Einer dieser innovativen Ansätze, entwickelt im Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprogramm, bildet unsere Vision, Biologie und Technik zu verbinden, in besonders eindrucksvoller Weise ab: Hier ist es dem Projektteam in Straubing gemeinsam mit seinen Partnern erstmals gelungen, CO<sub>2</sub> mittels einer elektrobiokatalytischen Reduktion in einem redoxaktiven Hydrogel zu fixieren (Seite 46).

Ein herausragendes Ereignis im vergangenen Jahr war die Inbetriebnahme des »Hydrogen Lab Leuna«, welches wir gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS (heute Sitz am Fraunhofer IWES) aufgebaut haben (Seite 17). Das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP, unser Institutsteil in Leuna, erhält hier nun erstmals die Möglichkeit, die Herstellung von chemischen Bausteinen aus grünem Wasserstoff unter den realen Bedingungen einer fluktuierenden Energieerzeugung in einem Chemiepark zu erproben.

Das neue Fraunhofer-Leitprojekt SUBI<sup>2</sup>MA ist ein hervorragendes Beispiel für die produktive Kooperation zwischen den Instituten des Fraunhofer Strategischen Forschungsfeldes (FSF) Bioökonomie. Unter Leitung des Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP wird unser Institutsteil BioCat in Straubing die aus Terpenen gewonnenen und von uns patentierten »Caramide« zur Verfügung stellen und damit entscheidend zur Transformation der Kunststoffindustrie beitragen.



Auch wirtschaftlich können wir wieder auf ein erfolgreiches Jahr zurückblicken. Das IGB hat es geschafft, die positive Entwicklung des Instituts sogar unter den ungünstigen Rahmenbedingungen fortzusetzen und freut sich über eine weitere Zunahme öffentlich geförderter Projektaktivitäten und die damit einhergehenden Neueinstellungen hochqualifizierter Mitarbeitender. Dabei ist besonders der hohe Anteil weiblicher Mitarbeitender von 51 Prozent hervorzuheben. Erwähnt seien in diesem Zusammenhang gleichfalls die vielfältigen, erfolgreich umgesetzten Maßnahmen des IGB zur Förderung und Gleichstellung unserer Kolleginnen und Kollegen (Seite 14).

Ich danke allen Mitarbeitenden des Instituts an den Standorten in Stuttgart, Straubing und Leuna sehr herzlich für ihren außerordentlichen Einsatz, insbesondere in Anbetracht der auch im vergangenen Jahr wieder erschwerten Bedingungen.

Ebenso danken möchte ich allen Kunden und Partnern, die in einem engen Vertrauensverhältnis mit uns zusammengearbeitet und sich nicht gescheut haben, neue Wege zu beschreiten und letztendlich gemeinsam und erfolgreich ans Ziel zu gelangen.

Ich freue mich auf weitere spannende Kooperationen und Innovationen und hoffe, dass der vorliegende Jahresbericht seinen Teil dazu beitragen wird.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to read 'M. Wolperdinger'.

Markus Wolperdinger  
Institutsleiter

# Profil

---

## Wir verbinden Biologie und Technik

Der Klimawandel und der verschwenderische Umgang mit globalen Ressourcen bedrohen unsere Lebensgrundlagen, gleichzeitig wächst die Weltbevölkerung weiter rasant. In den Industrieländern bestimmen eine alternde Gesellschaft und Zivilisationskrankheiten das Geschehen, während weltweit Infektionserkrankungen wieder auf dem Vormarsch sind – wie die Corona-Pandemie ganz aktuell gezeigt hat.

### **Mission: Nachhaltige Technologien für einen gesunden Menschen in einer gesunden Umwelt**

Das Fraunhofer IGB entwickelt und optimiert Verfahren, Technologien und Produkte in den Geschäftsfeldern Gesundheit, nachhaltige Chemie und Umwelt. Dabei setzen wir auf eine einzigartige Kombination biologischer und verfahrenstechnischer Kompetenzen, um mit ressourceneffizienten und kreislauforientierten Prozessen, dem Systemansatz der Bioökonomie und bioinspirierten sowie biointelligenten Ansätzen zum Wohlergehen des Menschen, einer nachhaltigen Wirtschaft und einer intakten Umwelt beizutragen.

### **Vision: Wir verbinden Biologie und Technik**

Innovative Verfahren und Produkte erfordern mehr denn je das konstruktive Zusammenspiel verschiedener Disziplinen in Systemansätzen. Durch die Verbindung von Biologie und Technik – in der Bioverfahrenstechnik, aber auch durch genetisches Engineering von Viren und Bakterien, die Kombination von Zellkultur und Grenzflächentechnik oder von DNA-Sequenzierung mit bioinformatischen Algorithmen, ebenso wie durch die Interaktion von biologischem System und technischem Material – eröffnen wir neue Ansätze und zukunftsweisende Lösungen für die industrielle Wertschöpfung.

### **Vom Labor- bis zum Pilotmaßstab – Partner für Industrie und öffentliche Hand**

Unser Ziel ist es, Forschungsergebnisse in wirtschaftlich attraktive und gleichzeitig nachhaltige Verfahren und Produkte für die industrielle Praxis umzusetzen. Unseren Kunden bieten wir Forschung und Entwicklung (FuE) entlang der gesamten stofflichen Wertschöpfungskette, ergänzt durch ein breites Spektrum an Analyse- und Prüfleistungen. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab und die Demonstration der entwickelten Verfahren gehören dabei zu den Stärken des Instituts.

Damit sind wir ein kompetenter Partner für industrielle Unternehmen, mittelständische oder kleine Firmen unterschiedlicher Branchen, für Kommunen und Zweckverbände sowie für die Vertragsforschung von EU, Bund und Ländern.

► [www.igb.fraunhofer.de/biologie-und-technik](http://www.igb.fraunhofer.de/biologie-und-technik)

# 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

**MinR Dr.**

**Hans-Jürgen Froese**

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

**Prof. Dr. Elke Guenther**

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

**MinR'in Dr.**

**Caroline Liepert**

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg

**Dr. Lorenz Mayr**

**(Vorsitzender)**

Vector BioPharma AG

**MinR'in Andrea Noske**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

**Dr. Dr. h. c.**

**Christian Patermann**

Direktor a.D. EU-Kommission, MinDirig. a. D.

**Dr. Elisabeth**

**Saken-Braunstein**

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

**Prof. Dr.**

**Günter Scheffknecht**

Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik, Universität Stuttgart

**Dr. Joachim Schulze**

JS BioConsulting GmbH

**Prof. Dr.-Ing. Ralf Takors**

Institut für Bioverfahrenstechnik, Universität Stuttgart

**Prof. Dr.-Ing.**

**Wiltrud Treffenfeldt**

LifeScience, BioTechnology, BioEconomy

**Dr. Günter Wich**

Wacker Chemie AG

**Dr. Peter Wolfangel**

Robert Bosch GmbH

## Gäste

**Prof. Dr. Herwig Brunner**

Ehemaliger Institutsleiter

**Dr. Christian Renz**

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg

# Das Institut in Zahlen

## Haushalt

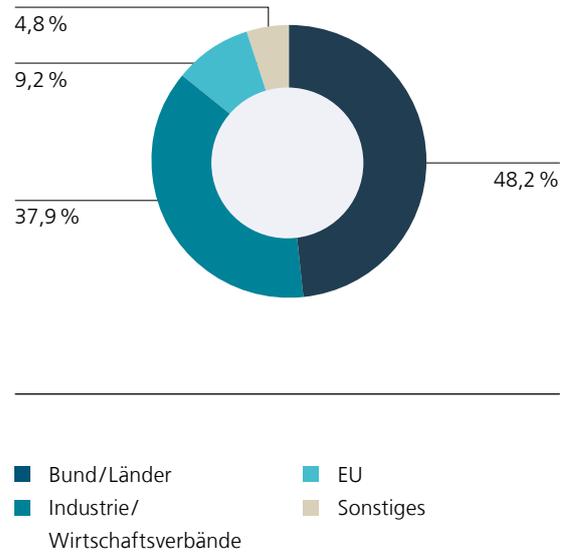
Der Gesamthaushalt umfasste im Berichtsjahr ein Volumen von 28,4 Millionen €. Auf den Betriebshaushalt entfielen 26,9 Millionen €, davon 16,1 Millionen € auf den Personalaufwand und 10,8 Millionen € auf den Sachaufwand. Investitionen wurden in Höhe von 1,5 Millionen € getätigt.

71,2 Prozent des Betriebshaushaltes waren eigene Erträge. 37,9 Prozent der Eigenerträge stammen aus Projekten, die unmittelbar für industrielle Auftraggeber abgewickelt wurden.

Entwicklung des Gesamthaushalts in Mio €



Herkunft der eigenen Erträge 2021



## Personal

Am 31. Dezember 2021 waren am Fraunhofer IGB in Stuttgart und seinen Institutsteilen in Straubing und Leuna 329 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig, davon 81 Prozent im wissenschaftlichen und technischen Bereich. Der Frauenanteil betrug 51 Prozent.

Am Institut und seinen Institutsteilen wird seit vielen Jahren kulturelle Vielfalt gelebt: So kommen 29 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus 18 verschiedenen Ländern außerhalb Deutschlands.

Die enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP der Universität Stuttgart, das teilweise auch in den Räumen des Fraunhofer IGB untergebracht ist, ermöglicht eine Durchgängigkeit der Projekte von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung. 53 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Doktorandinnen und Doktoranden, zudem technisches Personal und studentische Hilfskräfte, zählte das IGVP zum 31. Dezember 2021. Der Frauenanteil am IGVP betrug 28 Prozent.

**Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter**  
(Anzahl Personen am Jahresende)



### Zahl der Mitarbeitenden zum 31.12.2021

	Fraunhofer IGB, gesamt	davon BioCat, Straubing	davon Fraunhofer CBP, Leuna
<b>Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler</b>	83	14	13
<b>Technisches Personal</b>	95	20	27
<b>Doktorandinnen und Doktoranden</b>	8	3	1
<b>Stipendiatinnen und Stipendiaten</b>	2	0	0
<b>Verwaltung / Sekretariate</b>	49	4	6
<b>Auszubildende</b>	13	1	1
<b>Studierende mit Abschlussarbeiten (Master, Bachelor), Praktikanten</b>	34	1	1
<b>Studentische / wissenschaftliche Hilfskräfte</b>	45	9	3
<b>Summe</b>	<b>329</b>	<b>52</b>	<b>52</b>

# Organisation

## Institutsleitung

### Verwaltungsleitung (kommissarisch)



Dr. Markus Wolperdinger  
Tel. +49 711 970-4410  
markus.wolperdinger@  
igb.fraunhofer.de

### Stellvertretende Institutsleitung



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

## Innovationsfeldleitung

### Bioinspirierte Chemie



Dr. Michael Richter  
Tel. +49 9421 9380-1020  
michael.richter@  
igb.fraunhofer.de

### Nachhaltige katalytische Prozesse



Dr. Arne Roth  
Tel. +49 9421 9380-1030  
arne.roth@igb.fraunhofer.de

### Funktionale Oberflächen und Materialien



Dr. Michaela Müller  
Tel. +49 711 970-4140  
michaela.mueller@  
igb.fraunhofer.de

### Regenerative Ressourcen



Dr. Christine Rasche  
Tel. +49 3461 43-9103  
christine.rasche@  
igb.fraunhofer.de

## Leitung der Servicebereiche

### Technologie-Scale-up und -transfer



Dr.-Ing. Hubert Reinisch  
Tel. +49 711 970-4213  
hubert.reinisch@  
igb.fraunhofer.de

### Analytik – Stuttgart



Staatl. gepr. LM-Chem.  
Gabriele Beck-Schwadorf  
Tel. +49 711 970-4035  
gabriele.beck-schwadorf@  
igb.fraunhofer.de

### Industrielle Biotechnologie



Dr. Grzegorz Kubik  
Tel. +49 711 970-4102  
grzegorz.kubik@  
igb.fraunhofer.de

### Virus-basierte Technologien



apl. Prof. Dr. Susanne Bailer  
Tel. +49 711 970-4180  
susanne.bailer@  
igb.fraunhofer.de

### Analytik – Leuna



Anett Schlichter B. Sc.  
Tel. +49 3461 43-9108  
anett.schlichter@  
igb.fraunhofer.de

### In-vitro-Diagnostik



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

### Wassertechnologien und Wertstoffrückgewinnung



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

### Arbeitsicherheit



Kai Pusch M. Sc.  
Tel. +49 711 970-4175  
kai.pusch@igb.fraunhofer.de

### Membranen



Dr. Thomas Schiestel  
Tel. +49 711 970-4164  
thomas.schiestel@  
igb.fraunhofer.de

### Zell- und Gewebetechnologien



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

## Geschäftsfeldkoordinatoren

### Gesundheit



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

### Nachhaltige Chemie



Dr. Gerd Unkelbach  
Tel. +49 3461 43-9101  
gerd.unkelbach@  
igb.fraunhofer.de

### Umwelt



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

## Standortleitung

### Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP, Institutsteil Leuna



Dr. Gerd Unkelbach  
Tel. +49 3461 43-9101  
gerd.unkelbach@  
igb.fraunhofer.de

### Bio-, Elektro- und Chemokatalyse BioCat, Institutsteil Straubing



Dr. Michael Hofer  
Tel. +49 9421 9380-1010  
michael.hofer@  
igb.fraunhofer.de

## Universitäts- und Politikbeziehungen

### Baden-Württemberg

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

### Universität Stuttgart

apl. Prof. Günter Tovar  
Tel. +49 711 970-4109  
guenter.tovar@igb.fraunhofer.de

### Bayern

Prof. Dr. Volker Sieber  
Tel. +49 9421 9380-1050  
volker.sieber@igb.fraunhofer.de

### Sachsen-Anhalt

Dr. Gerd Unkelbach  
Tel. +49 3461 43-9101  
gerd.unkelbach@igb.fraunhofer.de

## Chancengleichheit am Fraunhofer IGB

Das Fraunhofer IGB gehört zu den Instituten innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft mit dem höchsten Frauenanteil. Über 50 Prozent der Belegschaft sind Frauen. Ihr Anteil ist nicht nur in der Verwaltung, sondern auch im wissenschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Bereich hoch.

Am Fraunhofer IGB und CBP legen wir bei der Gestaltung unseres Arbeitsalltags besonderen Wert auf Chancengleichheit und zeigen dies zum Beispiel auch im Rahmen neuer Formate für Mitarbeitende.

Wir  
verknüpfen  
Karriere-  
Stationen  
zu neuen  
Wegenetzen

### Format Women@Work macht Frauen und ihre Arbeit sichtbar

In der neuen Porträtreihe Women@Work stellen sich erstmals Kolleginnen aus allen Arbeitsbereichen wie Wissenschaft, wissenschaftlich-technischem Bereich, Verwaltung sowie Stabstellen auf ganz persönliche Weise vor. Diese Darstellung fördert ihre Sichtbarkeit, ermöglicht eine direkte Kontaktaufnahme, stärkt damit die interne Vernetzung von Anfang an und schafft langfristig Role Models für zukünftige Fraunhofer-Frauen. Zudem möchten wir damit auch ein deutliches Signal für unsere Stellenbewerberinnen setzen.

Das neue Format informiert nicht nur über die spannenden Arbeitsgebiete der Mitarbeiterinnen, sondern lenkt zusätzlich die Aufmerksamkeit auf weitere Interessensgebiete und Fähigkeiten, die üblicherweise im Tagesgeschäft nicht oder nur marginal zum Vorschein kommen. Damit entsteht ein ganzheitliches Bild der Kolleginnen und zeigt deren Entwicklungspotenzial auf einer sehr persönlichen Ebene auf. Ankerpunkte für den eigenen Karriereweg können so frühzeitig identifiziert und in eine strategische Personalentwicklung einfließen.



### Gleichstellung als Unternehmensziel

Gleichzeitig unterstützen wir auf der Unternehmensebene die Ziele zur Umsetzung von Chancengleichheit in der Fraunhofer-Gesellschaft und tragen so auch im politischen Rahmen zur Entwicklung und strukturellen Verankerung von Strategien zur Erhöhung der Sichtbarkeit von Frauen bei.

Um auf der Grundlage einer Analyse des Status quo individuelle Zielsetzungen und passende Strategien für unser Institut zu entwickeln, nehmen wir regelmäßig am Begleitangebot zur institutsspezifischen Förderung von Chancengleichheit der Fraunhofer-Zentrale teil. Dabei berichten wir von eigenen Werkzeugen und Erfahrungen, profitieren aber auch von Best-Practice-Beispielen anderer Institute für unsere Arbeit.

### Konzept »Erfolgreiches Doppel«

Für die Begleitung des erfolgreich etablierten Formats Women@Work und die Entwicklung weiterer Konzepte im Bereich Chancengleichheit hat ein Team aus der Beauftragten für Chancengleichheit, einer Personalentwicklerin und einer Wissenschaftlerin das Projekt »Erfolgreiches Doppel« konzipiert. Ende 2021 hat die Fraunhofer-Gesellschaft eine Förderung des Konzepts im Rahmen des internen Programms zur Unterstützung institutsspezifischer Diversity-Maßnahmen bewilligt.

Im Fokus des Konzepts steht die Entwicklung spezifischer Ideen zur Umsetzung geteilter Führungspositionen. Hierzu wird das Gleichstellungsteam verschiedene Initiativen und frauenspezifische Workshops vorbereiten, umsetzen und verketten.

Wir greifen so die Anforderungen zukünftiger Mitarbeitenden auf und sichern uns damit im Wettbewerb um exzellente Fachkräfte eine gute Ausgangsposition für den nachhaltigen Erfolg unserer Arbeit.

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



## Maßnahmen und Angebote

- Girls' Day
- Fraunhofer Talent School
- Karriereförderung von Frauen über das Programm TALENTA
- Mit-Kind-Büro
- Women@Work
- Projekt »Erfolgreiches Doppel«

## Kontakt

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

Britta Munz  
Tel. +49 711 970-4066  
britta.munz@  
igb.fraunhofer.de

Dr. Lisa Rebers  
Tel. +49 711 970-4133  
lisa.rebers@igb.fraunhofer.de

# Highlights 2021



## Projekte

### Initiative des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg **Healthy Air Initiative – Testung von Lüftungsanlagen zum Schutz vor Covid-19**

Da das Coronavirus SARS-CoV-2 auf dem Luftweg übertragen wird, rückten im Zuge der Pandemie Lüftungs- und Luftreinigungsanlagen zum Schutz vor der Weiterverbreitung des Erregers in den Fokus der Forschung. Die zentrale Frage dabei: Wie müssen Hygiene- und Lüftungskonzepte gestaltet sein, damit die Virenübertragung durch Aerosole reduziert wird? Um dieses Problem zu untersuchen, gründete ein gemeinsames Forschungsteam der Stuttgarter Fraunhofer-Institute IBP, IGB und IPA ein neues Beratungszentrum für gesunde Raumluft, das vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg gefördert wurde. Das IGB etablierte im Rahmen der »Healthy Air Initiative« die Methodik zur Analyse der luftgetragenen Viren hinsichtlich Aktivität und Menge, um Rückschlüsse auf notwendige Anpassungen der Lüftungsanlagen oder Inaktivierungsschritte ziehen zu können.

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



### Fraunhofer-Leitprojekt **FutureProteins – Agrarsysteme für eine resiliente und nachhaltige Produktion von hochwertigen Lebensmittelproteinen**

Die Nachfrage nach hochwertigen Proteinen für die globale Lebensmittelversorgung ist enorm. Die Gefahr, dass diese nicht mehr gedeckt werden kann und es zu Engpässen kommt, ist akut und wird durch die Folgen des Klimawandels immer dringender – etwa hervorgerufen durch extreme Wetterlagen oder zunehmende Belastungen von Böden

und Gewässern durch den Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden in der Landwirtschaft. Das Gebot der Stunde lautet somit, neuartige Proteinquellen als nachhaltige und gleichzeitig auch massentaugliche Alternativen zu tierischen Nahrungsmitteln zu erschließen. Hier setzt das Fraunhofer-Leitprojekt FutureProteins an. In dessen Rahmen entwickeln sechs Fraunhofer-Institute neue Anbausysteme und Prozesse, mit denen nährstoffreiche Proteine aus ausgewählten Pflanzen, Insekten, Pilzen und Algen gewonnen und für neue Produkte genutzt werden können.

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

### Fraunhofer bündelt Wasserstoff- kompetenzen **Produktion von grünem Wasserstoff – Hydrogen Lab Leuna nimmt Betrieb auf**

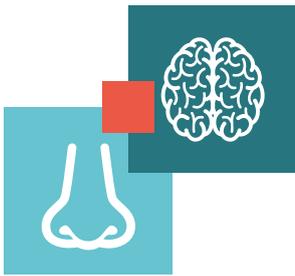
Um die Rohstoffversorgung der Industrie nachhaltig zu gestalten und gleichzeitig die Klimaziele zu erreichen, spielt grüner Wasserstoff eine Schlüsselrolle. 2021 nahm das neue Hydrogen Lab Leuna seinen Betrieb auf, die erste Pilotanlage für den Test und die Skalierung der dazu notwendigen Elektrolysesysteme, die vollständig in einem Chemiepark integriert ist. Die beteiligten Partner, darunter der in Leuna ortsansässige IGB-Institutsteil Fraunhofer CBP, wollen mithilfe des Hydrogen Lab H<sub>2</sub>-Technologien zum Durchbruch am Markt verhelfen. Als treibende Kraft hinter der Initiative möchte die Fraunhofer-Gesellschaft in dieser Forschungseinrichtung seine Wasserstoffaktivitäten im Norden und Osten Deutschlands ausbauen und weiter beschleunigen und ein weltweit einmaliges Angebot von Pilotanlagen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft schaffen.

► [www.cbp.fraunhofer.de/hydrogenlableuna](http://www.cbp.fraunhofer.de/hydrogenlableuna)



oben:  
Testumgebung der »Healthy Air Initiative« am Fraunhofer Campus Stuttgart.

unten:  
Am 21. Mai 2021 wurde das Fraunhofer Hydrogen Lab Leuna in Betrieb genommen.



EU-Projekt zur Therapie von Multipler Sklerose  
**N2B-patch – Schonende Verabreichungsform für Biopharmazeutika durch die Nase**

Wirkstoffe ohne Umleitung durch die Nase ins Gehirn – so lautet ein vielversprechender Ansatz für die Behandlung von Erkrankungen des Zentralnervensystems wie etwa Multiple Sklerose. Das Problem: Die Blut-Hirn-Schranke des menschlichen Körpers ist zwar ein hocheffektiver Schutzmechanismus des Gehirns, doch sie hält nicht nur Erreger zurück, sondern lässt auch therapeutische Moleküle nur schwer passieren. Um dieses Problem zu lösen, haben Forschende eines internationalen Konsortiums unter Koordination des Fraunhofer IGB im EU-Projekt N2B-patch in den letzten viereinhalb Jahren ein neuartiges System entwickelt, mit dessen Hilfe diese Barriere umgangen werden kann. Die im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten Ansätze wurden im Juni 2021 auf einem virtuellen internationalen Abschluss Symposium vorgestellt.

► [www.igb.fraunhofer.de/n2bpatch](http://www.igb.fraunhofer.de/n2bpatch)



Initiative zur Herstellung personalisierter Produkte  
**Leistungszentrum Mass Personalization – Zweite Förderphase erfolgreich abgeschlossen**

Individuell und doch in Masse produziert? Das muss kein Widerspruch sein. Im Leistungszentrum »Mass Personalization« entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von vier Stuttgarter Fraunhofer-Instituten zusammen mit acht Instituten der Universität Stuttgart sowie Partnern aus der Industrie neue Verfahren zur Herstellung maßgeschneiderter Produkte für den Massenmarkt. Gefördert wird das Leistungszentrum durch das Land Baden-Württemberg und von der Fraunhofer-Gesellschaft. Nach der ersten Pilotphase endete 2021 auch die zweite Förderphase des Zentrums. Die positive Bilanz: Die Zahl der Industriepartner wurde von anfangs 22 auf 69 gesteigert, der erwartete

Ertrag aus Industrieprojekten erneut deutlich übertroffen.

► [www.igb.fraunhofer.de/izmp-fp2](http://www.igb.fraunhofer.de/izmp-fp2)

EFRE-Förderprogramm »Bioökonomie Bio-Ab-Cycling«  
**EU und Baden-Württemberg fördern fünf Bioraffinerie-Vorhaben des IGB**

Mithilfe des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE fördert das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg im Rahmen der Fachinitiative »Bioökonomie – Bioraffinerien zur Gewinnung von Rohstoffen aus Abfall und Abwasser – Bio-Ab-Cycling« neue Forschungsprojekte, die Ende Oktober 2021 starteten. Das IGB ist an allen fünf geförderten Bioraffinerie-Projekten beteiligt, an drei der Projekte in Federführung. So soll in der Bioabfallraffinerie BW2Pro täglich eine Tonne Bioabfall in hochwertige Produkte und Rohstoffe verarbeitet werden. Der Aufbau einer Insektenbioraffinerie zur Herstellung von Proteinen, Fetten und Chitosan aus Abfallströmen wird im Projekt InBiRa gefördert. Im Vorhaben KoalAplan untersuchen Forschende, wie sich kommunales Abwasser als Quelle für Ammoniumstickstoff, Wasserstoff und Bioplastik verwenden lässt. Beim Projekt RoKka geht es darum, Klärschlamm als Rohstoffquelle für eine Abwasser-Bioraffinerie zu nutzen und die Klimabilanz von Kläranlagen zu verbessern. Im Projekt SmartBioH2-BW werden mittels zweier miteinander verknüpfter biotechnologischer Verfahren aus industriellen Abwasser- und Reststoffströmen Biowasserstoff und weitere Produkte erzeugt.

- [www.igb.fraunhofer.de/bw2pro](http://www.igb.fraunhofer.de/bw2pro)
- [www.igb.fraunhofer.de/inbira](http://www.igb.fraunhofer.de/inbira)
- [www.igb.fraunhofer.de/koalapan](http://www.igb.fraunhofer.de/koalapan)
- [www.igb.fraunhofer.de/rokka](http://www.igb.fraunhofer.de/rokka)
- [www.igb.fraunhofer.de/smartbioh2bw](http://www.igb.fraunhofer.de/smartbioh2bw)



# Dialog mit der Gesellschaft

## Biologische Transformation, Biointelligenz und Bioökonomie

In zahlreichen Projekten arbeiten Forschende am Fraunhofer IGB daran, Biologie und Technik miteinander zu verbinden und die Prinzipien der Natur für eine nachhaltige Wertschöpfung zu nutzen. Mit verschiedenen Dialogformaten, auch im Rahmen des Wissenschaftsjahrs Bioökonomie, trägt das IGB seine Forschung in die Gesellschaft.

Biologische Technologien bergen enormes technologisches und gesellschaftliches Transformationspotenzial. Dies kommt im Begriff der »Biologischen Transformation« zum Ausdruck und steckt zugleich den Rahmen der Fraunhofer-Forschung ab: die zunehmende Anwendung von Materialien, Strukturen und Prinzipien der belebten Natur in der Technik mit dem Ziel einer nachhaltigen Wertschöpfung.

Im Zentrum der Forschung am IGB steht die Bioökonomie, die innerhalb der biologischen Transformation als eigenständiges Feld zu verorten ist. Denn sie ist weder nur Technologie noch reines Anwendungsfeld, sondern systemischer Ansatz für eine biobasierte Wirtschaft. Anstatt auf fossile setzt die Bioökonomie auf erneuerbare Rohstoffe, auf die Nutzung von Reststoffen und von CO<sub>2</sub>. Für die Herstellung von Grundstoffen, Materialien und Produkten aus diesen biobasierten Ressourcen gilt es dann Prozesse zu entwickeln, bei denen die Biologie Hauptakteur ist – und die ohne Technik, vor allem Verfahrenstechnik, nicht denkbar sind. Kommt auch die Informationstechnik mit in dieses Zusammenspiel, erlauben die dann »biointelligenten« Lösungen noch weitergehende Möglichkeiten für eine effiziente Wertschöpfung.

### Multimediale Kommunikation in die Gesellschaft

Voraussetzung für das Gelingen der biologischen Transformation ist eine offene Diskussion über Chancen, Risiken und Herausforderungen in Gesellschaft und Politik. Um seine wichtigen Themen einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, hat sich das Fraunhofer IGB 2021 mit verschiedenen Initiativen und Aktionen engagiert. Kernstück ist der zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA ins Leben gerufene Biointelligenz-Blog – als institutsübergreifende Themenplattform ein Novum in der Fraunhofer-Gesellschaft. Dessen Inhalte werden multimedial verlängert, etwa durch begleitende Social-Media-Kampagnen und – über den Bildschirmrand hinaus – mit einer in Zusammenarbeit mit der Württembergischen Landesbibliothek gestalteten Vortragsreihe. Weiterer Baustein war ein Biointelligenz-Sonderheft von Bild der Wissenschaft, das ab Ende März 2021 am Kiosk erhältlich war.

### Biointelligenz-Blog verleiht »grauer Theorie« ein Gesicht

Der Startschuss für den Biointelligenz-Blog fiel am 30. März 2021. Seitdem kommunizieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler direkt, authentisch und kreativ auf [www.biointelligenz.de](http://www.biointelligenz.de) und machen ihre Forschung und Expertise sichtbar. Die Bloggerinnen und Blogger stellen neue Themen, Ideen und Innovationen vor und setzen damit im Sinne des »Agenda-Setting« neue Trends. Der Blog macht die Köpfe hinter den Themen sichtbar und fungiert so als Schnittstelle zwischen Forschung und potenziellen Partnern aus Industrie und Politik.

## Blog Biointelligenz

(Stand: 1. März 2022)

- 6 beteiligte Institute (IPA, IGB, UMSICHT, IBP, NMI, IPT)
- 35 Autorinnen und Autoren, davon 12 vom IGB
- 49 Blog-Posts, davon 19 vom IGB
- IGB-Beitragsreihe »Geld verdienen mit CO<sub>2</sub>«

► [www.biointelligenz.de](http://www.biointelligenz.de)



### Vortragsreihe mit der WLB

Ebenso will die gemeinsame Vortragsreihe Biointelligenz von Fraunhofer, dem Kompetenzzentrum Biointelligenz e. V. und der Württembergischen Landesbibliothek (WLB) dem gesellschaftlichen Diskurs Rechnung tragen. Ein ganzes Jahr lang geben auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des IGB interessierten Bürgerinnen und Bürgern Einblicke in die Welt biointelligenter Forschungsansätze. Soweit es die Pandemie-Lage erlaubte, fanden die Vorträge als hybrides Format statt – mit Publikum vor Ort in der Landesbibliothek und online im Livestream.

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



## Wissenschaftsjahr 2020|21 – Bioökonomie

Lösungen für die drängenden Herausforderungen unserer Zeit suchen IGB-Forschende insbesondere im Bereich der Bioökonomie. Das »Wissenschaftsjahr 2020|21 – Bioökonomie« bot dem Institut Plattformen, um seine Themen und Kompetenzen in den Fokus der Öffentlichkeit zu rücken.

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



oben:

Die meisten Vorträge der Biointelligenz-Reihe konnten hybrid stattfinden.

unten:

Den Auftakt der IGB-Beiträge in der WLB machte Institutsleiter Dr. Markus Wolperdinger am 20. Juli 2021 mit einem Vortrag zur Bioökonomie.

### Biotenside im Fokus: MS Wissenschaft

Ein Exponat des IGB zu Biotensiden war eines der interaktiven Ausstellungsstücke an Bord der MS Wissenschaft, die im Wissenschaftsjahr Bioökonomie zwei Sommer in über 50 Städten unterwegs war. Für zahlreiche Bürgerinnen und Bürger wie auch für über 3000 Schülerinnen und Schüler war der Besuch des Ausstellungsschiffs, gerade in Zeiten der Pandemie, ein besonderes Highlight. Wie Wissenschaft und Forschung zur Entwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie beitragen, stellten die Biotensid-Expertinnen Dr.-Ing. Susanne Zibek und Doktorandin Amira Oraby in begleitenden Online-Formaten dar.

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



## »Takeover« des Wissenschaftsjahr-Instagramkanals

Für zwei Tage im August 2021 bespielte das Fraunhofer IGB den Instagram-Kanal des Wissenschaftsjahres Bioökonomie mit multimedialen Storys zur Bioökonomie-Forschung des Instituts. Kurze Videos, Quizformate und animierte Statements zeigten, welche Ideen die IGB-Forscher bewegen und welche Lösungen sie zur nachhaltigen Ressourcennutzung entwickeln. Mit dem Instagram-Takeover konnte das Institut zahlreiche wissenschaftsinteressierte junge Menschen erreichen. Lisa Kern, Digital-Media-Managerin am Fraunhofer IGB, erhielt dafür den ersten Preis beim Fraunhofer-Kommunikationspreis 2021.



## Diskussion und Dialog bei NaturFutur

Zum Ausklang des Wissenschaftsjahrs waren IGB-Experten zu Gast bei Veranstaltungen im Begleitprogramm der Ausstellung »NaturFutur – Bioökonomie erleben« im Museum für Naturkunde Berlin. Dr. Grzegorz Kubik, Leiter des Innovationsfeldes Industrielle Biotechnologie, sprach am 18. November 2021 in einer Diskussionsrunde zur Präzisionsfermentation über die vielfältigen Anwendungsbereiche biotechnologischer Produktionsprozesse, z. B. für die Lebensmittelindustrie oder den Chemiesektor.

Am 3. Dezember 2021 reiste Institutsleiter Dr. Markus Wolperdinger als Vertreter des nationalen Bioökonomierats nach Berlin, um im Format »Frag den Rat« Rede und Antwort zu stehen. »Bioökonomie bietet das Potenzial für nachhaltige Lösungen, die uns helfen, Ressourcen zu schonen, gesünder zu leben und gleichzeitig Wohlstand zu schaffen«, sagte der stellvertretende Ratsvorsitzende.



*links:*

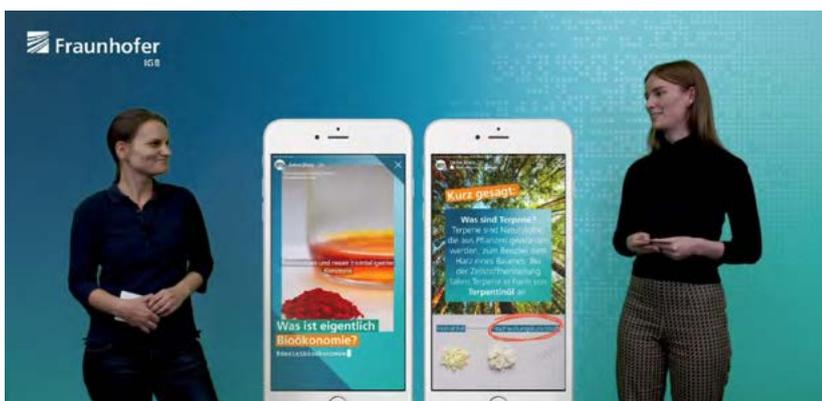
*Wie Biotenside am IGB hergestellt werden, zeigte das Institut auf der MS Wissenschaft mit einem interaktiven Exponat.*

*Mitte:*

*Die Bioökonomie-Forschung des IGB stand im Mittelpunkt des Instagram-Takeovers. Antje Hetebrüg und Lisa Kern (von links) bei der Preisverleihung des Fraunhofer-Kommunikationspreises.*

*rechts:*

*Dr. Grzegorz Kubik vom IGB war als Experte zur Präzisionsfermentation zu einer Diskussionsrunde ins Naturkundemuseum Berlin geladen.*



## Nachgefragt: Chemische Analytik

Verlässliche Analytik ist Grundlage für Forschung und Produktentwicklung. Die Arbeitsgruppe »Zentrale Analytik« am Fraunhofer IGB unterstützt eigene Forschungsprojekte ebenso wie Firmen unterschiedlichster Branchen. Worum es dabei geht, haben wir nachgefragt bei Gabriele Beck-Schwadorf, Leiterin der zentralen chemischen Analytik.

*Was macht Ihre Analytik und analytische Kompetenz für Kunden attraktiv?*

Wir sind ein Forschungslabor mit Schwerpunkt auf Methodenentwicklungen und mit speziell für den Analytikbereich ausgebildetem Personal. Dadurch können wir für jede Anfrage einen individuellen Lösungsansatz nach Absprache mit dem Kunden ausarbeiten. Wir greifen dabei auf ein sehr breites Analysen- und Methodenspektrum zurück und können so auch Spezialanalysen anbieten, z. B. anorganische Nanopartikelanalytik.

Um unseren Kunden zusätzliche Sicherheit zu bieten und um unsere Kompetenz zu unterstreichen, sind wir für ausgewählte Prüfverfahren nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiert und können auf eine langjährige Erfahrung zurückgreifen.

### Ausstattung

#### Organische Analytik

- Für verdampfbare Verbindungen:
  - Gaschromatographie (GC)
  - GC/MS mit verschiedenen Probenvorbereitungstechniken (Headspace, SPME, Pyrolyse)
- Für nichtflüchtige Verbindungen:
  - HPLC- bzw. UHPLC-Anlagen
  - UHPLC-MS
- Für ionische Verbindungen:
  - Ionenchromatographie (IC) mit Superspartentechnik (organische Säuren, Anionen)
  - Anionenaustauscherchromatographie mit gepulster amperometrischer Detektion (Mono-, Di- und Polysaccharide)

#### Anorganische Elementanalytik

- TripleQuad ICP-MS
- ICP-OES
- Verschiedene Aufschlussysteme

*Was können Sie, was andere Analytiklabors nicht können?*

Eine unserer Stärken ist die Entwicklung und Validierung von Analyseverfahren für spezielle Problemstellungen. Die Messmethoden müssen dabei auch auf die jeweilige Matrix angepasst werden. Um eine Antwort auf die spezifische Fragestellung zu erhalten, ist dabei oft eine Kombination verschiedener analytischer Verfahren notwendig.

*Welches Analytikspektrum decken Sie in der chemischen Analytik am IGB ab?*

Um unseren breitgefächerten internen wie externen Anfragen gerecht zu werden, können wir auf ein umfangreiches Analysen- und Methodenspektrum zurückgreifen. Unser Portfolio der instrumentellen Analytik deckt chromatographische und massenspektrometrische Methoden sowohl für den organischen als auch den anorganischen Bereich ab.

*Wer sind Ihre Kunden und was wird typischerweise beauftragt?*

Unser Kundenstamm erstreckt sich über sehr viele Branchen, z. B. Gesundheit, Pharma, Lebensmittel, Chemie, Bauindustrie, Wasser, Elektrotechnik. Das Analysenportfolio deckt entsprechend viele Bereiche ab. Da kommen Fragen



zur Qualitäts- und Produktionskontrolle, aber auch zu Umweltverträglichkeitsprüfungen von Baustoffen und zur Umweltanalytik, ebenso wie Analysen von Nanopartikeln oder Prozessmedien.

***Welche Herausforderungen müssen Sie immer wieder bewältigen?***

Unser Ziel ist es immer, die Kunden zufriedenzustellen und individuelle Lösungen für die jeweiligen Problem- und Fragestellungen anzubieten.

***Mit welchen Erwartungen blicken Sie in die Zukunft?***

Zunehmend werden ja Entscheidungen aufgrund von analytischen Daten getroffen, im Bereich Gesundheit, in den Unternehmen und in der Politik. Derzeit erleben wir das in der Pandemie tagtäglich, und ähnlich verhält es sich bei Umweltfragen. Analytik hat also auch in der Zukunft eine fundamentale Bedeutung.

Schließlich machen Trends wie Miniaturisierung, Automatisierung und Digitalisierung auch vor der instrumentellen Analytik nicht halt. Und neue Entwicklungen führen zu höherer Selektivität, Leistungsfähigkeit, Genauigkeit und Auflösung. Auch dies wird die Bedeutung der Analytik untermauern.

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

**Kontakt**

Staatl. gepr. LM-Chem.  
Gabriele Beck-Schwadorf  
Tel. +49 711 970-4035  
gabrielle.beck-schwadorf@  
igb.fraunhofer.de

## Erfolgreicher Forschungstransfer: IGB-Spin-off Variolytics

Technologische Innovationen in die Wirtschaft und Gesellschaft zu übertragen, ist die Mission der Fraunhofer-Gesellschaft. So profitieren große, mittlere und kleine Unternehmen von den vielfältigen Forschungsdienstleistungen, den Ergebnissen aus gemeinsam durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsprojekten oder durch die Lizenzierung von Fraunhofer-Technologien. Ein weiterer wichtiger Transferpfad, um Forschungserkenntnisse rasch und zielführend in neue Produkte und Dienstleistungen zu transferieren, sind Ausgründungen aus den Fraunhofer-Instituten.

### Fraunhofer: Keimzelle für Gründer

Das Fraunhofer IGB und sein jüngstes Spin-off Variolytics, das im März 2020 mit der Firmengründung als GmbH den Schritt in die Selbstständigkeit wagte, haben in den vergangenen Jahren gezeigt, wie Forschungstransfer durch Ausgründung gelingen kann. Die Variolytics GmbH entwickelt und vertreibt Messgeräte für die Echtzeit-Analyse von Substanzen. Die Basistechnologie für die neuartige Analyseplattform des Start-ups entwickelte Verfahreningenieur Dr. Matthias Stier, heute CEO von Variolytics, während seiner wissenschaftlichen Forschungsarbeiten am Fraunhofer IGB.

»Für die Überwachung einer enzymatischen Umwandlungsreaktion benötigten wir und unsere Projektpartner eine Messtechnik, mit der nicht nur Gase, sondern auch gelöste Stoffe in hoher Sensitivität erfasst und identifiziert werden konnten«, erinnert sich Stier. Die Technologie wurde zum Patent angemeldet;

parallel reifte die Idee, auf Basis der Technologie ein Unternehmen aufzubauen. Unterstützt durch das Institut und das gesamte Fraunhofer-Netzwerk trieb Stier die Idee mit Elan voran. 2020 gewann Variolytics den Zuschauerpreis des Hightech Awards CyberOne, im November 2021 wurde das junge Unternehmen mit dem »Sonderpreis Start-up« des Stuttgarter Innovationspreises durch Oberbürgermeister Frank Nopper ausgezeichnet.

### Unterstützung von Anfang an

»Die Expertise, um aus einer technologischen Idee eine praktische Lösung zu entwickeln, allein reicht für die Gründung einer Firma nicht aus«, weiß Stier. Die Fraunhofer-Gesellschaft fördert Unternehmensgründungen aus ihren Instituten daher auf vielfältige Weise, von der Schulung des unternehmerischen Denkens bis zum Austausch mit der Gründer- und Venture-Capital-Szene. Verantwortlich für das Ausgründungs- und Beteiligungsmanagement ist »Fraunhofer Venture«, die angehende Fraunhofer-Gründer mit Inkubator- und Akzeleratorprogrammen unterstützt und Partner zusammenbringt. 2017, bei einem dieser Fraunhofer-Inkubatoren, lernte IGB-Forscher Stier Betriebswirt Johann Barlach kennen. »Matthias hat mich schon in diesem ersten Speed-Dating mit seiner Geschäftsidee überzeugt. Wir haben uns dann schnell geeinigt und daran gemacht, einen Businessplan zu schreiben«, erinnert sich Barlach, der heute als CFO bei Variolytics tätig ist.

*Die Variolytics-Gründer am Fraunhofer IGB: Stephan Scherle, Dr.-Ing. Matthias Stier, Johann Barlach, Steffen Görner (von links).*



Mit dem Businessplan in der Hand ging es auf die Suche nach Investoren. Um in dieser Phase auf eigenen Beinen stehen zu können, bewarben sich Stier und Barlach mit Unterstützung der IGB-Institutsleitung beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für eine Zuwendung im Rahmen des Förderprogramms »EXIST – Existenzgründungen aus der Wissenschaft«. Im August 2019 wurde der Antrag bewilligt. »Diese Förderung von gut 1,6 Millionen Euro war für uns der Durchbruch, um in den folgenden zwei Jahren Entwicklungsarbeiten zur Kommerzialisierung der Technologie und offene Fragestellungen zur Ausgründung klären zu können«, so Stier.

### Auf die Vertragsgestaltung kommt es an

»Von ganz entscheidender Bedeutung für den Erfolg einer Ausgründung ist der frühzeitige, vertrauensvolle Dialog zwischen Forschungsinstitut und Gründern – und natürlich das gemeinsame Ziel, das Vorhaben voranzutreiben«, ist Institutsleiter Dr. Markus Wolperdinger überzeugt. Denn wie in jeder guten Zusammenarbeit geht es darum, dass beide Parteien gleichermaßen profitieren. »Die Forschungseinrichtung hat im Rahmen zahlreicher Projekte, mit Patent- und Betriebskosten durchaus schon erheblich in die Ausgründungsidee investiert«, erläutert Institutsleiter Wolperdinger. Lizenzverträge oder die Beteiligung der Forschungseinrichtungen an den Spin-offs gehören daher zur gängigen Praxis, um die in der Inkubationsphase investierten Mittel über zukünftige Rückflüsse an das Forschungsinstitut auszugleichen. »Wir Start-ups können vor allem anfangs noch keine großen Summen investieren. Und nur Geschäftsanteile, welche wir Gründer selbst halten, ebnen uns den Zugang zu Investmentkapital«, verdeutlicht Stier die Seite des Spin-offs.

»Mit einer guten Portion Fingerspitzengefühl und Kompromissbereitschaft auf beiden Seiten konnten wir eine Win-Win-Situation schaffen und die Balance zwischen finanzieller Zukunftsfähigkeit des Spin-offs und zukünftigen Erlösen für die Forschungseinrichtung sicherstellen«, erläutert Wolperdinger, der zu Beginn seiner Karriere selbst in

einem Technologie-Start-up tätig war. »Damit wir als Gründer für die Gespräche mit potenziellen Investoren Klarheit haben, sind zügige Lizenzverhandlungen dabei das A und O. Das ist uns in der Zusammenarbeit mit dem IGB sehr gut gelungen«, ergänzt Stier.

### Wert an sich: Infrastruktur und Netzwerk

Bis Ende 2021, als die verlängerte EXIST-Förderung auslief, konnten Stier und seine Variolytics-Mitarbeiter Räume und Infrastruktur am IGB nutzen – und sich parallel auf die Gründung des Unternehmens konzentrieren. »Ohne die exzellente technische Infrastruktur des Instituts hätten wir unsere ersten Prototypen weder entwickeln noch für die im Businessplan beschriebenen Anwendungen prüfen und den Marktzugang testen können«, bekräftigt Stier.

»Ich freue mich, dass wir Variolytics die Möglichkeit zur Entwicklung der Technologie bieten und mit unserer Ausstattung und administrativem Know-how auf dem Weg zum Markteintritt unterstützen konnten – und damit unsere Fraunhofer-Technologie in innovative Produkte und Dienstleistungen eines neuen Unternehmens überführt wurde«, sagt der Institutsleiter. »Dass sich unser Engagement auszahlt, sehen wir bereits jetzt mit einem weiteren gemeinsamen Forschungsantrag, der die Basis der Zusammenarbeit noch stabiler machen wird.«

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



*In den Labors am Fraunhofer IGB konnte Variolytics die Messungen zur Validierung ihres preisgekrönten Emission Control Systems für Kläranlagen durchführen.*

## Variolytics GmbH

Die Variolytics GmbH, die sich Anfang 2021 unweit des Stuttgarter Fraunhofer-Campus im Stuttgarter Engineering Park (STEP) angesiedelt hat, entwickelt innovative Messgeräte. Die neuartige Analyseplattform des Start-ups macht Substanzen in Echtzeit sichtbar und überwacht dank smarterer Steuerung effizient Abwasserreinigung, biotechnologische oder chemische Produktionsprozesse.

► [www.variolytics.com](http://www.variolytics.com)

## Das IGB – Ein starker Akteur in der Fraunhofer-Gesellschaft

Ein bedeutender Erfolgsfaktor des Fraunhofer IGB ist seine starke Vernetzung innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft. Dank der intensiven Zusammenarbeit in Fraunhofer-Verbänden und leitmarktorientierten Allianzen, in strategischen Forschungsfeldern und vielfältigen Projektkooperationen gelingen auch transdisziplinäre Fortschritte in der Entwicklung innovativer und nachhaltiger Produkte.

### Gründungsmitglied im Verbund Ressourcentechnologien und Bioökonomie VRB

Die Vision des Fraunhofer-Verbunds Ressourcentechnologien und Bioökonomie VRB ist der Schutz und eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen. Die Forschungsprojekte des Verbunds fokussieren entsprechend auf die Sicherstellung der Ernährung und Gesundheit der Weltbevölkerung («One-Health»-Ansatz der WHO), eine nachhaltige Bewirtschaftung der globalen Ressourcen, die Realisierung zirkulärer Systeme und Reduktion von klimaschädlichen Emissionen sowie auf die Entwicklung von technologischen Voraussetzungen für eine nachhaltige Erzeugung von Materialien und Produkten. Um dieses Ziel zu erreichen, entwickeln die Mitgliedsinstitute des Verbunds technologische, systemische und zirkuläre Lösungen sowohl für ein verantwortungsvolles Management von Ressourcen und Energie als auch den Klimaschutz.

Gründungsmitglieder des Verbunds sind die Fraunhofer-Institute UMSICHT, IGB, IVV und IME. Als Gastinstitute beteiligt sind seit Ende 2021 die Fraunhofer-Institute IAP und IWKS. Die Leitung des Verbundes liegt bei Prof. Dr. Eckhard Weidner, UMSICHT (Vorsitzender), sowie Dr. Markus Wolperdinger, IGB (stellvertretender Vorsitzender).

### Gast im Verbund MATERIALS

Der Verbund Werkstoffe und Bauteile MATERIALS deckt mit seinen Kompetenzen die gesamte Wertschöpfungskette von der Materialentwicklung über Fertigungsverfahren bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens ab. Seine Mission folgt der Motivation, die Expertise von den materialwissenschaftlichen Grundlagen bis zu werkstofftechnischen Systemlösungen dahingehend zu nutzen, um Innovationen für die Märkte der Kunden und Partner zu schaffen. Die Basis hierfür ist die skalenübergreifende Materialkompetenz der Mitgliedsinstitute entlang der industriellen Wertschöpfungskette.



### Fraunhofer Strategisches Forschungsfeld (FSF) Bioökonomie

Die Fraunhofer Strategischen Forschungsfelder bündeln die wissenschaftliche Exzellenz von Fraunhofer und betreiben nationales und europäisches Agenda-Setting. Sie konzentrieren ihre Forschungen auf Kernkompetenzen und suchen Lösungen für aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen. Ziel ist die Themenführerschaft von Fraunhofer bei den branchenübergreifenden Impact-Zielen: bezahlbare Gesundheit, vollendete Energiewende, Sicherheit und resiliente Gesellschaft, digitalisierte Wertschöpfung und ganzheitliche Kreislaufwirtschaft.

Das Fraunhofer IGB ist aktiv im FSF Bioökonomie (Gründungsmitglied) und im FSF Ressourceneffizienz und Klimatechnologien beteiligt (Mitglied des »Strategy Boards«).

Im FSF Bioökonomie arbeitet das IGB mit den Fraunhofer-Instituten UMSICHT, IME, IAP, IVV und WKI zusammen, um kreislauffähige und konkurrenzfähige Produkte mit neuen und verbesserten Funktionen zu entwickeln, zu einer emissions- und schadstofffreien Produktion beizutragen und dadurch Wertschöpfung und die Sicherung des Wohlstandes ohne Umweltlasten zu ermöglichen. Das FSF Bioökonomie legt dabei seinen Fokus auf die Themen biobasierte, maschinengängige, funktionelle und kreislauffähige Materialien, Wasser als Ressource, Lebensmittel und Futtermittel sowie Chemie und Biotechnologie. Sprecher des FSF Bioökonomie sind Dr. Markus Wolperdinger (Fraunhofer IGB) und Prof. Dr. Alexander Böker (Fraunhofer IAP).





## Fraunhofer Leitmärkte – Strategische Kundensegmente

Die Leitmärkte bieten Industriekunden Zugang zu branchenorientierten Leistungsangeboten der Fraunhofer-Gesellschaft. Mit Innovationen erzielen sie einen globalen Wettbewerbsvorteil für Deutschland, sichern die Technologiesouveränität Deutschlands und Europas und schaffen nachhaltige Wertschöpfung für die Gesellschaft. Die Angebote der Leitmärkte werden vor allem von den leitmarktorientierten Fraunhofer-Allianzen gestaltet und koordiniert. Das Fraunhofer IGB ist mit seinem Portfolio in den vier folgenden Leitmärkten involviert.

- Leitmarkt Chemische Industrie 
- Leitmarkt Energiewirtschaft 
- Leitmarkt Ernährungswirtschaft 
- Leitmarkt Gesundheitswirtschaft 

## Leistungszentren

In Leistungszentren arbeiten Fraunhofer-Institute, Universitäten und Hochschulen an einem Standort themenspezifisch mit Unternehmen und zivilgesellschaftlichen Akteuren zusammen. Mit übergreifend nutzbarer Infrastruktur, Ausbildungskonzepten und Know-how führen sie Partner zusammen und begleiten Ideen bis in den Markt.

Das **Leistungszentrum Mass Personalization (LZMP)** in Stuttgart beschäftigt sich mit der Frage, wie Produkte auf individuelle Nutzerbedürfnisse zugeschnitten und dennoch kostengünstig produziert werden können. Die gemeinsame strategische Initiative von Universität Stuttgart, Fraunhofer-Gesellschaft und Industrie treibt interdisziplinäre Lösungen voran, die den Nutzwert von Produkten und Dienstleistungen signifikant steigern und dadurch Unternehmen zu Wettbewerbsvorteilen verhelfen sollen.

► [www.masspersonalization.de](http://www.masspersonalization.de)

Das **Leistungs- und Transferzentrum Chemie- und Biosystemtechnik (LTZ CBS)** in der Region Halle-Leipzig ist zentrale Anlaufstelle, wenn es um Ressourcenschonung durch Energie- und Materialeffizienz oder den Übergang von unidirektionalen zu Kreislaufprozessen geht. Es fokussiert seine Aktivitäten auf Polymer- und Biopolymer-basierte Materialsysteme, ganzheitliche Wirkstoffsysteme, nachhaltige Grenzflächenchemie und -physik und CO<sub>2</sub>-neutrale Kohlenstoff- und Wasserstoffkonversion. Mit der Auseinandersetzung zu Fragen der Sektorenkopplung oder der Bewältigung unternehmerischer und regulatorischer Risiken hat sich das LTZ CBS zu einem interdisziplinär aufgestellten Thinktank für die Chemie 4.0 entwickelt.

► [www.chemie-bio-systemtechnik.de](http://www.chemie-bio-systemtechnik.de)

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

# Gesundheit

---

Smart Health Engineering und Enabling Technologies  
für die Präzisionsmedizin



Die rasante Entwicklung bei der Erfassung und Analyse genomweiter Daten und die umfassenden Möglichkeiten zur Manipulation von Zellen haben im letzten Jahrzehnt zu einer datengetriebenen Diagnostik und zu grundsätzlich neuen Therapeutika geführt, die eine Präzisionsmedizin für den einzelnen Patienten ermöglichen. Unser Fokus am Fraunhofer IGB ist es dabei, die notwendigen Befähiger-Technologien (Enabling Technologies) für eine Präzisionsmedizin zu schaffen und weiterzuentwickeln, mit dem Ziel, die medizinische Versorgung von Patienten zu verbessern und gleichzeitig die Kosten im Gesundheitswesen zu senken.

**Das Fraunhofer IGB ist aktiv in der Entwicklung von**

- innovativen nukleinsäurebasierten Diagnostikverfahren, insbesondere im Bereich der Hochdurchsatzsequenzierung,
- Materialien für die Medizintechnik,
- humanen Testsystemen für die Medikamentenentwicklung,
- Viren/viralen Vektoren und Verfahren zu ihrer Produktion sowie
- Qualitätskontrollsystemen für Medizintechnik und Medikamentenentwicklung.

# Zielmärkte

---

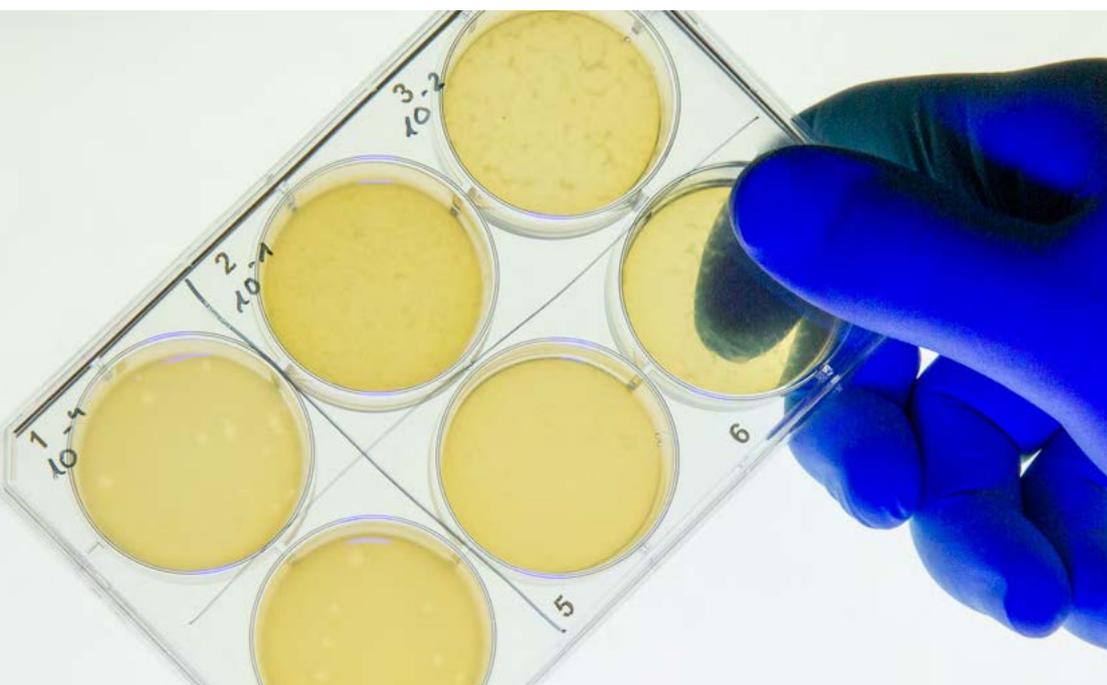
Das Institut sieht sich als Partner für Unternehmen im Bereich Life Science, insbesondere in den Bereichen Diagnostik, Medizintechnik und Arzneimittelentwicklung.

## Diagnostik

In der Diagnostik mittels Hochdurchsatzsequenzierung besitzt das Institut umfassende Erfahrungen in den Indikationen Sepsis, Endokarditis, Fruchtwasserinfektionen, Pankreatitis und Pankreas-Karzinome, aber auch bei Mikrobiomstudien. In multizentrischen klinischen Studien wurden die Verfahren zur Sepsis-Diagnostik bereits validiert und werden über unsere Ausgründung, die Noscendo GmbH, vertrieben.

## Arzneimittelentwicklung

In der Arzneimittelentwicklung schaffen wir humane Testsysteme, die bereits in der präklinischen Forschung Aussagen über Wirkung und Nebenwirkung potenzieller hochspezifischer Wirkstoffkandidaten erlauben, die im Tiermodell nicht erbracht werden können. Dies erreichen wir durch die Entwicklung organoide In-vitro-Modelle und von dreidimensionalen In-vitro-Modellen aus menschlichen Geweben. Unsere langjährige Erfahrung in molekularer Zelltechnologie ermöglicht dabei die präzise Entwicklung von Rezeptor-basierten Assays für die Wirkstoff-Validierung, wie auch von Produktionszelllinien für Biologicals.



Neue innovative Therapieansätze werden am IGB mit Viren entwickelt. Unsere langjährige Erfahrung im Virus-Engineering ermöglicht das maßgeschneiderte Design von Viren zur gezielten Prävention (Vakzine) und Therapie (onkolytische Viren). Onkolytische Viren wurden auf Basis von Herpes-simplex-Virus Typ 1 (HSV-1) entwickelt. Darüber hinaus entwickeln wir Virus-like Particles (Virus-ähnliche Partikel) als Vakzine und zum zielgenauen Drug Delivery.

Für den gezielten Transport und die kontrollierte Abgabe von Wirkstoffen (Drug Delivery und Release) formulieren wir Wirkstoffe beispielsweise in eine Matrix, die aus biobasierten, polymeren oder silikatischen Materialien besteht.



### Medizintechnik

Unsere Expertise im Bereich Medizintechnik zur Herstellung funktionaler Oberflächen, zur Materialentwicklung und Oberflächenanalytik rundet das Leistungsspektrum des IGB ab. Der Fokus liegt hierbei auf Beschichtungstechnologien und Materialentwicklungen bis hin zu biologischen Tinten für medizintechnische Unternehmen. Darüber hinaus etablieren wir Plasma- und UV-Sterilisationsverfahren zur Entkeimung und Entfernung pyrogener Rückstände im Hinblick auf größtmögliche Effektivität und Materialschonung.

### GLP-Einrichtung und Reinräume

In unserer GLP-Einrichtung führen wir nicht-klinische Sicherheitsprüfungen der Prüfkategorie 9 (»Zellbasierte Testsysteme zur Bestimmung biologischer Parameter«) wie Bioaktivitäts-, Zytotoxizitäts- und Immunogenitätsprüfungen für alle oben genannten Branchen durch.

Reinräume (ISO5) ermöglichen das Arbeiten nach GMP-Richtlinien am IGB.



### Kontakt

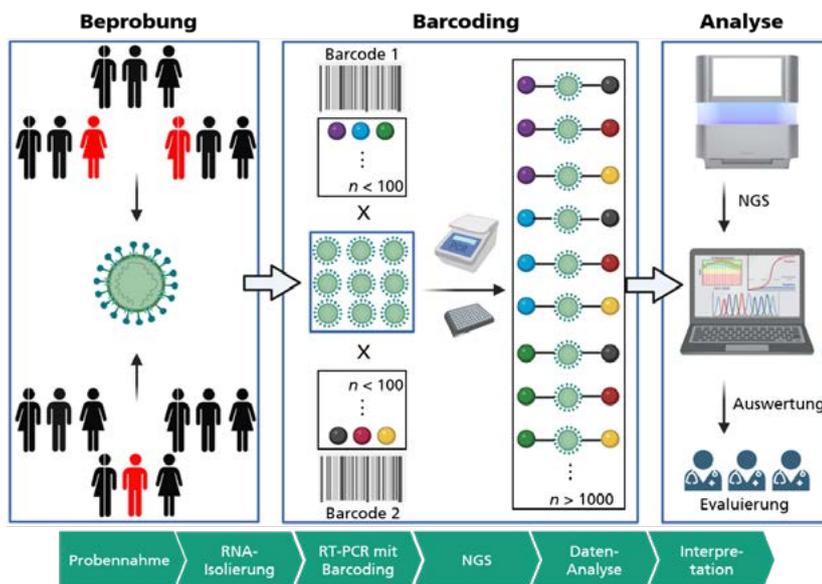
apl. Prof. Dr. Steffen Rupp  
Tel. +49 711 970-4045  
steffen.rupp@  
igb.fraunhofer.de

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

## CoV-2-KoMET – Hochdurchsatz-Diagnostik von respiratorischen Erkrankungen wie SARS-CoV-2

Laut Robert Koch-Institut wurden in Deutschland bisher ca. 14,75 Millionen SARS-CoV-2-Infektionen nachgewiesen [1], eine höhere Dunkelziffer wird vermutet. Die derzeit eingesetzten diagnostischen Verfahren der reversen Transkription viraler Nukleinsäuren mit anschließender quantitativer Polymerase-Kettenreaktion, im allgemeinen als PCR-Test bekannt, sind jedoch hinsichtlich des Probandendurchsatzes limitiert. Darüber hinaus steigen auch Infektionen mit anderen saisonalen respiratorischen Erkrankungen wie Influenza oder RSV (Respiratorisches Synzytial-Virus) an [2], welche im besten Fall simultan analysiert und diagnostiziert werden sollten.

*Prozessablauf in CoV-2-KoMET, beginnend mit der Probenahme über das molekulare Barcoding in der RT-PCR bis zur Analyse und Evaluierung der Ergebnisse (Grafik erstellt mit BioRender).*



### Flächendeckende Tests durch Hochdurchsatz-Diagnostik

Um im Hinblick auf die vorherrschende Omikron-Variante flächendeckende PCR-basierte Tests anbieten zu können, muss der Probandendurchsatz deutlich erhöht werden. In Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Instituten für Zelltherapie und Immunologie IZI und Produktionstechnik und Automatisierung IPA haben wir am Fraunhofer IGB im Rahmen des Fraunhofer-Projekts CoV-2-KoMET ein neues Verfahren zur Hochdurchsatz-Diagnostik von SARS-CoV-2 entwickelt und an klinischen Proben validiert. Dabei wird

die reverse Transkription und Vermehrung spezifischer Virussequenzen (RT-PCR) mit der Hochdurchsatzfähigkeit moderner Sequenzier-technologien kombiniert. Um tausende Patientenproben gleichzeitig zu analysieren, werden diese in der RT-PCR mit spezifischen Oligonukleotiden – auch als »molekulare Barcodes« bezeichnet – gekennzeichnet, die eine eindeutige Zuordnung zur Probe ermöglichen (Abb.).

### Erste Validierung der Hochdurchsatz-Diagnostik

An insgesamt 672 klinischen Proben konnte CoV-2-KoMET erfolgreich getestet werden und erreichte dabei eine Spezifität von über 89 Prozent und eine Sensitivität von über 87 Prozent im Vergleich zur Standardbestimmung des PCR-Tests. Die diagnostische Güte von CoV-2-KoMET, bestimmt durch die »Area under the curve« (AUC), von 94 Prozent zeigt das Potenzial dieses Ansatzes, der zukünftig weiteren Evaluierungen und Verbesserungen unterzogen werden wird. Neben der reinen SARS-CoV-2-Hochdurchsatz-Detektion konnte des Weiteren an 41 synthetischen Proben ein »respiratorisches Panel« erfolgreich etabliert werden und damit SARS-CoV-2 sowie Influenza A/B bis zu einer Nachweisgrenze von 10 Kopien/ $\mu$ L nachgewiesen werden.

### Ausblick

CoV-2-KoMET als diagnostischer Ansatz, basierend auf der Hochdurchsatz-Sequenzierung von Virus-Nukleinsäuren, stellt eine vielversprechende und alternative Methode in Pandemien und bei Infektionsausbrüchen dar. Mit dem Ansatz konnten wir nicht nur den Probandendurchsatz erhöhen, sondern durch die Skalierbarkeit auch die potenziellen Kosten pro Testung reduzieren. Darüber hinaus kann durch ein verändertes Design der spezifischen Virussequenzen innerhalb weniger Wochen auf neue Varianten reagiert werden. Das Projekt wird mit dem industriellen Partner LMV Laboratories weitergeführt, mit einem besonderen Fokus auf der Verbesserung und Erweiterung des respiratorischen Panels, um Patienten möglichst simultan – mit einer einzigen Probe – auf Infektionen mit SARS-CoV-2, Influenza und RSV zu testen.

► [www.igb.fraunhofer.de/ings-corona](http://www.igb.fraunhofer.de/ings-corona)

### Kontakt

Mirko Sonntag M. Sc.  
Tel. +49 711 970-4413  
mirko.sonntag@  
igb.fraunhofer.de

## Untersuchung inhalationstoxikologischer Effekte von Mundschutzmasken

Für medizinische Mundschutzmasken sind Anforderungen wie Filterleistung, Atmungsaktivität und Biokompatibilität sowie zugehörige Prüfverfahren gesetzlich definiert. Die Norm zur Beurteilung von Medizinprodukten (DIN EN 10993) gibt für biologische Effekte wie Toxizität, Irritation und Allergie lediglich einen Kontakt des Medizinprodukts/Materials zu Haut oder Körperflüssigkeiten vor. Beim Atmen durch Masken können unerwünschte respirationstoxikologische Effekte durch freigesetzte, luftgetragene Substanzen hervorgerufen werden, welche aus der Maske in die Lunge gelangen – auch bei sehr geringen Konzentration in der eingeatmeten Luft. Dies kann von einer Reizung oder Irritation der Atemwege langfristig bis zu Allergien oder Asthma führen. Eine standardisierte/normierte Untersuchung der luftgetragenen Exposition unter respirationstoxikologischer Sicht ist weder gesetzlich vorgegeben noch verfügbar.

### Kultur- und Expositionssystem zur Untersuchung luftgetragener Substanzen

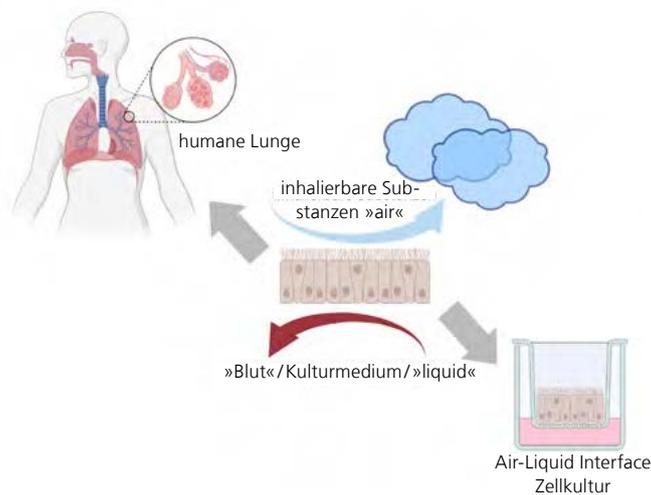
Basierend auf einem von Fraunhofer ITEM patentierten Kultur- und Expositionssystem für luftgetragene Testsubstanzen wurde eine einzigartige In-vitro-Testbatterie zur Untersuchung respirationsbiologischer Wirkungen von Mundschutzmasken etabliert. Der P.R.I.T.® ExpoCube® erlaubt die Exposition von Zellen an der Luft-/Flüssigkeitsgrenze (Air-Liquid Interface (ALI)-Kulturen) (Abb.). Hiermit können relevante Endpunkte respirationstoxikologischer Mechanismen untersucht werden.

### Reporterzelllinien zum Nachweis von Allergie und Asthma auslösenden Effekten

Neben dem Einsatz kommerzieller Zelllinien zur Untersuchung toxischer und/oder irritativer Wirkungen etablieren wir im Innovationsfeld Zell- und Gewebetechnologien Indikatorzelllinien, mit denen Effekte untersucht werden können, die zur Ausbildung von Allergien und Asthma führen. Die Basis hierzu sind am Fraunhofer IGB patentierte Indikatorzelllinien (EP 2 041 172 B1) mit humanen Rezeptoren des angeborenen Immunsystems, die für die Aktivierung des Immunsystems verantwortlich sind (Toll-like Rezeptoren, TLR). Eine TLR-Aktivierung der Reporterzellen

führt über intrazelluläre Signalwege zu einer Expression des Reportergens. Über das Reporterprotein, hier eine sekretierte Alkalische Phosphatase (SEAP), kann durch Zugabe eines geeigneten Substrates eine Rezeptoraktivierung direkt über eine Farbumschlagsreaktion quantifiziert werden.

Um diese submers kultivierten Zellen erstmalig zur Untersuchung luftgetragener Substanzen einsetzen zu können, wurden sie erfolgreich an die Bedingungen einer ALI-Kultivierung adaptiert. Zur Vervollständigung des In-vitro-Testsystems wurden in einem Screening zudem geeignete verdampfbare Substanzen als Positivkontrollen identifiziert.



Übertragung des Expositionsprinzips auf die In-vitro-Prüfsituation (Grafik erstellt mit BioRender).

### Demonstration der Funktionalität des Testsystems anhand einer Modellkontamination

Eine Anwendung des Testsystems auf die Entwicklung tragephysiologisch optimierter alltagstauglicher Schutzmasken im Rahmen des übergeordneten Verbundprojekts TOPAS-COVID19 wurde erfolgreich am Beispiel von Formaldehyd als Modellkontamination gezeigt. Hierbei wurde auf Basis vorhandener Grenzwerte nicht nur konzeptionell, sondern auch im quantitativ relevanten Konzentrationsbereich möglicher Filterkontaminationen eine realistische Prüfsituation erfolgreich nachstellt.

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

### Kontakt

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

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

## Aerosolgetragene Viren – Produktion, Capturing und Analyse

Die SARS-CoV-2-Pandemie hat große Wissenslücken bei der Analyse von aerosolübertragenen Viren aufgedeckt. Diese betreffen grundlegende Fragen ihrer Ausbreitung in geschlossenen Räumen, aber auch der Wirksamkeit möglicher Präventions- und Inaktivierungsmaßnahmen – von Schutzmasken bis zu Luftfiltern und Inaktivierungsverfahren mit Luftreinigern. Das Innovationsfeld Virusbasierte Technologien hat einen umfassenden und anpassungsfähigen Workflow entwickelt, um diese Fragen zu beantworten.



*Aufbau der Aerosoltestkammer zur definierten Untersuchung von luftgetragenen bakteriellen und viralen Erregern bis Sicherheitsstufe 2. Zusätzliche Geräte können integriert werden, um zielgerichtet Untersuchungen wie beispielsweise die Desinfektionseffizienz von UV-C-Strahlung bei luftgetragenen Erregern zu untersuchen.*

### Modellsysteme mit »harmlosen« Viren

Um ein Testsystem zu etablieren, kamen mehrere Viren als Surrogate für SARS-CoV-2 in Frage. Die Wahl fiel auf den Bakteriophagen Phi6, der mit seiner Virusmembran und seinem RNA-Genom SARS-CoV-2 morphologisch ähnelt, aber weder für Tiere noch für den Menschen schädlich ist. Um Phi6 zu vermehren, wurden spezifische Wirtsbakterien infiziert. Zur möglichst effizienten Produktion einer großen Menge an Phi6, wie sie für die Testung erforderlich ist, konnten wir einen skalierten Produktionsprozess auf Basis einer Flüssigkultur etablieren. Ebenso setzen wir das humane Coronavirus 229E (HCoV-229E), ein häufiges und weit verbreitetes Erkältungsvirus, als Surrogatvirus ein.

### Virusaktivitätstest zum Nachweis infektiöser Viren

Um das Vorhandensein und/oder die Infektiosität von Surrogatviren zu erfassen, wurden Nachweismethoden für aktive, infektiöse Virenpartikel sowie für die gesamte virale Genomzahl etabliert. Die Bestimmung der Virusaktivität erfolgt mit einem Phagen-Plaque-Assay. Dabei bilden aktive Surrogatviren auf einem Bakterienrasen lytische Höfe (sogenannte Plaques), die mit der Anzahl infektiöser Viruspartikel korrelieren. Darüber hinaus haben wir eine Phi6-spezifische RT-qPCR etabliert, die alle Viruspartikel, ob aktiv oder inaktiv, auf Basis der viralen Genome erfasst und sowohl als Referenz für den Grad der Inaktivierung als auch der Virusabreichung dient.

### Aerosolisierungskammer als geschlossene Testumgebung

Eine eigens entwickelte Aerosolisierungskammer erlaubt die geschlossene Produktion und Analyse von Surrogat- sowie infektiösen aerosolübertragenen Viren. Zur Aerosolisierung formulieren wir die Viren in einem geeigneten Medium und füllen sie in einen an die Kammer angeschlossenen Aerosolgenerator. Zur Probenahme der aerosolisierten Viren wurde ein Verfahren unter Verwendung von Swabs (Tupfern) entwickelt. Dies ermöglicht es, Viren einzufangen und sie mittels der etablierten Nachweismethoden hinsichtlich ihrer Aktivität und Gesamtzahl zu charakterisieren.

### Untersuchung von Inaktivierungsverfahren im Kundenauftrag

Mit diesen Werkzeugen steht uns ein umfassender und flexibler Workflow für alle Fragestellungen rund um aerosolgetragene Viren zur Verfügung, mit dem wir die Wirksamkeit neuer Verfahren, etwa die Virusinaktivierung durch UV-C-Strahlung, oder Geräte, beispielsweise Luftreiniger, im Kundenauftrag untersuchen können. Zusätzlich erweitern wir unsere Testmöglichkeiten bereits für Aerosole, die Bakterien bzw. Pilzsporen enthalten, und bereiten uns damit auf die Herausforderungen der Zukunft vor.

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

### Kontakt

Jens Wetschky M. Sc.  
Tel. +49 711 970-4215  
jens.wetschky@  
igb.fraunhofer.de

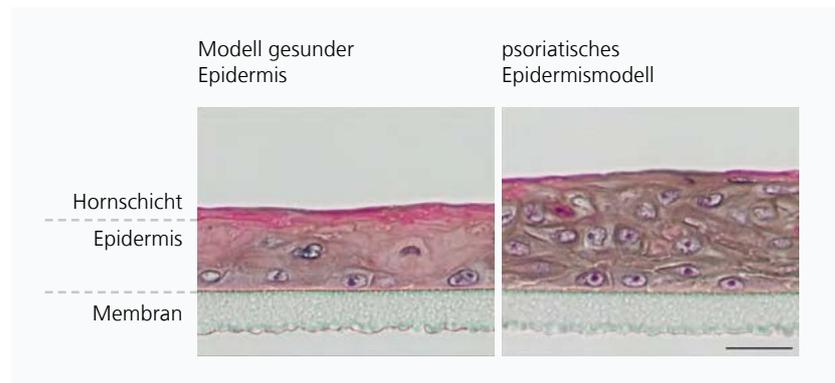
### 3D-In-vitro-Modell zur Validierung von Immunrezeptoren als Targets für die Behandlung von Psoriasis

Psoriasis (Schuppenflechte) ist eine chronische Autoimmunerkrankung, von der etwa zwei Prozent der Bevölkerung weltweit betroffen sind [1]. Die Krankheit äußert sich in Form von entzündeten und schuppigen Hautstellen, die mit Juckreiz und Schmerzen einhergehen. Zu den derzeitigen Psoriasis-Behandlungen gehören systemisch wirkende Biologika wie monoklonale Antikörper sowie topisch angewandte hydrokortisonhaltige Salben. Oftmals sind die Therapieoptionen mit zum Teil schweren Nebenwirkungen verbunden oder die Patienten sprechen darauf nicht an.

Um molekulare Angriffspunkte für eine gezielte immunmodulatorische Behandlung zu identifizieren, werden humane In-vitro-Modelle benötigt, die die pathologisch veränderte humane Psoriasis-Haut darstellen. Diese Modelle müssen valide und reproduzierbar und damit für größere Testreihen geeignet sein. In der Forschung werden vor allem Mausmodelle eingesetzt, deren Aussagekraft aufgrund der geringen Übertragbarkeit auf den Menschen stark begrenzt ist. Alternativ werden Modelle basierend auf Patientenbiopsien eingesetzt, die sich durch eine limitierte Verfügbarkeit des Ausgangsmaterials nicht für ein Wirkstoffscreening eignen.

#### Neues 3D-Psoriasis-Epidermismodell

Im Innovationsfeld Zell- und Gewebetechnologien des Fraunhofer IGB wurde erfolgreich ein ganz neuartiges 3D-Psoriasis-Hautmodell etabliert, welches diese Probleme umgeht. Die Grundlage für das Modell sind humane immortalisierte Keratinozyten, die in vitro zu einer mehrlagigen Epidermis ausdifferenziert werden. Durch Überexpression des Psoriasis-assoziierten Transkriptionsfaktors STAT3 in diesen Keratinozyten, die Kokultivierung des Epidermismodells mit in vitro aktivierten T-Zellen und die gezielte Zugabe von proinflammatorischen Zytokinen ist es gelungen, die Psoriasis-typische Entzündungsreaktion in den Modellen nachzustellen. Ein Vergleich mit Patientenbiopsien bestätigte die Übereinstimmung der Psoriasismarker im In-vitro-Modell.



Querschnitt durch ein 3D-In-vitro-Psoriasismodell. Man erkennt die für die Krankheit typische gestörte Verhornung (pink) und Verdickung (Akanthose) der Epidermis. Balken = 25 µm.

#### Validierung von Toll-like-Rezeptoren als Targets für Psoriasis-Therapeutika

Dieses Modell wurde bereits erfolgreich für die Validierung von Rezeptoren des angeborenen Immunsystems, sogenannten Toll-like-Rezeptoren (TLR), als Targets eingesetzt. Hierfür haben wir TLR-Agonisten – Moleküle, die TLR aktivieren – mit dem neuen Psoriasismodell getestet und nach Zugabe dieser Agonisten die Expression von spezifischen Psoriasismarkern nachgewiesen. Mit einem zweiten Psoriasismodell, bei welchem TLR2 in den Keratinozyten durch ein Knockout ausgeschaltet wurde, konnten wir zeigen, dass im Vergleich zum Basismodell mit TLR2 die Expression von Psoriasismarkern nach Zugabe von TLR2-Agonisten signifikant reduziert wurde.

#### Ausblick

Auf Basis des neuen am IGB etablierten humanen 3D-In-vitro-Psoriasismodells konnten Toll-like-Rezeptoren erstmals als Target für die Behandlung von Psoriasis validiert werden. In einem nächsten Schritt wollen wir Moleküle mit TLR inhibierender Wirkung, TLR-Antagonisten, als potenzielle Wirkstoffe evaluieren.

Das humane 3D-In-vitro-Psoriasismodell eignet sich optimal für die Testung neuer immunmodulatorischer Moleküle. Zudem bietet es den Vorteil, dass es auch für andere entzündliche Hauterkrankungen wie die atopische Dermatitis angepasst werden kann.

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

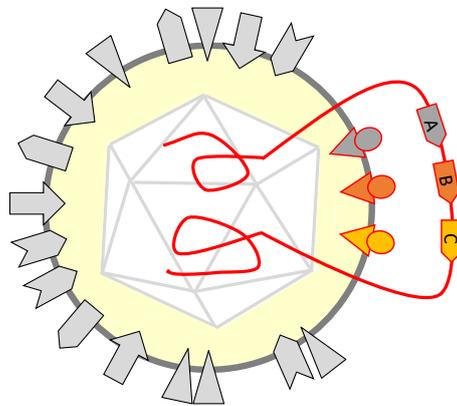
#### Kontakt

Hanna Glasebach M. Sc.  
Tel. +49 711 970-4032  
hanna.glasebach@  
igb.fraunhofer.de

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

## Programmierung biointelligenter Viren für den therapeutischen Einsatz

Viren können zielgesteuert in Zellen eindringen, dadurch biologische Information verankern und ihre Wirkung durch Vermehrung sogar selbst verstärken. Diese natürlichen Eigenschaften von Viren lassen sich durch gentechnisches Programmieren vielseitig nutzen und erweitern. Solch programmierbare Viren eignen sich als Plattformtechnologie für verschiedene therapeutische Zwecke, sei es als Vektoren für die Zell- und Gentherapie oder als Impfstoffträger.



Schematische Darstellung eines programmierten onkolytischen HSV-1-Virions mit inserierten Transgenen (A, B, C).

Onkolytische Viren (OV) stellen eine eigene Klasse von Gentherapien dar, die als innovative Krebstherapien – als Mono- oder Kombinationstherapie – immer stärker in den Fokus rücken. Durch gentechnische Modifikation können Viren zu hochspezifischen Wirkstoffträgern engineered werden: Die resultierenden OV entfalten ihre Wirkung durch spezifische Erkennung und Zerstörung von Tumorzellen. Zusätzlich können sie tumorinfiltrierende Immunzellen rekrutieren und aktivieren, sodass das Immunsystem die Bekämpfung des Tumors unterstützt. Auf diese Weise kann eine langanhaltende In-situ-Tumorvakzinierung erreicht werden.

### Erleichterte Integration von Transgenen in Plattformvektor

Im Innovationsfeld Virus-basierte Technologien wurde im Rahmen der MAVO TheraVision unter Verwendung der Bacterial-Artificial-Chromosome-Technologie ein proprietärer Plattformvektor auf Basis eines Herpes-simplex-Virus-1 (HSV-1) etabliert.

Diese Plattformtechnologie, für die eine Patentanmeldung eingereicht wurde, ermöglicht eine modulare Programmierung des HSV-1-Genoms durch erleichterte Integration von Transgenen. Kombiniert mit der Möglichkeit zum High-Capacity-Engineering eignet sich der Plattformvektor somit hervorragend als Forschungswerkzeug. Durch weitere Modifikationen mit dem Ziel, die Neurotoxizität von HSV-1 zu inaktivieren, entstand ein attenuierter Vektor, der im Vergleich zum Ausgangsvektor die Viruslast im Gehirn von Mäusen signifikant reduziert und damit eine sichere Anwendung ermöglicht.

### Eignung zur Tumorvakzinierung demonstriert

Als »Proof of Principle« haben wir bereits verschiedene Transgene in unterschiedlicher Kombination in den Plattformvektor implementiert. Dadurch konnte unter anderem die Zielsteuerung des TheraVision-Virus zu Tumorzellen optimiert werden. Zudem binden viruskodierte Immuncheckpoint-Inhibitoren an Rezeptoren des Immunsystems und sind folglich funktionsfähig. Diverse fremde Antigene, die zur Tumorvakzinierung beitragen können, konnten schließlich virusvermittelt exprimiert werden.

### Plattformtechnologie zur vereinfachten Entwicklung maßgeschneiderter therapeutischer Viren

Insgesamt wurde damit die Basis für eine kombinierte Virus-Immuntherapie geschaffen, die eine effektive, sichere und nachhaltige Zerstörung von Tumoren sowie Metastasen ermöglicht und gleichzeitig die Gefahr von systemischen Nebenwirkungen minimiert.

Parallel zum Virus-Engineering wurden von Fraunhofer-Partnerinstituten ein GMP-konformer Produktionsprozess und komplexe präklinische Testsysteme mit humanen Tumor- und Immunzellen etabliert.

Somit steht eine breit einsetzbare Plattformtechnologie zur vereinfachten Entwicklung von maßgeschneiderten therapeutischen Viren bereit.

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

### Kontakt

Dr. Christina Funk  
Tel. +49 711 970-4056  
christina.funk@  
igb.fraunhofer.de

apl. Prof. Dr.  
Susanne M. Bailer  
Tel. +49 711 970-4180  
susanne.bailer@  
igb.fraunhofer.de

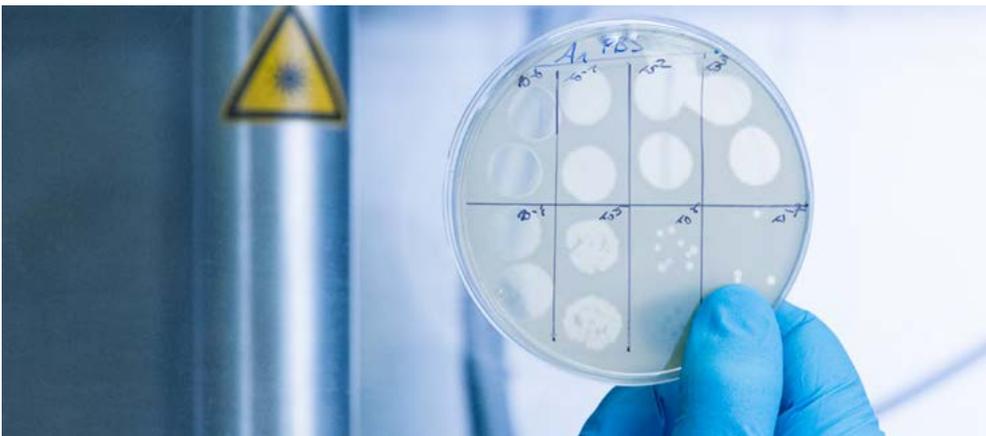
## Bakteriophagen – Viren mit Zukunftspotenzial

Bakteriophagen (kurz Phagen) sind natürlich in der Umwelt vorkommende Viren, die ausschließlich Bakterien infizieren können und diese gezielt durch Lyse zerstören. Diese Eigenschaft macht sie zu einem für Mensch und Tier ungefährlichen, aber sehr effizienten Mittel mit Anwendungsmöglichkeiten in vielen Bereichen. Des Weiteren sind Bakteriophagen naturgemäß ein Vehikel zur Übertragung von genetischem Material, was zur genetischen Modifikation der infizierten Bakterien führen und somit gezielt genutzt werden kann. Der Schwerpunkt des Innovationsfelds Virus-basierte Technologien liegt darin, Bakteriophagen gezielt als maßgeschneidertes Werkzeug für Medizin und Bioökonomie zu nutzen.

in der Lebensmittel- und Agrarindustrie, etwa zur Hygienisierung von Lebensmitteln oder zur Reduktion des Antibiotikaeinsatzes in der Tierhaltung, großes Potenzial.

### Phagen als multifunktionelles Werkzeug

Im Bereich der Bioökonomie produzieren Bakterien chemische Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen oder Reststoffen, die als Alternative zu fossilen Rohstoffen dienen. Mithilfe von Bakteriophagen können die bakteriellen Stoffwechselprozesse zur Produktion der gewünschten Stoffe gezielt optimiert und ihre Ausbeute durch diese erhöht werden, was als Metabolic Engineering bezeichnet wird. Dies ist besonders attraktiv bei Bakterien, bei denen gängige gentechnische Methoden ineffizient oder unmöglich sind. Hierfür sollen Bakteriophagen gegen unterschiedlichste Bakterien gefunden, charakterisiert und in einer



Aktive Phagenpartikel zerstören Bakterien und bilden lytische Zonen (Plaques) auf einem Bakterienrasen.

### Phagen als Ersatz für Antibiotika

Aufgrund des weltweit rasanten Anstiegs antibiotikaresistenter (AMR-)Bakterien (siehe WHO priority pathogen list) wird der Ruf nach alternativen Behandlungsmethoden zunehmend lauter. Dies zeigt eine aktuelle Analyse der AMR-Abteilung der WHO besonders deutlich, die sich mit der Entwicklung antibakterieller Wirkstoffe im präklinischen Stadium beschäftigt [1] und mittlerweile auch Phagen und von Phagen stammende Peptide auflistet. Bakteriophagen können künftig eine wichtige Rolle einnehmen und in der Medizin als potenzieller Antibiotika-Ersatz genutzt werden, was in einigen osteuropäischen Ländern (z. B. Georgien) bereits erfolgreich praktiziert wird. Des Weiteren hat ihre Anwendung

neu erstellten Phagenbank gelagert werden. Diese können dann für mögliche spätere, spezifische Nutzungsverfahren angewendet werden.

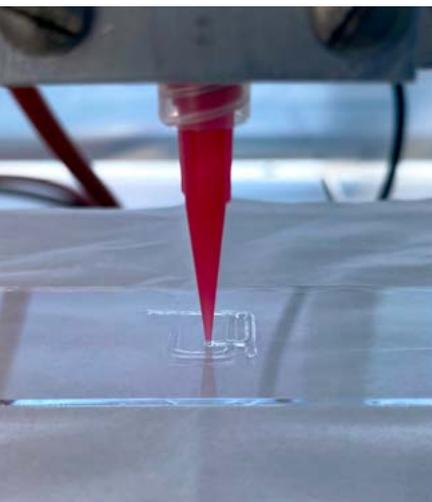
Darüber hinaus setzen wir ausgewählte Bakteriophagen erfolgreich als Surrogat für SARS-CoV-2 – also als Modellviren – ein, um Fragestellungen zur Wirkung von Schutzmasken und Filtern oder Desinfektionsmethoden zu untersuchen. Dies ist detailliert im Beitrag »Aerosolgetragene Viren« beschrieben.

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

### Kontakt

**Carina Rohmer M. Sc.**  
Tel. +49 711 970-4049  
carina.rohmer@  
igb.fraunhofer.de

**Jens Wetschky M. Sc.**  
Tel. +49 711 970-4215  
jens.wetschky@  
igb.fraunhofer.de



3D-Druck einer vernetzbaren, am Fraunhofer IGB entwickelten Biotinte.

## SOP Bioprinting

Die große Hoffnung für das Schließen der Versorgungslücke bei Implantaten liegt im 3D-Bioprinting. Dabei handelt es sich um eine additive Fertigung, die lebende Zellen in einem biokompatiblen Trägermaterial Schicht für Schicht zu stabilen, wohldefinierten 3D-Konstrukten druckt. Diese 3D-gedruckten Strukturen sind aktueller Gegenstand der Forschung und Entwicklung in den vielfältigen Gebieten der regenerativen Medizin bzw. des Tissue Engineerings und gewinnen auch im Bereich der industriellen Anwendung zunehmend an Bedeutung.

### Reproduzierbarkeit durch Standardisierung

Für den Übergang in eine industrielle Anwendung sind Kriterien wie Formtreue und Reproduzierbarkeit der mittels additiver Fertigung generierten Produkte von entscheidender Bedeutung. Die hohe Diversität der am Markt verfügbaren Druckersysteme sowie die bisher geringe Standardisierung verfügbarer Biomaterialien zur Herstellung von Biotinten führen in Summe zu einem »Daten-Dschungel«, aus dem sich allgemeingültige material- und prozessrelevante Kriterien für eine ziel- und erfolgsorientierte Durchführung des 3D-Bioprinting nur schwer ableiten lassen.

### Ringversuch für SOP

Zur Lösung dieser Herausforderungen lud das KIT im Projekt SOP\_BioPrint 13 renommierte Partner, ausgewählt anhand ihrer durch Publikationen auf diesem Gebiet ausgewiesenen Expertise, zu einem Ringversuch ein. Solche Versuche werden normalerweise zur Qualitätssicherung oder zur Validierung von Mess- und Prüfverfahren eingesetzt. In Standard Operation Procedures (SOP) werden Herstellungs- oder Prüfverfahren exakt beschrieben, um unabhängig vom Hersteller oder Prüflabor immer reproduzierbare und damit vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Im Projekt SOP\_BioPrint wurde somit untersucht, inwieweit man mit standardisierten Biotinten, welche an unterschiedlichen Standorten und Geräten, jedoch mit gleichen Parametern verdruckt werden, reproduzierbare und vergleichbare Strukturen drucken kann. Um die Varianzen zu umgehen, die durch die

Präparation von Tinten an den Standorten mit unterschiedlichen 3D-Bioprintern hinzukommen, wurden neben einer kommerziellen Biotinte zwei weitere Biotinten durch beteiligte Partner bereitgestellt.

Das Fraunhofer IGB nahm nicht nur an diesem Ringversuch teil, sondern lieferte auch eine Gelatine-basierte vernetzbare Biotinte für alle an dem Ringversuch teilnehmenden Partner. Damit war die IGB-Biotinte eine von drei im Ringversuch untersuchten Biotinten. Neben dem Material (modifizierte Gelatinen, Radikalstarter, Puffer) haben wir den Ringversuchspartnern auch eine SOP zur Modifizierung und Formulierung der Biotinte zur Verfügung gestellt. Mit dieser SOP konnten alle Beteiligten eine bezüglich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften gleiche Biotinte produzieren und verdrucken.

### Methacrylierte Gelatine nach standardisiertem Modifizierungsverfahren

Mit der Teilnahme am Ringversuch konnte für eine am IGB entwickelte Gelatine-basierte Biotinte nun erstmals ein standardisiertes Herstellungsverfahren etabliert werden. Dabei sticht die nun standardisierte Modifizierung von Gelatine mit Methacrylsäureanhydrid als eine einfache und kosteneffiziente Strategie zur Integration photopolymerisierbarer Gruppen in das Biopolymer hervor. Die resultierenden methacrylierten Gelatine-Derivate sind in der Lage, durch photoinitierte radikalische Polymerisation kovalent zu vernetzen. Damit stellen sie eine vielseitige Matrix dar, die für die Entwicklung von Gewebeanaloga verwendet werden kann, die von Gefäßen über Knorpel, Bänder, Sehnen und Knochen bis hin zum Fettgewebe und Herzgewebe reichen [1].

Neben den biologischen Vorteilen ist die Möglichkeit der mechanischen Steifigkeit über die Verwendung von chemisch vernetzbaren Gelatine-basierten Hydrogelen im Bioprinting von wesentlicher Bedeutung. Darüber hinaus ermöglicht die Methacrylierung, das rheologische Verhalten der Gelatine zu kontrollieren und sie bei Raumtemperatur fließfähig werden zu lassen. Dies erlaubt ein hohes Maß an Kontrolle über das Hydrogel-Design im 3D-Bioprinting.

► [www.igb.fraunhofer.de/sop-bioprint](http://www.igb.fraunhofer.de/sop-bioprint)

## Kontakt

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

## Campus UV-C: Optimierung und Prüfung von UV-C-Technologien zur Desinfektion für KMU

Die UV-C-Bestrahlung etabliert sich immer mehr als wirksame Entkeimungstechnologie und wird zunehmend im Alltag eingesetzt. Im »Competence-Center for the Assessment of Products with Ultraviolet Sterilization – CAmPUS UV-C« wurden die Kompetenzen der drei Fraunhofer-Institute IGB, IBP und IPA im Bereich UV-C in einer Serviceplattform mit abgestimmten Angeboten zu Entwicklung, Prüfung und Beratung für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) vernetzt und ausgebaut.

Das Alleinstellungsmerkmal des »KMU akut«-Clusters ist die ganzheitliche Unterstützung von KMU von der ersten Produkt- oder Anwendungsidee über die Konzeption bis hin zur Realisierung und Testung neuer Systeme. Dabei macht das Cluster mit seiner gebündelten Expertise zu UV-C-Strahlung, Mikrobiologie und Materialcharakterisierung Fachwissen zugänglich, das aktuell am Markt nicht zu finden ist.

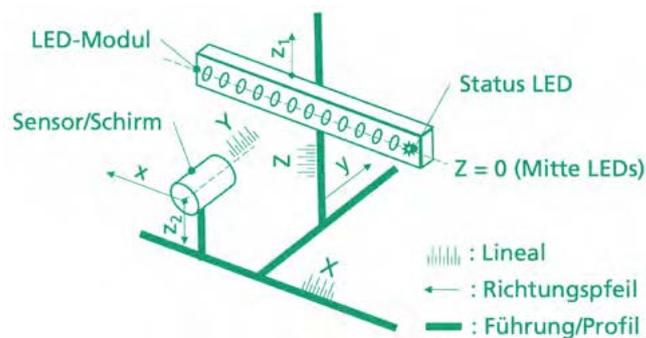
Am Fraunhofer IGB haben dafür das Innovationsfeld Funktionale Oberflächen und Materialien (Materialcharakterisierung und Strahlungsmessungen) und das Innovationsfeld Wassertechnologien und Wertstoffrückgewinnung (Mikrobiologie) in enger Zusammenarbeit verschiedene UV-C-Technologien physikalisch und hinsichtlich ihrer Entkeimungsleistung untersucht. Im Rahmen des Projekts wurden in gesonderten Phasen Marktanalysen und Voruntersuchungen durchgeführt, um die konkreten Bedarfe von KMU zu ermitteln.

### Kristallisationsphase: Anbahnung erster Projekte

In der Kristallisationsphase wurden konkrete Anwendungsfelder und das Leistungsangebot der Fraunhofer-Institute definiert und kommuniziert. Im Rahmen des Clusters konnten zu mehr als 20 KMU Kontakte aufgebaut und mit fünf KMU eigenständige Kristallisationsprojekte etabliert werden. Darauf aufbauend wurden Machbarkeitsstudien und Validierungsprojekte mit den Partnern durchgeführt, um Methoden und Werkzeuge zur Simulation und Evaluation mit entsprechendem Praxisbezug zu realisieren.

### Validierungsphase: Umsetzung der Projekte

In der Validierungsphase wurden die Kristallisationsprojekte in Fallstudien und verschiedenen Prüf- und Optimierungsverfahren umgesetzt. Als Beispiel wurde die Implementierung von UV-Technologien in einer Customer Journey »Supermarkt« herangezogen. Hier standen innovative UV-Technologien in einem völlig neuartigen Anwendungszweck zur Entkeimung an neuralgischen Stellen in einem Supermarkt, z. B. an den Kassenbezahl-systemen, im Fokus.



Schematischer Prüfaufbau von UV-LEDs mit geeichter UV-C-Messtechnik (Sensor).

### Machbarkeitsphase: Teststände zeigen Entkeimungseffektivität

In der letzten Phase des Projekts wurden nach validierten Entscheidungskriterien Einzelanwendungen ausgewählt, die in der Anwendung eines Supermarkts letztendlich validiert und wissenschaftlich begleitet wurden. So wurden am Fraunhofer IGB für Materialtestungen Funktionsprototypen von Testständen aufgebaut und vermessen, und Verfahren zur Bewertung der Bestrahlungseffektivität etabliert, die aber auch die Materialdegradation berücksichtigen. Zudem wurden verschiedene hygienische Beratungen angeboten und die biologische Wirksamkeit der UV-Entkeimung mit mikrobiologischen Methoden gezeigt. Anhand der Ergebnisse konnten Empfehlungen und Optimierungen der jeweiligen Technologien für die KMU ausgesprochen werden, um somit die Kundensicherheit, Leistung und Entkeimungseffektivität zu steigern.

► [www.igb.fraunhofer.de/campus-uvc](http://www.igb.fraunhofer.de/campus-uvc)

### Kontakt

**Dr. Jakob Barz**  
(Materialcharakterisierung  
und Strahlungsmessungen)  
Tel. +49 711 970-4114  
jakob.barz@igb.fraunhofer.de

**Bryan Lotz M. Sc.**  
(Mikrobiologie)  
Tel. +49 711 970-4217  
bryan.lotz@igb.fraunhofer.de

# Nachhaltige Chemie

---

Entwicklung, Skalierung und Optimierung von Verfahren zur Herstellung nachhaltiger Chemikalien, Kraftstoffe und Materialien aus biogenen Roh-/Reststoffen oder CO<sub>2</sub>



Steigende Umweltauflagen, internationale Wettbewerbsfähigkeit oder politische Entscheidungen sind Faktoren, die die chemische Industrie und ihre nachgelagerten Industriezweige zur ständigen Verbesserung ihrer Produktionsprozesse treiben. Das Geschäftsfeld »Nachhaltige Chemie« bietet Lösungen für eine ökonomische und gleichzeitig ökologischere Wirtschaftsweise nach dem Modell der Circular Economy. Kernziel sind energie- und stoffeffiziente Synthesen, ausgehend von nachwachsenden Rohstoffen, biogenen Reststoffen oder Kohlenstoffdioxid, gekoppelt mit intelligenten Lösungen zur Aufarbeitung der Produkte. Ergänzt um die bioinspirierte Herstellung neuer polymerer Materialien, der Funktionalisierung mittels unterschiedlicher Technologien und der werkstofflichen und biologischen Charakterisierung lassen sich komplette Wertschöpfungskreisläufe bis in den Pilotmaßstab demonstrieren.

#### Das Fraunhofer IGB ist aktiv in der Entwicklung von

- Verfahren zur Vorbehandlung und Fraktionierung von Rohstoffen,
- Verfahren der industriellen Biotechnologie zur selektiven Stoffumwandlung mit enzymatischen oder fermentativen Prozessen,
- chemokatalytischen, elektrochemischen und elektrobiokatalytischen Prozessen und deren Kopplung mit biotechnologischen Prozessen,
- Power-to-X-Verfahren zur Nutzung regenerativ erzeugter Redoxäquivalente für Syntheseprozesse,
- Membranen zur effizienten Gastrennung, z. B. zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -speicherung oder für katalytische Reaktionsverfahren (z. B. Syngas-Produktion) sowie
- maßgeschneiderten dünnen Schichten oder definierten Funktionen an Oberflächen.

Das Fraunhofer IGB begleitet die Transformation der Prozessindustrie, gerade im Industriezweig Chemie und liefert Beiträge zu allen vier Bereichen der Bioökonomie: Lebensmittel und Futtermittel, nachhaltige chemische Produkte und Bioenergie (siehe Geschäftsfeld Umwelt).

# Zielmärkte

---



Das Institut sieht sich als Partner für alle Industriezweige, die chemische Stoffe oder Polymere herstellen, verarbeiten oder anwenden sowie für Planungsbüros und den Maschinen- und Anlagenbau. Der Schwerpunkt liegt auf:

## **Fein- und Spezialchemikalien**

Generell bietet die industrielle Biotechnologie in diesem Segment Zugang zu vielen unterschiedlichen Stoffgruppen. Im Institut besteht eine seit Jahrzehnten aufgebaute Expertise zur Identifikation, Modifikation und Kultivierung von Mikroorganismen oder dem Einsatz von Enzymen, welche – gekoppelt mit dem Know-how und Technologien aus der Grenzflächenverfahrenstechnik – neue Produkte und Anwendungen ermöglichen. Beispiele hierzu sind oberflächenaktive Substanzen wie Tenside oder biobasierte Beschichtungssysteme. Spezielles Wissen ist ebenfalls für die Synthese und Charakterisierung von Stoffen und Materialien vorhanden, für die eine Wechselwirkung mit biologischen Systemen essenziell ist. Additive für die Landwirtschaft, etwa Pflanzenstärkungsmittel aus Mikroalgen, die das Zellwachstum von Agrarkulturen beeinflussen, sind hier ein gutes Beispiel.

## **Biopolymere und biobasierte Polymere**

Weitere Beispiele sind Biopolymere als Verpackungsmaterial für Lebensmittel oder im Bereich der Medizinprodukte (siehe Geschäftsfeld Gesundheit). Durch Beschichtungen oder besondere Funktionalitäten der biobasierten Monomere werden neue Eigenschaften erreicht. Dies zeigen vom Fraunhofer IGB entwickelte transparente Caramide aus Terpenen eindrucksvoll. Ausgehend von nachwachsenden Rohstoffen wie Zuckern, pflanzlichen und tierischen Lipiden

oder Chitin haben wir Synthesewege von Monomeren für die Kunststoffherstellung aufgezeigt, etwa von kurz- und langkettigen Dicarbonsäuren und Fettsäureepoxiden. Die fraktionierte Aufbereitung von pflanzlichen Roh- und Reststoffen ist eine weitere Möglichkeit, das Synthesepotenzial der Natur zu nutzen. Am Fraunhofer IGB werden diese Methoden (weiter-)entwickelt und im Bedarfsfall mit nachgeschalteten Konditionierungs- und Funktionalisierungsprozessen kombiniert.

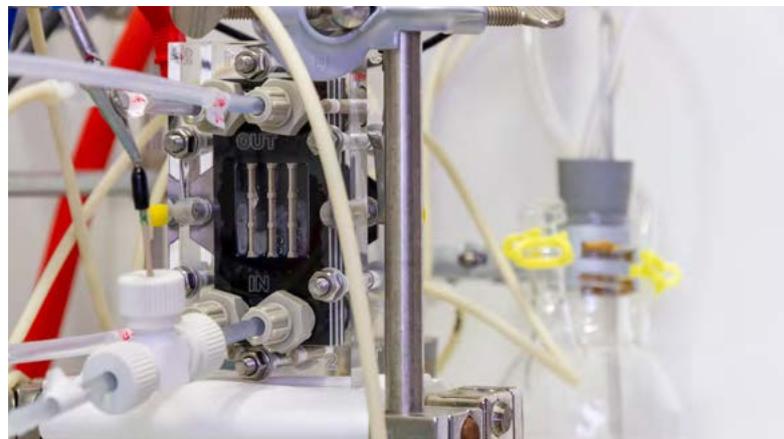
### Inhaltsstoffe für Lebens- und Futtermittel

Funktionelle Inhaltsstoffe aus Mikroorganismen, Mikroalgen oder über neue Aufarbeitungstechnologien aus (Koppel-)Produkten der Agrar- und Lebensmittelproduktion gewonnen, können aufgrund ihrer antioxidativen, immunstimulierenden oder antimikrobiellen Eigenschaften in Futtermitteln oder als Nahrungsergänzungsmittel eingesetzt werden. Hierzu entwickeln wir Kultivierungsverfahren sowie produktschonende Trennverfahren, beispielsweise zur Extraktion und Aufreinigung. Zudem erarbeiten wir neue physikalische Verfahren zur Stabilisierung und Konservierung empfindlicher Produkte wie Lebensmittel, Arzneistoffe oder pflanzlicher Extrakte.

### Technologien zur stofflichen Nutzung von CO<sub>2</sub>

Durch die Verfügbarkeit regenerativer Elektroenergie verschmelzen zukünftig die Sektoren Chemie und Energie immer stärker, da die für Syntheseprozesse auf Basis von CO<sub>2</sub> benötigten Redoxäquivalente in Power-to-X-Verfahren genutzt werden können. Entwicklungen zu elektrochemischen Katalysatoren, Elektrodenmaterialien und letztendlich ganzen Systemen finden am Institut ebenso statt wie die Kopplung dieser Technologien mit nachgeschalteten Syntheseverfahren. So lassen sich elegant komplexe Molekülstrukturen über biotechnologische Verfahren aus den elektrochemisch erzeugten C1-Derivaten Methanol, Ameisensäure oder Formaldehyd erzeugen. Im erfolgreich durchgeführten EU-Projekt Celbicon und dem laufenden Fraunhofer-Leitprojekt ShaPID konnten diese Ansätze zu dem am Institut definierten Power-to-X-to-Y-Konzept bereits erfolgreich demonstriert werden.

Die laufende Erweiterung des Hydrogen Lab Leuna um die Hy2Chem-Skalierungsplattform für Synthesen mit regenerativem Wasserstoff und deren Einbindung in das Fraunhofer CBP ermöglichen zukünftig auch in diesem Bereich Technologieentwicklungen bis in den Demonstrationsmaßstab.



### Kontakt

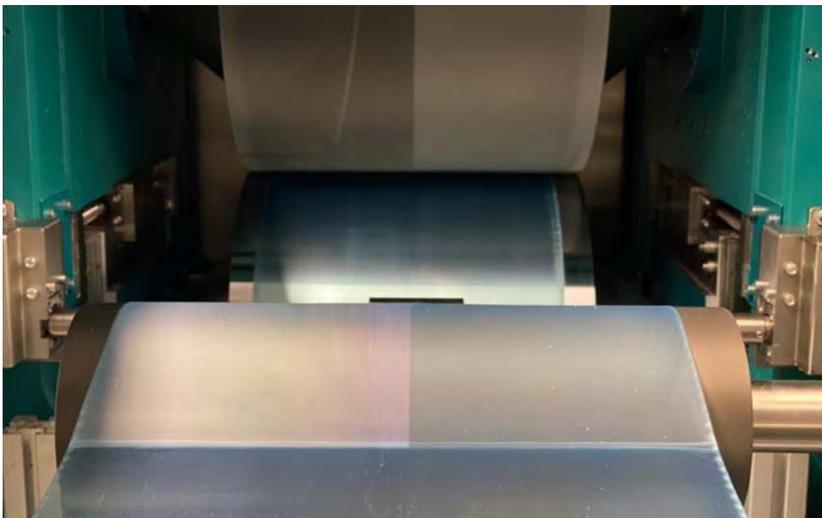
Dr. Gerd Unkelbach  
Tel. +49 3461 43-9101  
gerd.unkelbach@  
igb.fraunhofer.de

► [www.igb.fraunhofer.de/nachhaltige-chemie](http://www.igb.fraunhofer.de/nachhaltige-chemie)

### Selbstklebende Folien für das umweltfreundliche Anti-Icing von Flugzeugen

Die Vereisung von Oberflächen stellt in vielen Anwendungsbereichen ein erhebliches Problem dar. So müssen bei Minusgraden und in Kombination mit Schneefall oder Niederschlag zugefrorene Tragflächen von Flugzeugen und die beweglichen Teile eines Hubschraubers vor dem Start mit Enteisungsmitteln aufwendig enteist werden. Der Grund: Eis auf den Flügeln stört die Aerodynamik – die für den Auftrieb notwendige laminare Strömung könnte abreißen. Darüber hinaus ist das Gewicht des Eises eine weitere Gefahr für den Flugbetrieb. Die standardmäßige Enteisung von Passagier- und Transportflugzeugen sowie Hubschraubern in den Wintermonaten ist jedoch nicht nur mit einem erheblichen Einsatz von umweltschädlichen Chemikalien verbunden, sondern verschlechtert zusätzlich den CO<sub>2</sub>-Footprint von Flugreisen.

*Strukturierung von PU-Folie als Bahnware im Rolle-zu-Rolle-Prozess.*



Während des Flugs erfolgt eine aktive Enteisung, indem die Tragflächen mit darin einlamierten Widerstandsheizungen geheizt werden oder heiße Triebwerksabluft auf die Flügelvorderkanten umgeleitet wird (Bleed-Air-Technik). Kostspieliger und klimaschädlicher Effekt: Der Kraftstoffverbrauch kann um bis zu 30 Prozent steigen. Die ideale Lösung für das Vereisungsproblem ist ein wasserabweisendes Material, worauf sich Eis nur langsam bildet und die Eis-Adhäsionskraft zwischen dem Eis und der Oberfläche gering ist.

#### Kontakt

Dr.-Ing. Georg Umlauf  
Tel. +49 711 970-4142  
georg.umlau@  
igb.fraunhofer.de

### Neue passive Anti-Icing-Ausrüstung

Im Innovationsfeld Funktionale Oberflächen und Materialien wird im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Projekts InTEnt-H eine passive Anti-Icing-Ausrüstung entwickelt. Durch eine einzigartige und ressourcenschonende Anti-Icing-Beschichtung auf selbstklebenden, transparenten sowie erosionsstabilen PU-Folien können erhebliche Kosten eingespart und die Effizienz von aktiven Enteisungssystemen signifikant gesteigert werden.

Darüber hinaus sind wir nun in der Lage, in zwei getrennten Rolle-zu-Rolle-Prozessen wasser- und eisabweisende Schichten mittels Niederdruckplasma (Druck  $p < 1$  mbar) in Kombination mit einer Mikrostruktur zu erzeugen, auf der Wasser auch bei Temperaturen unter 0°C längere Zeit flüssig bleibt und sich im Idealfall erst gar kein Eis bildet. Die strukturierten Schichten bieten dem gefrierenden Wasser wenig Kristallisationskeime auf der Oberfläche und es verbleibt in einem »stark unterkühlten« (super cooled) Zustand. Selbst wenn das Wasser gefriert, vermindert diese Art von Anti-Icing-Ausrüstung die Haftung von Eis gegenüber der unbeschichteten Oberfläche. Im Vergleich zu einer Referenzoberfläche konnten wir bei der entwickelten Folie eine Senkung des Gefrierpunkts um 6 Kelvin und eine Reduzierung der Eisanhaftung um 90 Prozent erreichen.

#### Ausblick

Damit wir dem Umweltgedanken noch stärker Rechnung tragen können, forschen wir aktuell vertieft an silikonartigen Beschichtungen mit gleichbleibenden wasser- und eisabweisenden Eigenschaften. Zudem wollen wir das Materialportfolio der einsetzbaren Folien schrittweise erweitern. Durch die erhöhten Variationsmöglichkeiten der zwei getrennten Rolle-zu-Rolle-Prozesse für Strukturierung und Beschichtung sind wir in der Lage, individuell größere Mengen an Bahnwaren im Vergleich zu einem Batch-Prozess herzustellen. Dank der Verfahrensoptimierung ist es nun möglich, die Anti-Icing-Ausrüstung schnell und gezielt auf spezifische Anforderungsprofile anzupassen.

► [www.igb.fraunhofer.de/intent-h](http://www.igb.fraunhofer.de/intent-h)

## Bioorganische Chemie – Das Beste aus Bio- und Chemokatalyse

Morgens schnell die Feuchtigkeitscreme aufgetragen, den frisch gewaschenen Pullover übergestreift und noch eben eine Tablette gegen die hartnäckige Erkältung genommen – ab auf die Arbeit. Allein diese fünf Minuten vor Verlassen des Hauses verdeutlichen, wie sehr Produkte der chemischen Industrie den Alltag unserer modernen Gesellschaft bestimmen.

In Zeiten des Rohstoffwandels die Produkte von morgen zu entwickeln, hat sich das Straubinger Innovationsfeld Bioinspirierte Chemie auf die Fahnen geschrieben, in dem auch das Themenfeld der Bioorganischen Chemie angesiedelt ist.

### Vorbild Natur

Die Idee hinter beiden Ansätzen – der bioinspirierten und bioorganischen Chemie – ist die gesteuerte Nutzung exklusiv in der Natur vorkommender molekularer Funktionalitäten für neue Syntheserouten zu innovativen grünen Fein- und Spezialchemikalien, Funktionsmaterialien sowie biobasierten Polymeren (Abb.).

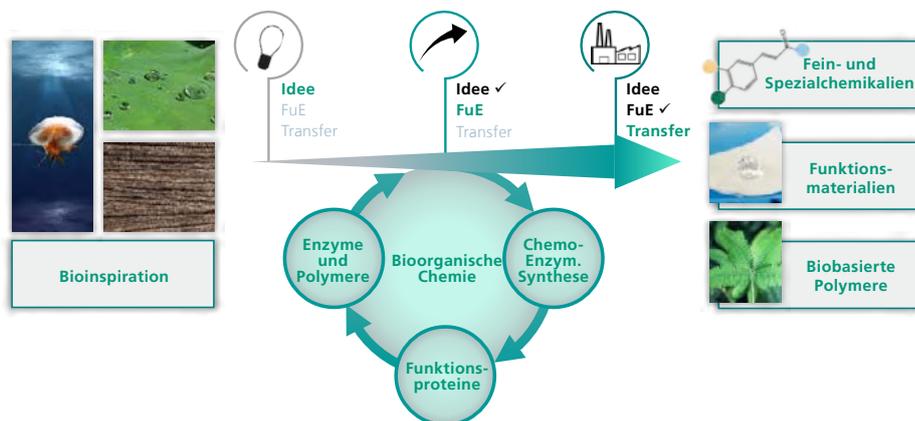
konnten wir beispielsweise ein Screening-Verfahren für Methyltransferasen etablieren, eine Enzymklasse, welche z. B. im Bereich Wirkstoffsynthese eine wichtige Rolle spielen kann. Das Verfahren ermöglichte uns, bislang unbekannte Enzymaktivitäten für verschiedene Substrate aufzudecken.

### Funktionsmaterialien mit naturgegebenen Eigenschaften

Im Bereich der Funktionsmaterialien kommen sowohl Biomasse(reststoffe) als auch gezielt hergestellte Proteine mit spezifischen Eigenschaften als Ausgangsmaterialien in Frage. Hier ist unser Ziel, die im natürlichen Ausgangsstoff vorhandenen funktionalen Eigenschaften (Information) zu erhalten und in das Endprodukt zu übertragen. Das ermöglicht uns, völlig neuartige Materialien zu entwickeln oder auch Oberflächen gezielt zu modifizieren. Für wasserabweisende Textilien konnten wir beispielsweise erfolgreich hydrophobe Proteine einsetzen.

### Zurück zur Natur – Kreislaufgedanke

Neben diesen bereits laufenden Aktivitäten werden wir uns zukünftig auch mit der Kreislaufwirtschaft im Bereich von (biobasierten)



*Bioinspiration als Quelle für neue Syntheserouten und Materialien im Bereich der Bioorganischen Chemie.*

### Enzyme – Natürliche Katalysatoren für Fein- und Spezialchemikalien

Neben klassischen chemo-enzymatischen Synthesen beschäftigen wir uns auch mit der Suche nach neuen Enzymaktivitäten. So können wir bekannte Enzyme durch Enzyme mit verbesserten Eigenschaften ersetzen und damit Synthesen optimieren, aber auch völlig neue Enzymaktivitäten identifizieren und neue Syntheserouten und -produkte ableiten. So

Polymeren beschäftigen. Ein Ansatz stellt dabei das Enzymscreening für den Abbau von (biobasierten) Polymeren dar. Langfristig könnten somit Monomere oder Oligomere in hoher Reinheit für die abermalige Polymerisation bereitgestellt werden.

► [www.igb.fraunhofer.de/bioorganische-chemie](http://www.igb.fraunhofer.de/bioorganische-chemie)

### Kontakt

**Dr. Steffen Roth**  
Tel. +49 9421 9380-1019  
steffen.roth@  
igb.fraunhofer.de

## Neuartige elektrobiokatalytische CO<sub>2</sub>-Reduktion zur Synthese von Feinchemikalien

Die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff für die Synthese ist auch in der chemischen Industrie im Rahmen der Entwicklung klima- und ressourceneffizienter Innovationen von großer Bedeutung. Neben nachwachsenden Rohstoffen spielt CO<sub>2</sub> zukünftig auch deshalb eine wichtige Rolle, da das Treibhausgas mit Strom aus erneuerbarer Energie nutzbar gemacht werden kann.

### links:

In der »Glovebox« untersuchen die Forschenden die Funktionalität von Enzymen elektrochemisch unter Ausschluss von Luft. Die anhand des gemessenen Stromflusses berechnete Enzymkinetik gibt Aufschluss darüber, welche Enzyme für den eBioCO<sub>2</sub>n-Prozess am besten geeignet sind.

### rechts:

Die für die CO<sub>2</sub>-Fixierung benötigten Enzyme werden biotechnologisch hergestellt und mittels FPLC für den Einsatz im redoxaktiven Hydrogel gereinigt.

Dazu entwickelt das Innovationsfeld Bioinspirierte Chemie mit einem hochinterdisziplinären Forschungsteam in dem im Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprogramm geförderten Projekt eBioCO<sub>2</sub>n einen neuartigen modularen elektrobiokatalytischen Prozess. Der Prozess erlaubt es, CO<sub>2</sub> strombasiert und unter sehr milden Reaktionsbedingungen an ein Substrat zu fixieren und in fein aufeinander abgestimmten Enzymkaskaden zur Herstellung wertvoller Feinchemikalien zu nutzen.

### Hydrogel für Elektronentransport zu CO<sub>2</sub>-fixierendem Enzym

Für die biokatalytische CO<sub>2</sub>-Fixierung kommen spezielle, am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg in der Gruppe von Prof. Tobias Erb entwickelte Redoxenzyme

zum Einsatz, sogenannte Enoyl-CoA-Carboxylasen/Reduktasen. Diese binden CO<sub>2</sub> über eine reduktive Carboxylierung an ein Substrat und wandeln es somit in ein wertvolles Intermediat um. Die Enzyme gehören zu den effizientesten CO<sub>2</sub>-umwandelnden Biokatalysatoren, die bisher beschrieben wurden.

Für den effizienten und kontinuierlichen Transfer der Elektronen, die der regenerative Strom liefern kann, werden die CO<sub>2</sub>-fixierenden Enzyme in einem maßgeschneiderten redoxaktiven Hydrogel auf Viologenbasis auf Elektroden immobilisiert. Die Grundlagen hierfür wurden an der Technischen Universität München (TUM) am Lehrstuhl von Prof. Nicolas Plumeré entwickelt und sichern den Elektronenfluss in einem dreidimensionalen Raum. Auf diese Weise können große Mengen an Enzymen eingesetzt werden, sodass eine hohe Produktausbeute erreichbar ist.

### Regeneration des Cofaktors

Damit die reduktive Carboxylierungsreaktion abläuft, benötigt das Enzym Enoyl-CoA-Carboxylase/Reduktase NADPH als Cofaktor. Dieses kleine organische Molekül fungiert als Protonen- bzw. Elektronendonator und wird im Lauf jeder einzelnen Reaktion verbraucht. Die Cofaktoren für eine synthetische Reaktion neu bereitzustellen, wäre in größerem Maßstab sehr teuer und damit unwirtschaftlich. Um die Cofaktor-Moleküle ebenfalls mithilfe



von Strom und nach dem gleichen Reaktionsprinzip zu regenerieren und damit für einen neuen Reaktionszyklus bereitzustellen, wurde im Projekt daher ein weiteres Enzym als Recycling-Modul im Redox-Hydrogel immobilisiert.

### Demonstration: CO<sub>2</sub>-Einbau in Crotonyl-CoA

Mit dem neuartigen Ansatz zur CO<sub>2</sub>-Reduktion, der Technologien der Bioelektrokatalyse, Materialchemie und der synthetischen Biologie vereint, konnte die Machbarkeit des Prozesses im Milliliter-Maßstab gezeigt werden. Der Ansatz ermöglichte den regio- und stereoselektiven Einbau von CO<sub>2</sub> in Crotonyl-CoA und lieferte das bisher komplexeste Produkt, das in der bioelektrokatalytischen CO<sub>2</sub>-Konversion bekannt ist. Die Untersuchungen wurden 2021 in der Fachzeitschrift Angewandte Chemie publiziert und als »Hot Paper« eingestuft.

### Modulare Plattformtechnologie

Das elektrobiokatalytische Reaktionssystem ist modulartig erweiterbar und damit als Plattformtechnologie zu sehen. Aus bioinformatischen Datenbanken können je nach Zielmolekül (Syntheseprodukt) passende Enzyme ausgewählt, biotechnologisch hergestellt und in die Hydrogele eingebaut werden. Das eBioCO<sub>2</sub>n-Modul ermöglicht damit die Herstellung verschiedener bio-basierter Feinchemikalien, die über spezifische



Enzymkaskaden nach Bedarf diversifiziert werden können. Dies birgt für Unternehmen der Pharmaindustrie, Agrochemie oder Lebensmittelindustrie großes Potenzial.

### Ausblick

In den nächsten Schritten sollen die Skalierung und modulare Erweiterung des Prozesses erfolgen. Die chemische Synthese auf Basis biokatalytischer CO<sub>2</sub>-Fixierung ermöglicht durch Entkopplung chemischer Syntheseprozesse von fossilen Rohstoffen Zugang zu einer neuen Form der Kreislaufwirtschaft.

*Das Enzym für die Regeneration des Cofaktors wird zusammen mit den Enzymen für die CO<sub>2</sub>-Fixierung im Redox-Hydrogel auf der Elektrode fixiert.*



### Kontakt

Dr. Michael Richter  
Tel. +49 9421 9380-1020  
michael.richter@  
igb.fraunhofer.de

► [www.igb.fraunhofer.de/lebioco2n](http://www.igb.fraunhofer.de/lebioco2n)

## Polymere aus biobasierten Furanooaten als Ersatz für PET

Polyethylenterephthalat (PET) ist ein fossil-basierter Kunststoff, der in großen Mengen zur Herstellung von Verpackungsmaterialien, beispielsweise Getränkeflaschen, wie auch für die Produktion von Fasern eingesetzt wird. Im Projekt »PFIFF – Polymere Fasern aus biobasierten Furanooaten« wurden land- und forstwirtschaftliche Abfälle für die Entwicklung von biobasierten Polyestern als Ersatz von PET erschlossen.

hergestellte Furandicarbonsäure (FDCA), der Monomereinheit zur Produktion von PEF. Weitere Aufgaben im Projekt PFIFF waren die Verbesserung der Polymereigenschaften von PEF sowie die Entwicklung von Anwendungsmöglichkeiten für das Polymer und eine Steigerung der Produktion mit dem anspruchsvollen Ziel, einen der dominierenden Kunststoffe (PET) am Weltmarkt zu ersetzen.

Der Straubinger Institutsteil BioCat des Fraunhofer IGB hat in dem Projekt an zwei für die zukünftige industrielle Produktion



Polyethylenfuranooat (PEF): Biobasierte nachhaltige Verpackungslösungen.

### Hervorragende Eigenschaften des Polyesters PEF

Das Polykondensat der 2,5-Furandicarbonsäure (Polyethylenfuranooat, PEF) ist durch seinen im Vergleich zu PET niedrigeren Schmelzpunkt einfacher zu handhaben und wird aufgrund seiner höheren Glasübergangstemperatur für spezielle Anwendungen bevorzugt. PEF hat außerdem überragende Barriereigenschaften gegenüber Gasen und ist somit prädestiniert für einen Einsatz in der Getränkeindustrie. Seine im Vergleich zu PET höhere mechanische Stabilität führt dazu, dass Verpackungen mit geringeren Wandstärken hergestellt und damit Material eingespart werden kann. Die Möglichkeit, landwirtschaftliche Abfälle als Rohmaterial für die Herstellung dieser biobasierten Polymere einzusetzen, wird die Produktionskosten beachtlich senken und so zu einem im Vergleich zu PET preisgünstigeren Verpackungsmaterial führen.

### Neue Rohstoffplattformen für PEF

Der Fokus des Projekts PFIFF lag in der Entwicklung neuer Rohstoffplattformen für das aus Zuckern (Fructose) herstellbare und als zukünftige neue biobasierte Plattformchemikalie angesehene 5-Hydroxymethylfurfural (5-HMF) sowie für die daraus

von PEF entscheidenden Themen gearbeitet: der Synthese von FDCA und der Entwicklung eines Verfahrens zur Aufreinigung dieser Verbindung bis zu einer für die Herstellung von hochwertigen Polymeren ausreichenden Qualität.

Einer der Arbeitsschwerpunkte von BioCat ist die elektrochemische Synthese. Mit diesem Know-how ist es den Mitarbeitenden des Institutsteils gelungen, ein vielversprechendes Verfahren für die Oxidation von 5-HMF zur FDCA zu entwickeln. Auch die Arbeiten zur Reinigung von FDCA waren sehr erfolgreich. Mit der bei BioCat aufgereinigten, kommerziell verfügbaren FDCA konnten die Projektpartner vielversprechende Polymere für die geplanten Anwendungen herstellen.

Aktuell arbeiten die Forschenden im Folgeprojekt PFIFFIG an einem Reinigungsverfahren der zweiten Generation. Dieses soll im Laufe des Projekts in die Pilotanlagen am Fraunhofer CBP übertragen werden, um die Belieferung der Projektpartner mit größeren Mengen gereinigter FDCA zu ermöglichen.

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

### Kontakt

Dr. Luciana Vieira  
Tel. +49 9421 9380-1032  
luciana.vieira@  
igb.fraunhofer.de

Dr. Harald Strittmatter  
Tel. +49 9421 9380-1001  
harald.strittmatter@  
igb.fraunhofer.de

## Flexibler Aufschluss von Lignocellulose

Lignocellulose stellt einen großen Anteil der nachwachsenden Rohstoffe auf der Erde dar. Die vollständige Nutzung von Lignocellulose als Rohstoff für die Bioökonomie erfordert effiziente und flexible Verfahren der Fraktionierung in die Bestandteile Cellulose, Hemicellulose und Lignin. Im BBI-EU-Projekt UNRAVEL wurde der neuartige FABIOLA™-Organosolvaufschluss von Lignocellulose erstmalig pilotiert. Dabei kommt Aceton als Lösemittel zum Einsatz. Im Vergleich zu Ethanol kann dadurch bei mildereren Temperaturen gearbeitet werden und der Energieaufwand für die Lösemittlrückgewinnung ist reduziert.

### Erfolgreiches Scale-up des flexiblen Verfahrens

Das Scale-up des Konzepts erfolgte an der einzigartigen integrierten Pilotanlage am Fraunhofer CBP. Durch die Integration eines Vorextraktionsschrittes konnten auch komplexe Roh- und Reststoffe wie Birkenholz mit Ästen und Rinde oder Weizenstroh eingesetzt werden. Auch ein Mix dieser Rohstoffe wurde erfolgreich prozessiert. Damit konnten wir die Flexibilität des Verfahrens demonstrieren, die einen wesentlichen Vorteil für eine industrielle Umsetzung darstellt.

### Aufarbeitung und Nutzung aller drei Fraktionen

Zur Fällung von Lignin aus der Aufschlusslösung wurde das gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme patentierte Verfahren zur kontinuierlichen Fällung durch Verdampfung des Lösemittels erfolgreich auf den Aceton-Prozess übertragen. Nach enzymatischer Hydrolyse der Cellulose konnte die Fermentation der entstandenen Glucose zu Aceton erfolgreich im 100-Liter-Maßstab demonstriert werden. Die Hemicellulose wurde zu Xylonsäure fermentiert. Das Lignin wurde von den Projektpartnern CNRS und Soprema für Anwendungen in Polyurethanschäumen und Bitumen erprobt.



### Ausblick

Die Demonstration des FABIOLA™-Prozesses in der Pilotanlage lieferte vielversprechende Ergebnisse. Bei einer erfolgreichen technoökonomischen Bewertung und Lebenszyklusanalyse des Konzepts im Projekt sind die Weichen für eine industrielle Umsetzung gestellt.

*oben links:  
Birke als Rohstoff zum Einsatz  
in der Pilotanlage.*

*oben rechts:  
Gewonnenes Lignin auf der  
Filterpresse.*

*unten:  
Hemicellulose-Filtrat nach  
Ligninfällung.*

### Kontakt

Dr.-Ing. Marlen Verges  
Tel. +49 3461 43-9129  
marlen.verges@  
igb.fraunhofer.de

► [www.cbp.fraunhofer.de/unravel](http://www.cbp.fraunhofer.de/unravel)

### »Transnational Access« hilft KMU in der industriellen Biotechnologie

IBISBA 1.0 ist ein im EU-Rahmenprogramm H2020 gefördertes Projekt mit dem Ziel, Forschungseinrichtungen aus ganz Europa zu vernetzen, um Innovationsdienstleistungen im Bereich der industriellen Biotechnologie anzubieten und die Umsetzung der biowissenschaftlichen Forschung in industrielle Anwendungen zu beschleunigen.

#### IBISBA 1.0 – Accelerator für Innovationen in der industriellen Biotechnologie

Über IBISBA war es Forschenden, KMU und großen Unternehmen möglich, subventionierten Zugang zu den spezialisierten Forschungsstrukturen und -einrichtungen des IBISBA-Netzwerks zu erhalten. Regelmäßig wurden insgesamt fünf Aufrufe zu sogenannten Transnational Access Projekten (TNA) veröffentlicht, auf welche sich Forschende aus dem öffentlichen und privaten Sektor bewerben konnten.

Das Fraunhofer IGB ist mit seinen Arbeitsgruppen »Bioprozessentwicklung« und »Bioprozess-Skalierung« im Innovationsfeld Industrielle Biotechnologie an insgesamt vier TNA-Projekten beteiligt.

#### Scale-up der Herstellung mikrobieller Proteine für Calidris Bio

Im letzten Jahr konnte in Zusammenarbeit mit dem in der Futter- und Lebensmittelbranche tätigen belgischen Start-up-Unternehmen Calidris Bio das erste TNA-Projekt erfolgreich abgeschlossen werden. Hierbei haben wir einen Fermentationsprozess zur Herstellung mikrobieller Proteine optimiert und bis in den 1-m<sup>3</sup>-Maßstab skaliert. Dies erlaubte die Bereitstellung relevanter Daten und Mengen am Fraunhofer CBP für eine Prozessbewertung und Produkttests.

Calidris Bio setzt Mikroorganismen ein, die verfügbare Substrate in Biomasse mit hohem Proteingehalt umwandeln können. Das daraus resultierende mikrobielle Protein ist reich an essenziellen Aminosäuren, Vitaminen, Präbiotika und speziellen Fettsäuren mit maßgeschneiderter Zusammensetzung und eignet sich für eine Anwendung als Futtermittel für Vieh, Aquakultur und Haustiere. Gemeinsam mit dem Fraunhofer IGB gelang Calidris Bio ein erster Schritt in Richtung Kommerzialisierung ihres Verfahrens.

► [www.cbp.fraunhofer.de/libisba](http://www.cbp.fraunhofer.de/libisba)

#### Kontakt

Dr.-Ing. Katja Patzsch  
Tel. +49 3461 43-9104  
katja.patzsch@  
igb.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Susanne Zibek  
Tel. +49 711 970-4167  
susanne.zibek@  
igb.fraunhofer.de

*Am Fraunhofer CBP wurde das Fermentationsverfahren für das belgische KMU Calidris Bio skaliert, um relevante Mengen des gewünschten Proteins herzustellen.*



## Multifunktionales Beschichtungssystem auf der Basis pflanzenölbasierter kationischer Tenside

Beschichtungssysteme auf Basis von Bitumen dichten beispielsweise Rohre und Tanks ab. Als petrochemische Werkstoffe haben diese jedoch eine schlechte Ökobilanz und enthalten biologisch nicht abbaubare Tenside. Im Forschungsprojekt BeStKat wurden erstmals partiell biogene Beschichtungssysteme für solche Einsatzzwecke entwickelt. Dabei kommen Pflanzenöle und funktionalisiertes Lignin zum Einsatz. Im Ergebnis soll nicht nur eine höhere Umweltverträglichkeit, sondern auch ein breiteres Eigenschaftsprofil sowie eine optimierte Verarbeitbarkeit des Beschichtungssystems erreicht werden.

### Neue biogene kationische Tenside

Das Fraunhofer CBP hat in diesem Zusammenhang eine neue Synthese von biogenen kationischen Tensiden etabliert, bei welcher eine kationische Gruppe in eher unpolarem epoxidiertem Ölsäuremethylester durch die Reaktion mit Betain eingebracht wird. Zur Bestätigung der tensidischen Eigenschaften wurde das neue Molekül mittels Kontaktwinkelmessung untersucht.

Um den biogenen Charakter des Beschichtungssystems weiter zu erhöhen, sollte Lignin beigemischt werden. Damit eine bessere Einbindung gelingt, wurde das Lignin chemisch mit Carboxylgruppen funktionalisiert. Dabei stieg der Carboxylgruppen-Gehalt durch Oxidation nachweislich von 1 auf 2 mmol/g Lignin.

### Säure- und laugestabile Beschichtungen mit hervorragenden Eigenschaften

Das Fraunhofer IMWS hat verschiedenste Beschichtungssysteme in Demonstratoren verarbeitet und geprüft (Abb.). Ergebnis sind ligninhaltige Beschichtungen, die im Vergleich zur Referenzbeschichtung gegen Säuren sowie Laugen stabiler sind. Bei Witterung zeigte die Referenzbeschichtung bei Oberflächentemperaturen bis zu circa 40 °C ein Abtropfverhalten, wohingegen die Beschichtungen mit Lignin stabil blieben. Dies weist auf eine Einbindung des Lignins in die Bitumenemulsionen hin, wodurch ein Abtropfen verhindert wird. Weiterhin wurde der hydrophile



Charakter der Beschichtungsemulsion durch die Zugabe von Lignin erhöht. Dies erleichtert das Verarbeiten und verbessert die Benetzung von Oberflächen.

*Beschichtete Metallproben  
(0–20 Prozent Ligninanteil).*

### Ausblick

Insgesamt zeigte das neue Beschichtungssystem bessere physikalische und chemische Eigenschaften als das herkömmliche System. Nach der Aufstellung der Ökobilanz wird abschließend die Möglichkeit einer Skalierung bei dem Projektpartner beurteilt und untersucht. Das Beschichtungssystem könnte dann für Anwendungen in der Beschichtung von Wärmespeichertanks und Rohren oder für abriebfeste Beschichtungen von Transportbändern genutzt werden. Auch weitere Anwendungen im Energiesektor, dem Maschinen- und Gerätebau sowie der Verkehrstechnik sind möglich.

### Kontakt

Dr. Kerstin Thiele  
Tel. +49 3461 43-9127  
kerstin.thiele@  
igb.fraunhofer.de

► [www.cbp.fraunhofer.de/bestkat](http://www.cbp.fraunhofer.de/bestkat)

## Innovationsallianz Funktions-optimierte Biotenside Phase 2

Mit der Innovationsallianz Biotenside haben sich erstmals in Deutschland renommierte Firmen und Forschungseinrichtungen in einer strategischen Allianz zusammengeschlossen, um nachhaltige und skalierbar herstellbare Alternativen zu chemisch synthetisierten Tensiden zu finden, die bislang aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden. Dafür erforschen und entwickeln wir in der Allianz die prozesstechnische Herstellung von Biotensiden mit biotechnologischen Methoden ausgehend von heimischen nachwachsenden Roh- und Reststoffen und untersuchen systematisch deren Anwendungspotenziale – etwa als Bestandteile von Wasch- und Reinigungsmitteln, in der Kosmetik, Bioremediation, Pflanzenschutz und Lebensmittel.

*Versandfertige Muster-mengen unterschiedlicher Cellobiose- und Mannosylerythritollipid-Varianten.*



### Umfassende Charakterisierung von Biotensiden

Während der ersten Förderphase (2018–2020) wurden die Bereitstellung regional verfügbarer zucker-, fett- und ölhaltiger Rohstoffe betrachtet, verschiedenste Mikroorganismen zur Herstellung unterschiedlicher Biotensidklassen untersucht und vielversprechende Kandidaten für eine anschließende Prozessentwicklung im Labormaßstab ausgewählt und anwendungstechnisch untersucht.

### Fokus auf Prozesstechnik und Skalierung

In der zweiten Projektphase (2021–2024) nimmt die Umsetzung der Maßstabsübertragung einen größeren Stellenwert ein. Hier sollen die Fermentations- und Aufarbeitungsprozesse hinsichtlich robuster, regel- und steuerbarer Prozesse und vereinfachter Aufarbeitungsmethoden weiterentwickelt werden, um eine schrittweise Skalierung in die nächsten Größenordnungen zu ermöglichen.

Betrachtet man die Aufreinigungsstrecke, so stellt eine aufwendige Aufarbeitung oft den größten Kostentreiber dar. Hier gilt es, vorhandene und innovative Technologien zu untersuchen, zu verknüpfen und zu optimieren, sodass die Anzahl der Schritte für die Aufarbeitung der Biotenside minimiert wird. Dieser ganzheitlichen prozesstechnischen Risiko- und Kostenminimierung widmen sich die Partner in der zweiten Projektphase.

Durch die Bereitstellung größerer Mengen werden in der zweiten Phase noch offene Fragen zu den Performanceprofilen einzelner Anwendungsbereiche im Detail beantwortet. Dies ist nur mit größeren Mustermengen ab dem 100-Gramm-Maßstab möglich, was mit einer Hochskalierung des Fermentationsmaßstabs einhergeht.

### Überprüfung sicherheitsrelevanter Eigenschaften

Darüber hinaus werden Untersuchungen zur Überprüfung des Sicherheitsprofils für Umwelt und Mensch notwendig. In der zweiten Projektphase werden daher Gefährdungsanalysen durchgeführt und Sicherheitsdatenblätter erstellt, um notwendige Untersuchungen für individuelle Biotenside in den spezifischen Anwendungsbereichen zu identifizieren. Dies ist notwendig, da sich die Kriterien (Regularien, Richtlinien) je nach Anwendungsgebiet, ob beispielsweise für den Einsatz in Kosmetika, Lebensmitteln oder Reinigungsmitteln, grundlegend unterscheiden können.

► [www.igb.fraunhofer.de/allianz-biotenside-phase2](http://www.igb.fraunhofer.de/allianz-biotenside-phase2)



### Kontakt

Dr.-Ing. Susanne Zibek  
Tel. +49 711 970-4167  
susanne.zibek@  
igb.fraunhofer.de

## Pilotierung biotechnologischer Produktionsprozesse für die Industrie

Die industrielle Biotechnologie ist eine Schlüsseltechnologie für die Entwicklung einer nachhaltigen chemischen Industrie und insbesondere für die Bioökonomie. Während akademische Forschungslaboratorien weit verbreitet sind, findet man Pilotanlagen noch selten. Dabei sind sie dringend notwendig, insbesondere für kleinere Unternehmen, um Innovationen für die Kommerzialisierung neuer Produkte vorzubereiten. Neben der technischen Weiterentwicklung biotechnologischer Verfahren kommen vor allem der Bereitstellung größerer Materialmengen für die Anwendungsforschung sowie Prozessdaten für wirtschaftliche und andere Studien zur Machbarkeit eines Herstellungsverfahrens eine besondere Bedeutung zu.

## Fraunhofer CBP – Partner für die Optimierung und Skalierung biotechnologischer Prozesse

Aus diesem Grund sind wir sehr stolz darauf, dass die Arbeitsgruppe Bioprozess-Skalierung am Fraunhofer CBP in Leuna im Jahr 2021 neben der Beteiligung an öffentlich geförderten und internen Projekten 13 Industriepartner bei der Umsetzung ihrer Vorhaben unterstützen konnte. Die beauftragten Arbeiten bezogen sich auf die Skalierung oder Optimierung von Fermentationsprozessen, aber auch auf Untersuchungen zur Skalierung von Aufarbeitungsprozessen. In diesem Rahmen wurden insgesamt 37 Fermentationen im Auftrag von Kunden durchgeführt, davon sieben im 1000-Liter-Maßstab und fünf im 10 000-Liter-Maßstab.

## Breites Produktportfolio, internationale Nachfrage

Die Projekte fanden im Auftrag verschiedener Industrien statt, z. B. in den Bereichen Werkstoffe und Kunststoffe, Lebensmittel und Nahrungsergänzungsmittel, Farbstoffe, Grund- und Massenchemikalien, sowie Tierfutter.

Besonders erfreulich ist, dass wir mit einem Anteil von 46 Prozent an Start-ups nicht nur national (33 Prozent), sondern auch international (67 Prozent) besonders junge und hoch innovative Unternehmen mit unseren Dienstleistungen unterstützen konnten. Im Allgemeinen umfasste unser Kundenstamm in 2021 Unternehmen aus neun Ländern auf den drei Kontinenten Europa, Asien (inkl. Nahost) und Nordamerika.

Einige unserer Projekte werden im Jahr 2022 fortgeführt, wir freuen uns auf die weiterhin enge Zusammenarbeit mit talentierten und begeisterten Unternehmerinnen und Unternehmern sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, aber auch auf neue Herausforderungen im Rahmen neuer Projekte am Horizont.

*Pilotierungsanlage für die industrielle Biotechnologie am CBP in Leuna.*



### Kontakt

Dr. Grzegorz Kubik  
Tel. +49 711 970-4102  
grzegorz.kubik@  
igb.fraunhofer.de

► [www.cbp.fraunhofer.de/biotechnologie](http://www.cbp.fraunhofer.de/biotechnologie)

## Erfolgreicher Projektabschluss: CO<sub>2</sub>-basierte Elektrosynthese von Ethylenoxid

Das internationale, vom Fraunhofer IGB koordinierte Projekt CO<sub>2</sub>EXIDE wurde 2021 erfolgreich abgeschlossen. Das Vorhaben wurde von der europäischen öffentlich-privaten Partnerschaft SPIRE (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency) im europäischen Rahmenprogramm für Forschung und Innovation Horizont 2020 gefördert. Das Hauptziel von CO<sub>2</sub>EXIDE bestand in der Entwicklung einer Prozesskaskade zur Synthese von grünem Ethylenoxid aus CO<sub>2</sub> und Wasser als einzigen Rohstoffen und durch die Nutzung erneuerbarer elektrischer Energie. Zum Konsortium gehörten zehn Partner aus sechs verschiedenen Ländern, darunter neben dem Fraunhofer IGB namhafte Industrieunternehmen (Siemens Energy und Schaeffler AG), kleine Unternehmen (Axiom AG und EPC) sowie renommierte Universitäten aus Krakau, Riga, Southampton und Budapest.



*Vorgeschlagener Reaktionsmechanismus der anodischen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Produktion in wässrigen Elektrolyten, die Carbonationen enthalten.*

### Neuartige Prozesskette zur Herstellung von grünem Ethylenoxid

Der CO<sub>2</sub>EXIDE-Prozess beginnt mit der Abscheidung von CO<sub>2</sub> in einer Biogasanlage in Bruck an der Leitha, Österreich. Nach einem membranbasierten Reinigungsschritt wird CO<sub>2</sub> durch elektrokatalytische Reduktion in Ethylen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) umgewandelt. In einer speziell entwickelten elektrochemischen Zelle wurde dieser Reduktionsprozess, der an der Kathode abläuft, mit der parallel an der Anode der Zelle erfolgenden Oxidation von Wasser zu Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) gekoppelt. Mittels einer eigens entwickelten Einheit zur Gas-separation gelang es, die Ethylenkonzentration im Gasproduktstrom, der die elektrochemische Zelle verlässt, drastisch zu erhöhen. Die beiden Produkte des elektrochemischen Prozessschritts, Ethylen und Wasserstoffperoxid, werden in einen sich anschließenden chemischen Reaktor geleitet und unter milden Bedingungen zum Zielprodukt Ethylenoxid umgewandelt.

### Entscheidender Schritt: Elektrochemische Oxidation von Wasser zu Wasserstoffperoxid

Neben der zentralen Rolle als Koordinator war das IGB für die Prozessentwicklung der

elektrochemischen Oxidation von Wasser zu Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) und deren Anwendung in der anschließenden katalytischen Epoxidierung von Ethylen zu Ethylenoxid verantwortlich. Die interdisziplinäre Prozessentwicklung und -integration dieser Art bildet eine Kernkompetenz des Innovationsfelds Nachhaltige katalytische Prozesse am IGB.

Wasserstoffperoxid ist ein »grünes« Oxidationsmittel, das in der chemischen Industrie weit verbreitet ist. Da bei seinem Abbau nur Sauerstoff und Wasser freigesetzt werden, gilt es als umweltfreundliche Chemikalie. In diesem Zusammenhang ist die elektrochemische H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Produktion, die auf Wasser, Luft und (erneuerbarer) elektrischer Energie als Input basiert, eine attraktive Alternative für dezentrale Anwendungen. Die Entwicklung der elektrochemischen Oxidation von Wasser zu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> stellte eine besonders anspruchsvolle Aufgabe im Projekt CO<sub>2</sub>EXIDE dar. Dennoch gelang es den Forschenden des Fraunhofer IGB, in einem elektrochemischen Durchflussreaktor mit einfachen und kostengünstigen Katalysatoren auf Kohlenstoffbasis Wasserstoffperoxid in bemerkenswert hohen Konzentrationen zu erzeugen. Durch die Variation des pH-Wertes von Carbonat-haltigen Elektrolytlösungen und die genaue Steuerung der Ionenaktivität der Carbonatspezies HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> und CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> konnte eine direkte Korrelation zwischen der Aktivität des Carbonat-Ions (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) und der H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Bildung aufgezeigt werden. Auf der Grundlage dieser Korrelation wurde ein zyklischer Reaktionsmechanismus für die anodische H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Bildung in wässrigen Medien vorgeschlagen, in dem die Oxidation von Carbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) zu Peroxodicarbonat (C<sub>2</sub>O<sub>6</sub><sup>2-</sup>) eine zentrale Rolle spielt (Abb.).

### Ausblick und Anwendungsperspektiven

Die elektrochemische H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Produktion aus Luft, Wasser und erneuerbarem Strom ist eine vielversprechende »grüne« Alternative für verschiedene Anwendungen, die eine flexible H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Bereitstellung vor Ort erfordern. Zu derartigen Anwendungen gehören die Wasseraufbereitung, die Verwendung als Desinfektions- und Bleichmittel und die maßgeschneiderte In-situ-Produktion von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> als Oxidationsmittel für enzymatische und chemische Prozesse.

► [www.igb.fraunhofer.de/co2exide](http://www.igb.fraunhofer.de/co2exide)



### Kontakt

Dr. Luciana Vieira  
Tel. +49 9421 9380-1032  
luciana.vieira@  
igb.fraunhofer.de

Dhananjai Pangotra M. Sc.  
Tel. +49 9421 9380-1104  
dhananjai.pangotra@  
igb.fraunhofer.de

## Geld verdienen mit Kohlenstoffdioxid?

Durch die am 1. Januar 2021 in Kraft getretene Inklusion von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Kraftstoffe in den Sektoren Wärme und Verkehr im nationalen Emissionshandel ist der Klimawandel auch finanziell zu spüren. Dabei gibt es von Seite der Industrie offene Fragen: Können die mit den CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten verbundenen Kosten für Unternehmen gesenkt werden? Kann der Ausstoß von CO<sub>2</sub> durch innovative und biointelligente Verfahren zur Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff reduziert und damit gleichzeitig Geld verdient werden?

### CO<sub>2</sub> – eine nahezu unbegrenzte »Ressource«?

Das Treibhausgas CO<sub>2</sub> liegt als nahezu unbegrenzte Ressource global in der Atmosphäre verteilt vor und kann aus Abgasströmen industrieller Verbrennungsprozesse gewonnen werden. Eine sicherere Rohstoffquelle, bezogen auf atmosphärisches CO<sub>2</sub>, kann aus Sicht eines produzierenden Unternehmens kaum existieren.

Die Technologie, atmosphärisches CO<sub>2</sub> aus der Luft zu filtern, existiert heute schon in Form von Luft-Wäschern, z. B. von der Schweizer Firma Climeworks. Durch die geringe CO<sub>2</sub>-Konzentration (0,04 Prozent) in der Luft kostet dieses Verfahren noch viel Energie und somit Geld.

Industrielle Abgasströme, wie beispielsweise in Zement- und Stahlwerken, weisen dagegen eine im Vergleich zur Atmosphäre vielfach höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration auf. Diese industriellen Quellen bieten die Möglichkeit, CO<sub>2</sub> nicht als Abfallprodukt, sondern als Zwischenprodukt in einer integrierten Wertschöpfungskette zu betrachten und zu nutzen: Aus dem problematischen Abfallprodukt des einen Prozesses wird der Rohstoff für eine erneute Wertschöpfung.

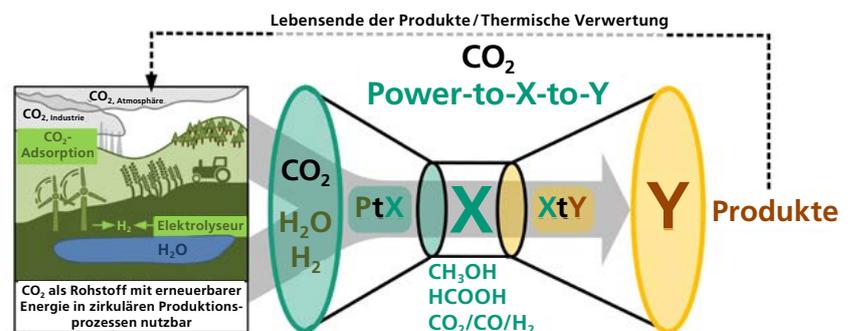
### Die kommerzielle Nutzung von CO<sub>2</sub> – das geht

Damit lassen sich zwei ökonomische Hebel für CO<sub>2</sub> emittierende Unternehmen identifizieren:

- Zum einen kann durch aktives Absenken der CO<sub>2</sub>-Emissionen bares Geld gespart werden.

- Zum anderen kann CO<sub>2</sub> in chemische Wertprodukte und Plattformchemikalien überführt und somit einer kommerziellen Verwertung zugeführt werden.

Ein Vorreiter in der Entwicklung solcher Technologiekonzepte ist das neuseeländische Unternehmen Lanzatech, das aus Synthesegas der Stahlindustrie über eine Gasfermentation Bioethanol herstellt. Aber auch Prozesskaskaden, die aus CO<sub>2</sub> und erneuerbar durch Wasserelektrolyse generiertem Wasserstoff wichtige Zwischenprodukte wie Methanol oder Ameisensäure herstellen, sind ein enorm wichtiger Ansatz. Diese Verfahren werden oft als Power-to-X-Technologien bezeichnet [1].



Das Fraunhofer IGB erweitert den Power-to-X-Ansatz zum Power-to-X-to-Y-Konzept, in dem die aus CO<sub>2</sub> synthetisierten Zwischenprodukte in angekoppelten chemischen und biotechnologischen Prozessen zu komplexeren und höherwertigen Produkten weiterverarbeitet werden (Abb.). Mit diesen Verfahren lassen sich Syntheserouten für einen weiten Bereich chemischer Produkte mit hoher Wertschöpfung entwickeln, basierend auf der Nutzung von CO<sub>2</sub> als primärem Rohstoff. Auf diese Weise wird der dringend gesuchte Weg in ein Zeitalter der Unabhängigkeit von fossilen Ressourcen geebnet.

*Die Erweiterung von Power-to-X zu einem Power-to-X-to-Y-Konzept verfolgt das Fraunhofer IGB.*

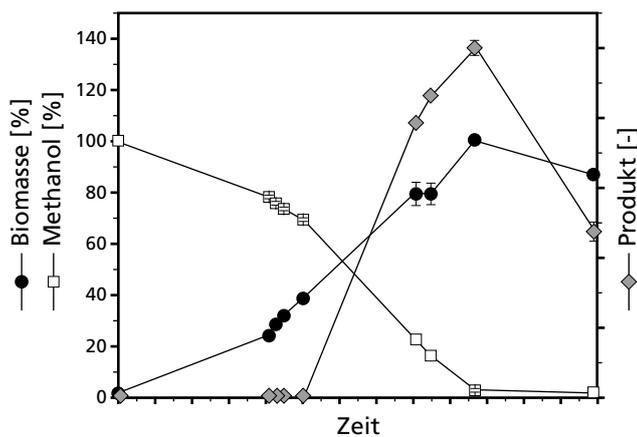
### Kontakt

Dr. Jonathan Fabarius  
Tel. +49 9421 9380-1022  
jonathan.fabarius@  
igb.fraunhofer.de

- ▶ [www.igb.fraunhofer.de/geld-verdienen-mit-co2](http://www.igb.fraunhofer.de/geld-verdienen-mit-co2)

## Biotechnologische Produktion von organischen Säuren aus Methanol – Update

»Grünes« Methanol kann aus CO<sub>2</sub> und erneuerbarer Energie hergestellt werden. Dadurch liegt sein Einsatz als zentraler Rohstoff einer nachhaltigen chemischen Industrie mit enormem Potenzial auf der Hand. Insbesondere die aktuellen politischen Rahmenbedingungen bieten Platz für diesen klimapositiven Ansatz. Vor diesem Hintergrund wurde das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Fraunhofer geförderte Verbundvorhaben EVOBIO im Folgeprojekt EVOBIO-Demo von einem Fraunhofer-Konsortium bestehend aus IGB, UMSICHT und IMW weitergeführt. Im Vordergrund steht die Weiterentwicklung einer biotechnologischen Produktionsroute für organische Säuren aus Methanol.



Zeitlicher Verlauf des Fermentationsprozesses zur Produktion einer organischen Säure aus Methanol mit gentechnisch veränderten Zellen von *M. extorquens* AM1.

Engineering und der Bioprozessentwicklung gezielt verbessert. Das Verfahren für die Produktion dieser organischen Säure aus CO<sub>2</sub> ist neu und kann zukünftig einen Beitrag zur Reduktion industrieller CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten.

### Ein vielversprechender Verfahrensansatz

Nachdem ein maßgeschneiderter Produktionsstamm entwickelt worden war, wurde dessen Produktionsleistung in Fermentationsversuchen getestet. Es zeigte sich, dass die erste Generation des Produktionsstammes bereits eine signifikante Produktion des Zielprodukts ermöglicht (Abb.). Im folgenden Projektverlauf haben wir über rationale Stammentwicklung und In-silico-Modellierungen des Stoffwechsels nach Strategien gesucht, um die Produktionsleistung und Ausbeute weiter zu steigern. Parallel dazu wurden in Batch- und Fed-Batch-Fermentationsexperimenten weitere Optimierungsstrategien an dem neu etablierten Verfahren getestet. Die Ergebnisse flossen abschließend in eine Erfindungsmeldung ein, die den entwickelten Biokatalysator beschreibt.

### Technologietransfer in die Industrie als Ziel

Diese grundlegenden Arbeiten in EVOBIO-Demo zeigen, dass die Verknüpfung von Power-to-X-Prozessen mit biotechnologischen Produktionsverfahren möglich ist und derartige Prozesskaskaden einen vielversprechenden Ansatz für die Nutzung von CO<sub>2</sub> als nachhaltige Ressource darstellen. Im nun folgenden Schritt soll das Verfahren weiter in Richtung industrieller Anwendung entwickelt werden. Die Suche nach interessierten Anwendungspartnern aus der Industrie hat bereits gestartet.

### Methylotrophe Fermentation als Ansatzpunkt

Methylotrophe Mikroorganismen sind vielversprechende Mikroben, da sie Methanol in Fermentationsprozessen zu Wertprodukten umwandeln können. Ein Produktionsstamm erster Generation zur Synthese einer organischen Säure, bereits im ersten EVOBIO-Projekt entwickelt, wurde im Nachfolgevorhaben EVOBIO-Demo zunächst hinsichtlich seiner Produktionsleistung charakterisiert und mithilfe von Methoden des Metabolic

### Kontakt

Dr. Jonathan Fabarius  
Tel. +49 9421 9380-1022  
jonathan.fabarius@  
igb.fraunhofer.de

► [www.igb.fraunhofer.de/evobio-demo](http://www.igb.fraunhofer.de/evobio-demo)

## Gewinnung von Plattformchemikalien aus Kondensaten der Torrefizierung von Biomasse mittels überhitztem Wasserdampf

Die Trocknung und Torrefizierung mit überhitztem Dampf (superheated steam, SHS) eignet sich hervorragend dazu, aus lignocellulosehaltigen Reststoffen hocheffiziente, lagerstabile Feststoffe herzustellen, die eine Nutzungsvielfalt als hoch qualitative Brennstoffe, Adsorbentien, Bodenverbesserer oder Eingangsmaterial für Pyrolyse- oder Vergasungsprozesse ermöglichen.

### Ziel: Zusätzliche Wertschöpfung durch Valorisierung der kondensierbaren Volatilen

Als Nebenprodukt der SHS-Torrefizierung entsteht ein Kondensat aus Wasser und potenziellen Wertstoffen wie organischen Säuren, Methanol oder Furfural. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt VALORKON entwickelt das Fraunhofer IGB Trennprozesse, mit denen diese Plattformchemikalien in hoher Reinheit aus dem Kondensat der Torrefizierung von Buchenholz-Hackschnitzeln gewonnen werden können.

### Auftrennung der Kondensatströme

Für die Trennung der Kondensatströme in einzelne Wertstofffraktionen wurde am Fraunhofer IGB eine Batch-Rektifikationsanlage in Betrieb genommen. In Kombination mit weiteren Trennverfahren wie Extraktion und Elektrodialyse konnte Furfural mit einer Reinheit von ca. 95 Prozent aus dem Kondensat gewonnen werden. Die Aufreinigung weiterer Wertstofffraktionen, beispielsweise organischer Säuren, ist Teil der noch laufenden Arbeiten.

### Ökologische und wirtschaftliche Bewertung

Parallel zu den technischen Arbeiten am Fraunhofer IGB führte die Hochschule Reutlingen eine ökologische und wirtschaftliche Bewertung des Gesamtprozesses, bestehend aus Trocknung, Torrefizierung und Wertstoffgewinnung aus dem Kondensat durch. Diese zeigt bereits für den derzeitigen Prozess eine positive CO<sub>2</sub>-Bilanz sowie vielversprechendes wirtschaftliches Potenzial.



### Ausblick: Bioraffinerie-Gesamtprozess

Die nächsten Schritte hin zu einer vorindustriellen Entwicklung beinhalten die Gewinnung weiterer Produkte aus dem Kondensat, die Übertragung in einen kontinuierlichen, skalierbaren Gesamtprozess sowie die Verwertung weiterer biogener Reststoffe.

Weiterhin ist eine gemeinsame Veröffentlichung mit der Hochschule Reutlingen zum ökologischen und wirtschaftlichen Potenzial des gesamten Bioraffinerie-Konzepts geplant.

#### links:

*Kondensat aus der Torrefizierung von Buchenholz-Hackschnitzeln.*

#### rechts:

*Aus dem Kondensat gewonnene Wertstofffraktionen.*

### Kontakt

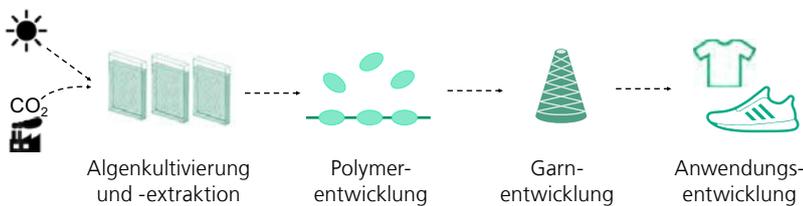
Dr.-Ing. Antoine Dalibard  
Tel. +49 711 970-4130  
antoine.dalibard@  
igb.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Carsten Pietzka  
Tel. +49 711 970-4115  
carsten.pietzka@  
igb.fraunhofer.de

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

## AlgaeTex – Entwicklung von bio-basierten Polymerergarnen aus Mikroalgen

Durch die begrenzte Verfügbarkeit fossiler Ressourcen wird es für die Textilindustrie immer wichtiger, alternative Rohstoffe für die Herstellung von Fasern in Textilien zu identifizieren und zu entwickeln. Im Forschungsprojekt AlgaeTex werden verschiedene Polymere hergestellt, die zu einem möglichst hohen Anteil aus algenbasierten Fettsäuren bestehen sollen. Ziel dabei ist die Entwicklung von schmelzspinnbaren Polyestern und Polyamiden, um einen breiten Einsatz in der Textilindustrie zu ermöglichen (Abb.).



Fließbild für eine neue textile Wertschöpfung auf Basis von Algeninhaltsstoffen.

### Optimierte Algenkultivierung

Das Fraunhofer IGB optimiert im Rahmen des Projekts die bereits in einem Vorläuferprojekt entwickelten und notwendigen Prozesse, um Fettsäuren in Algenzellen mit einer mehrstufigen Fahrweise bis auf über 50 Prozent anzureichern [1]. Ebenso wurde die Freilandproduktion sowohl mit Sonnenlicht als auch mit künstlicher Beleuchtung bereits in der Pilotanlage am Fraunhofer CBP dargestellt. Verglichen mit dem Flächenverbrauch landwirtschaftlicher Produktion hat die Algenkultivierung mit künstlicher Beleuchtung eine 500-fach bessere Flächenausnutzung zur Folge.

### Energieeffizienz durch neuen kompakten und modularen Photobioreaktor

Diesen Vorteil erkaufte man sich mit einem hohen Elektrizitätsbedarf von ca. 70–100 kWh pro Kilogramm Algenbiomasse. Um einen hohen Anteil an Fettsäuren in der Biomasse möglichst effizient anzureichern sowie die Konversion von Lichtenergie in Algenbiomasse zu optimieren, werden mit dem Aufbau eines kompakten und modularen Stack-Photobioreaktors am IGB umfangreiche Versuche erfolgen. Dieser zeichnet sich durch

flächige LED-Beleuchtung und das Zusammenschalten der einzelnen Reaktorkammern zu einem Gesamtvolumen aus.

### Aufarbeitung und Polymersynthese

Am Fraunhofer CBP erfolgen die Extraktion und Aufarbeitung der Fettsäuren zu Biodiesel (FAME, fatty acid methyl ester), das zur weiteren Verarbeitung an die Universität Bayreuth, Makromolekulare Chemie II, gegeben wird. Hier erfolgt nach den Grundsätzen der grünen Chemie die Synthese von bifunktionalen monomeren Grundbausteinen (Diol, Dicarbonsäuren) für die Polymerisation von spinnbaren Polyamiden und Polyestern. Das Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen wird im weiteren Verlauf die erzeugten Polymere extrudieren, auf ihre Schmelzspinnbarkeit untersuchen und zusammen mit der Adidas AG deren Verarbeitbarkeit zu gestrickten Textilien evaluieren.

### Ausblick

Im weiteren Verlauf des Projekts sollen die entwickelten Garne zu hochwertigen textilen Demonstratoren weiterverarbeitet und insbesondere die Anwendbarkeit von Multifilamentgarnen für Textilien der Sportindustrie bei der Adidas AG untersucht werden. Der Innovationsraum BIOTEXFUTURE hat zum Ziel, den Wandel der Textilindustrie von einer erdöl-basierten zu einer biobasierten Wirtschaft voranzutreiben. Das Projekt AlgaeTex leistet einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit und damit zur Zukunftsfähigkeit der deutschen Textilindustrie.



### Kontakt

Dipl.-Ing. Gordon Brinitzer  
Tel. +49 711 970-4101  
gordon.brinitzer@  
igb.fraunhofer.de

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

## Chrysolaminarin, lösliches $\beta$ -Glucan aus Mikroalgen

Chrysolaminarin ist ein lösliches  $\beta$ -1,3-1,6-Glucan, das von einigen Mikroalgen (Kieselalgen) als Energie- und Kohlenstoffspeicher produziert wird. Aufgrund seiner immunmodulatorischen Eigenschaften eignet es sich für eine Applikation in der Human- oder Tierernährung. Auch Pflanzen reagieren auf einen Kontakt, indem sie ihre Abwehrmechanismen aktivieren. Daher hat dieses  $\beta$ -Glucan auch eine mögliche Applikation als Pflanzenstärkungsmittel in der Landwirtschaft.

### Chrysolaminarin zur Pflanzenstärkung

Im Anwendungsbereich Agrarproduktion wurden 2021 von unseren Projektpartnern erste Freilandversuche durchgeführt, nachdem das lösliche  $\beta$ -Glucan zuvor im Gewächshaus erfolgreich als Pflanzenstärkungsmittel getestet wurde. Ziel der Versuche war es, durch den Einsatz des  $\beta$ -Glucans die im Weinbau als Fungizid benötigte Kupfermenge zu reduzieren. Für abschließende Ergebnisse werden jedoch noch weitere Freilandversuche in den kommenden Vegetationsperioden benötigt.

### Chrysolaminarin für die Tierernährung

Auch in der Tierernährung wurden von Projektpartnern erfolgreich Versuche mit unserem löslichen  $\beta$ -Glucan aus Mikroalgen durchgeführt. So konnte beispielsweise bei Fütterungsversuchen an Fischen gezeigt werden, dass sich  $\beta$ -Glucan-Extrakte speziell aus der Kieselalge *Phaeodactylum tricorutum* aufgrund ihrer entzündungshemmenden und antioxidativen Wirkung positiv auf die Darmgesundheit von Fischen in der Aquakultur auswirken [1]. Darüber hinaus konnte bei Fütterungsversuchen mit Zebrafischen eine cholesterinsenkende Wirkung der  $\beta$ -Glucane aus Mikroalgen beobachtet werden, ähnlich der Wirkung von bereits auf dem Markt befindlichen  $\beta$ -Glucanen aus Hefe [2]. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass  $\beta$ -Glucane aus Algen möglicherweise auch als Cholesterinsenker in der menschlichen Ernährung eingesetzt werden könnten. Dafür werden aber noch weitere Studien benötigt.



*Kieselalge Phaeodactylum tricorutum.*

### Optimierung des Produktionsprozesses

Neben der Unterstützung der Projektpartner bei Applikationsversuchen stand bei unserer Arbeit am Fraunhofer IGB die Verbesserung des Produktionsprozesses von  $\beta$ -Glucan mit Mikroalgen (Upstream Processing) im Fokus. So haben wir Szenarien entwickelt, wie der Prozess zur Produktion von  $\beta$ -Glucanen im industriellen Maßstab umgesetzt werden kann. Auch die Extraktion des  $\beta$ -Glucans aus der gewonnenen Biomasse (Downstream Processing) wurde weiter untersucht und optimiert. Hierzu wurde die  $\beta$ -Glucan-Extraktion in ein bereits bestehendes Bioraffinerie-Konzept nach Derwenskus et al. [3] integriert.

### Ausblick

Wir konnten weitere Projekte akquirieren, um die Arbeit an diesem spannenden Thema fortzuführen. Neben weiteren Versuchen zu möglichen Anwendungen stehen dabei die Umsetzung des Prozesses zur Produktion von  $\beta$ -Glucanen, dessen Skalierung und Automatisierung im Fokus. Besonderes Augenmerk soll dabei auf der Sensorik und biointelligenter Prozesssteuerung liegen, um die Ausbeute und die Energieeffizienz des Produktionsprozesses noch weiter zu optimieren.



### Kontakt

Konstantin Frick M. Sc.  
Tel. +49 711 970-4074  
konstantin.frick@  
igb.fraunhofer.de

Dr. Ulrike Schmid-Staiger  
Tel. +49 711 970-4111  
ulrike.schmid-staiger@  
igb.fraunhofer.de

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

# Umwelt

---

Nachhaltiges Ressourcenmanagement für  
Industrie, Kommunen und Landwirtschaft



Das Geschäftsfeld Umwelt erarbeitet systemische Lösungen im integrierten Umweltschutz für Industrie, Städte und Regionen im nationalen und internationalen Kontext. Hierbei erstreckt sich das Tätigkeitsfeld auf die Erarbeitung von Konzepten, Prozessen und auch einzelnen Technologien und Produkten mit dem Ziel einer möglichst hohen Ressourceneffizienz, der Berücksichtigung des Gedankens der Kreislaufwirtschaft sowie einer Bewertung der Nachhaltigkeit.

#### Das Fraunhofer IGB ist aktiv in der Entwicklung von

- Konzepten und Technologien für Wassermanagement und Wasserreinigung,
- Verfahren zur Gewinnung von Biogas aus Abfall- und Reststoffen,
- Technologien zur Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser, Abfall- und Reststoffen,
- Verfahren zur Trocknung/Pyrolyse organischer Reststofffraktionen als Bodenverbesserer,
- Aufarbeitungsprozessen auf molekularer bzw. atomarer Ebene (Edelmetalle, Seltene Erden) sowie
- Befeuchtermembranen für Brennstoffzellen.

Mit seinen Entwicklungen aus der Biologie und Bioverfahrenstechnik und neuesten Ansätzen der Digitalisierung treibt das Fraunhofer IGB den Wandel zu einer nachhaltigen Bioökonomie in der Umwelttechnik voran.

# Zielmärkte

---



## Resiliente Infrastrukturen für Smart Cities

Im speziellen Fokus stehen Entwicklungen im Bereich smarter Infrastrukturen, die die Themen Wasser, Energie, Ernährung und Abfall/Reststoffströme miteinander verbinden und damit eine gesamtheitliche Betrachtung aller Strukturen in der Stadt bedeuten. Das Institut hat langjährige Erfahrung im integrierten Wassermanagement in Städten und Regionen ebenso wie in der Umsetzung von Wasser-4.0-Ansätzen, die die zunehmende

Digitalisierung für den Wasserbereich aufgreift. Kern ist die Erarbeitung von integrierten Strategien und Umsetzungskonzepten für Quartiere, Städte und Gemeinden, die eine Anpassung an die durch den Klimawandel verursachten Starkregenereignisse, Trockenperioden etc. unter Berücksichtigung einer Kreislaufwirtschaft im Sinne der Bioökonomie erlauben.

### Trinkwassergewinnung und -aufbereitung

Eine Ressource für die Gewinnung von Trink- oder Prozesswasser höchster Qualität ist die Luftfeuchte. Aktuelle Forschungsarbeiten am IGB konzentrieren sich auf die Umsetzung von Konzepten, die es ermöglichen, die Luftfeuchte in effizienten Adsorbersystemen zu binden und bei Bedarf als nutzbares Wasser abzugeben. Weitere Entwicklungen konzentrieren sich auf den Bereich der Entfernung von Spurenstoffen mittels Advanced Oxidation Processes.

Für die Untersuchung der Belastung mit Keimen und die Bestimmung der Wirksamkeit von Desinfektionsschritten greifen wir auf langjährige Expertise zurück. Im Einzelnen handelt es sich um die Identifizierung von Bakterien und Pilzen, die Untersuchung von Biofilmen und deren Reduzierung oder Vermeidung im technischen System.

### Prozesswasseraufbereitung, Abwasser- und Schlammbehandlung

Die langjährige technische Expertise des Instituts bietet sowohl biologische als auch physikalisch-chemische Methoden und Lösungen zur Abwasserreinigung und Schlammaufbereitung für Industrie und Kommunen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Ausgestaltung neuer Kläranlagenkonzepte für eine »Kläranlage der Zukunft«, die nicht nur das Abwasser ordnungskonform reinigen, sondern gleichzeitig zusätzliche Wertschöpfung erwirtschaften können – über die Herstellung von zusätzlichen Energieträgern und Produkten wie Dünger bis hin zu Biot stimulanten für die Landwirtschaft. Maßgeschneiderte Membranen, Filter und Adsorbentien gehören außerdem zum Portfolio des IGB in der zukünftigen erweiterten Wasser- und Abwasserreinigung.

### Wasser-Monitoring

Ein besonderer Stellenwert kommt der Entwicklung geeigneter Sensoren, Test- und Monitoringsysteme zu, um Schadsubstanzen in Boden und Wasser messtechnisch zu erfassen und zu bewerten. Hier befassen wir uns vor allem mit Biosensoren (biologische Komponente), der Funktionalisierung von Sensoroberflächen, Analytik, Automatisierung und Datenanalyse.

### Biogas

Als regenerativer, grundlastfähiger Energielieferant wird Biogas für die Energiewende immer wichtiger. Biogas kann zudem über eine gewisse Zeit gespeichert und damit die Stromerzeugung an den Bedarf angepasst werden. Die effiziente Erzeugung von Biogas aus Klärschlamm mit unserem Verfahren der Hochlastfaulung haben wir bereits auf verschiedenen kommunalen Kläranlagen umgesetzt. Auch für die energetische Nutzung von Bioabfällen entwickeln wir spezifische Lösungen, vom Gärtest im Labormaßstab bis zur Konzeption von Anlagen im technischen Maßstab. Landwirtschaftliche Biogasanlagen optimieren wir hinsichtlich Produktivität und Effizienz.

### Sekundärrohstoffe und Wasserwiederverwendung

Im Sinne einer nachhaltigen Bioökonomie und nach dem Vorbild natürlicher Stoffkreisläufe sind Schwerpunkte des Instituts mit seinen biotechnologischen und physikalisch-chemischen Entwicklungen zum Wertstoff- und Nährstoffrecycling (P, N) und zur Wasserwiederverwendung aus verschiedenen Abwasser-, Abfall- und Restströmen ein wichtiger Beitrag. Für das Phosphorrecycling aus phosphatreichem Abwasser haben wir beispielsweise mit ePhos® einen elektrochemischen Prozess entwickelt und bis zum Pilotmaßstab demonstriert. Weitere Ansätze sind neue und verbesserte Technologien für die Herstellung von Wasserstoff aus industriellen Reststoffströmen, die sich mit der algenbiotechnologischen Verwertung (CCU) des klimaschädlichen Kohlenstoffdioxids aus industriellen und landwirtschaftlichen Quellen koppeln lassen.



### Kontakt

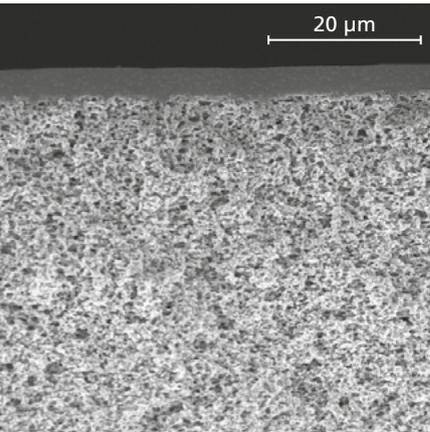
Dr.-Ing.  
Ursula Schließmann  
Tel. +49 711 970-4222  
ursula.schliessmann@  
igb.fraunhofer.de

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



## Befeuchtermembranen für das Wasser- management in Brennstoffzellen

Ein Ansatz einer nachhaltigen Energiewirtschaft ist der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger. Dieser kann mittels Elektrolyse z. B. durch fluktuierende erneuerbare Energie erzeugt und sowohl für mobile als auch stationäre Anwendungen verwendet werden, indem mit Brennstoffzellen daraus elektrischer Strom erzeugt wird. Dabei spielt das Management des entstehenden Wassers eine wichtige Rolle für die Leistung und Lebensdauer der Brennstoffzelle. Membranbefeuchter können hierfür als externe Komponente genutzt werden, um die Ionomermembran in der Brennstoffzelle jederzeit vor Austrocknung zu schützen. Kommerzielle Membranbefeuchter erfüllen allerdings die sehr anspruchsvollen Anforderungen für automobilen Anwendungen hinsichtlich Wassertransfer, Langzeitstabilität, Schadgastoleranz und Kosten nur unzureichend.



oben:  
Teststand für die parallele  
Charakterisierung von drei  
Befeuchtermembranen.

unten:  
REM-Aufnahme einer  
IGB-Flachmembran für die  
Befeuchtung.

## Teststände zur automatisierten Unters- suchung von Befeuchtermembranen

Im Projekt AMBITION hat das Innovationsfeld Membranen am Fraunhofer IGB eine umfangreiche Infrastruktur (Abb. links oben) und das entsprechende Know-how aufgebaut, um Befeuchtermembranen umfassend zu charakterisieren. So stehen mittlerweile insgesamt vier Teststände für Hohlfaser- und Flachmembranen zur Verfügung, um den Wassertransfer von Befeuchtermembranen

in relevanten Parameterräumen automatisiert (24/7) zu bestimmen (Grafik unten). Weiterführend werden Gasleckage-Tests und Langzeitstabilitätsuntersuchungen durchgeführt. Mithilfe dieser Daten können Membranen rational bewertet und auch unterschiedliche Geometrien miteinander verglichen werden. Dieses Know-how wird als Dienstleistung für Kunden angeboten.

## Entwicklung von Befeuchtermembranen

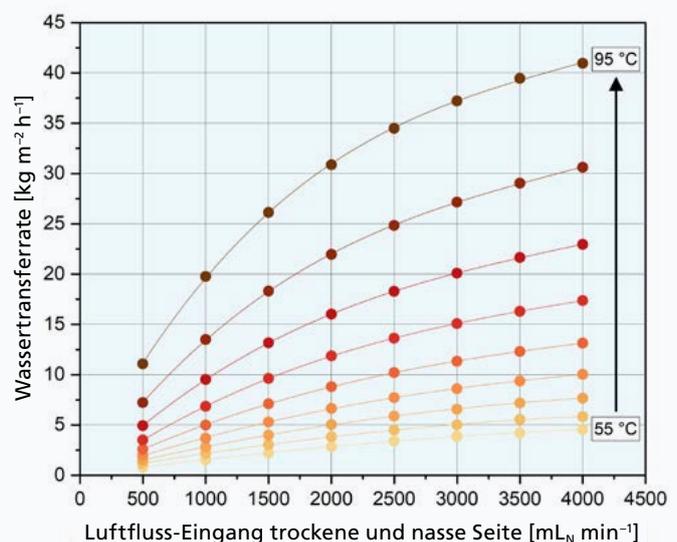
Die vorhandene Infrastruktur zur Testung und unsere Membranexpertise werden aber auch genutzt, um Befeuchtermembranen im Projekt HIKS (Hochintegriertes Kathodensubsystem) zielgerichtet zu entwickeln. Aufbauend auf den Vorarbeiten zu beschichteten Hohlfasermembranen [1] können mittlerweile auch Flachmembranen mit geeigneten fluorfreien Polymeren auf einem Smartcoater der Firma Coatema im Rolle-zu-Rolle-Verfahren beschichtet werden (Abb. links unten). Ein Materialansatz ist dabei die Verwendung hydrophiler, ungeladener Polymere, die über geeignete Reaktionen quervernetzt werden [2]. Die so entwickelten Membranen stellen mit ihrer Befeuchterleistung eine gute Alternative zu kommerziell erhältlichen Membranen dar.

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

## Kontakt

Dipl.-Ing. (FH)  
Christopher Hänel  
Tel. +49 711 970-4125  
membrane@  
igb.fraunhofer.de

Typische Messkurve  
für den Wassertransfer  
bei einer Variation von  
Überströmung und  
Temperatur in einem  
Gegenstrommodul.



## Beschichtung additiv gefertigter bionischer Filter für die Luft- und Wasserreinigung

Saubere Luft und sauberes Wasser sind von grundlegender Bedeutung für die Gesundheit und Lebensqualität von Mensch und Tier. Doch leider sind Luft und Wasser häufig mit unterschiedlichen, oft gesundheits- oder umweltgefährdenden Stoffen belastet und diese müssen entfernt werden. Handelt es sich um Partikel, werden hierzu typischerweise Filter eingesetzt. Filter stellen jedoch für Stoffströme – im Beispiel also Luft bzw. Wasser – einen Strömungswiderstand dar, und die Pumpleistung erhöht sich entsprechend.

### Optimierte, additiv gefertigte Filter

In dem von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderten gemeinsamen Projekt »Bionische Filter« arbeiten Wissenschaftler der Hochschule Heilbronn und des Fraunhofer IGB zusammen, um über Strömungssimulationen, additive Fertigung und Beschichtungstechnologien Filter zu entwickeln, die sich durch hohe Trennleistung und gleichzeitig minimalen Strömungswiderstand auszeichnen. Die Beschichtungen sind Teilaufgabe des Fraunhofer IGB und sollen dafür sorgen, dass sich Aerosole, Pollen und Feinstaub nicht dauerhaft auf Luftfiltern festsetzen können, sondern mechanisch oder über einen kurzen Gegenstrom entfernt werden können. Weitere Beschichtungen sollen antiadhäsiv ausgelegt sein und sind damit nicht nur für die Luftreinigung, sondern auch für die Entfernung von Mikroplastik aus Wasser von Interesse.

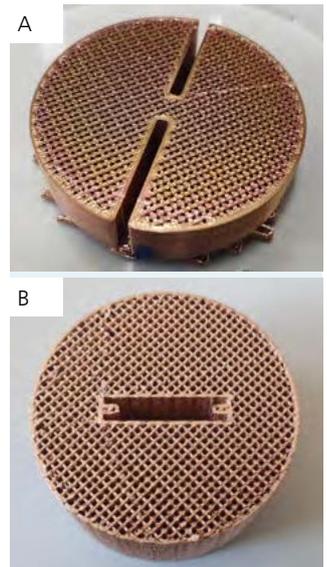
### Öl- und wasserabweisende Beschichtungen

Erste unterschiedliche Filterstrukturen konnten durch die Projektpartner an der Hochschule Heilbronn bereits berechnet und über additive Fertigung umgesetzt werden. Am Fraunhofer IGB wurden die gedruckten Filter zur Optimierung der Oberflächeneigenschaften anschließend beschichtet. In der Abbildung ist beispielhaft ein Luftfilter dargestellt, welcher mit einer sehr dünnen metallischen Beschichtung (Antistatik, ca. 30 nm) versehen ist. Eine zusätzliche Beschichtung im Bereich von wenigen Nanometern wurde anschließend über Plasmapolymersation aufgebracht. Diese Beschichtung weist gegenüber Ölen und Wasser abweisende Eigenschaften auf und wirkt gleichzeitig als Korrosionsschutz.

### Ausblick

Optimierte Filter besitzen enormes Potenzial für viele unterschiedliche Trennaufgaben: über die obengenannten Aufgaben, Partikel aus Gas- bzw. Wasserströmen zu entfernen, ist auch die Trennung unterschiedlicher flüssiger Phasen – beispielsweise für Dieselmotorkraftstofffilter – ein Thema des Projektes. Durch die Optimierung wird im Idealfall sowohl die Trennleistung verbessert als auch gleichzeitig Energie eingespart, da der Druckabfall entlang des Filters geringer ausfällt als bisher. Die Filterentwicklung im Projekt verfolgt exemplarisch insgesamt drei Leitansätze, die als Ausgangsbasis für individuelle Weiterentwicklungen dienen sollen.

► [www.igb.fraunhofer.de/bionische-filter](http://www.igb.fraunhofer.de/bionische-filter)

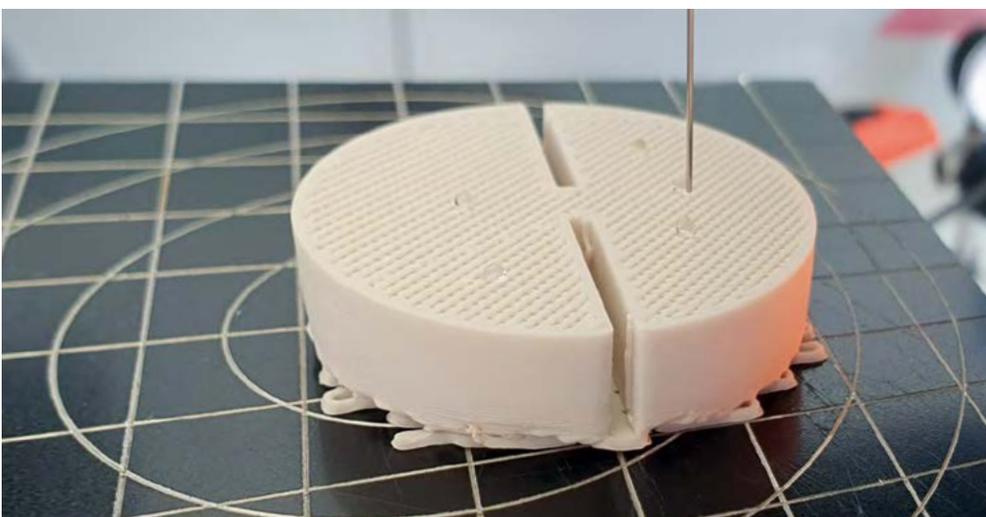


oben:

Additiv gefertigte beschichtete Filtertestkörper mit unterschiedlichen Aussparungen (A+B) für die Schichtanalytik.

unten:

Filtertestkörper mit wasserabweisendem Topcoat.



## Kontakt

Dr. Jakob Barz

Tel. +49 711 970-4114

[jakob.barz@igb.fraunhofer.de](mailto:jakob.barz@igb.fraunhofer.de)



*Methanogene Stufe einer anaeroben Biogasanlage mit Festbett-Umlaufreaktor.*

## Bedarfsorientierte Biogaserzeugung als Beitrag zur Energiewende

Die Stromerzeugung aus Biogas muss flexibler werden, um die Schwankungen der Stromerzeugung aus Sonne und Wind ausgleichen zu können. Dazu muss der anaerobe Fermentationsprozess so betrieben werden, dass die an der Methanproduktion beteiligten Mikroorganismen schnell auf Veränderungen der Betriebsbedingungen reagieren können. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Projekts NextGenBiogas entwickelt das Fraunhofer IGB gemeinsam mit der Hochschule Hamm-Lippstadt ein Verfahren, mit dem dies möglich ist.

### Angewandtes Konzept

Der anaerobe Fermentationsprozess ist ein sogenanntes zweistufiges anaerobes System: In einer ersten, hydrolytischen Stufe erfolgt die Säurebildung, in einer folgenden, methanogenen Stufe die Bildung von Biogas. Damit Anlagenbetreiber das zweistufige System effizient nutzen können, gilt es folgende Punkte zu berücksichtigen: die Konstruktion der Reaktoren, die Betriebsbedingungen, die Zusammensetzung des Inokulums und die Zusammensetzung des Futtersubstrats. Um im Bedarfsfall die Methanproduktion in der zweiten Stufe schnell hochfahren zu können, werden in der ersten hydrolytischen Stufe leicht umsetzbare organische Säuren und Alkohole als Speichermedium erzeugt. Auch die Identifizierung von Mikroorganismen mit guten Anpassungseigenschaften an die Veränderungen im Systembetrieb zur schnellen und effizienten Methanproduktion ist ein wichtiges Thema innerhalb des Projekts NextGenBiogas. Die zwei Phasen des Biogasprozesses wurden zunächst unter Laborbedingungen getrennt untersucht.

### Effiziente Säureproduktion in der hydrolytischen Phase

In der hydrolytischen Phase wurden die optimalen Bedingungen für die schnelle und effiziente Säureproduktion ermittelt. Diese entsprechen der höchsten potenziellen Methanproduktion, die bei der Verwendung des jeweiligen Hydrolysats im methanogenen Reaktor erzielt werden kann. Die optimalen Bedingungen liegen bei einer Temperatur von

51 °C und einem pH-Wert von 5,5. Die höchste Säurebildung wurde bei dem Verhältnis von zerkleinerter Maissilage zu Rindergülle von 50:50 erreicht.

### Flexible und bedarfsorientierte Biogaserzeugung in der methanogenen Phase

In der methanogenen Phase wurden verschiedene Szenarien der flexiblen Fütterung getestet, um die schnellste Erholung der Mikroorganismen und die höchste Effizienz der Biogasproduktion nach ausgewählten Hungerphasen zu erreichen.

### Prozessüberwachung und -regulierung durch mikrobiellen Ansatz

Neben der Überwachung und Auswertung der experimentellen Versuche wurden Metagenom- und Metatranskriptomanalysen des Inokulums und der Proben aus dem zweistufigen System durchgeführt [1–3]. Anhand der erfassten mikrobiellen Daten konnten wir sowohl die jeweils beteiligten Spezies klassifizieren als auch ihre relative Häufigkeit bestimmen. Durch die Durchführung der Metagenom- und Metatranskriptomanalysen wird das Verhalten der Mikroorganismen als Folge der experimentellen Entwicklungen ermittelt und bewertet. Dies ermöglicht eine gezielte Animpfung des Prozesses mit diesen Mikroorganismen, zudem können Rahmenbedingungen vorgegeben werden, unter denen die Mikroorganismen ideal wachsen.

### Ausblick

Laufende Versuche dienen der Optimierung der Biogasproduktion in der methanogenen Phase, die in einem Festbett-Umlaufreaktor durchgeführt wird. Die im Labormaßstab gewonnenen Ergebnisse bilden die Grundlage für die Planung und den Betrieb eines zweistufigen anaeroben Systems zur Biogaserzeugung im Praxismaßstab.

## Kontakt

**Ievgeniia Morozova M. Sc.**  
(Innovationsfeld  
Wassertechnologien und  
Wertstoffrückgewinnung)  
Tel. +49 711 970-4275  
ievgeniia.morozova@  
igb.fraunhofer.de

**Dr. Yevhen Vainshtein**  
(Innovationsfeld  
In-vitro-Diagnostik)  
Tel. +49 711 970-4078  
yevhen.vainshtein@  
igb.fraunhofer.de

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

## Großtechnische Umsetzung der Wasserwiederverwendung im hydroponischen System

Regionale Konkurrenzen um die Ressource Wasser kommen schon heute vor. Durch Klimawandel, Urbanisierung und Verschmutzung der Wasserressourcen können sich diese Nutzungskonflikte in den nächsten Jahrzehnten noch verschärfen. Auch im wasserreichen Deutschland kommt es immer öfter zu Nutzungskonflikten. Deshalb sind neue Konzepte und Verfahren für die Wasserwiederverwendung gefragt.

In dem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt HypoWave pilotierte ein Forschungsverbund unter Beteiligung des Fraunhofer IGB von 2016 bis 2020 erstmals eine hydroponische Pflanzenproduktion mittels Wasserwiederverwendung. Eine in diesem Vorhaben durchgeführte Fallstudie identifizierte eine Möglichkeit sowie interessierte Akteure zur großtechnischen Realisierung dieses Ansatzes in der Region Gifhorn (Niedersachsen). Seit Anfang 2021 begleiten wir diese in einem neuen Verbund, dem ebenfalls vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten Projekt HypoWave+ unter der Leitung der TU Braunschweig.

### Forschungsansatz

Ziel des transdisziplinären Forschungsverbundes ist es, eine neue Form von regionaler Gemüseproduktion zu etablieren. Basierend auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts HypoWave entschieden sich Landwirte in der Region Gifhorn zur Gründung eines Unternehmens, das hydroponisch erzeugtes Gemüse produziert. HypoWave+ begleitet dieses Vorhaben wissenschaftlich und geht offenen Fragestellungen in den Bereichen Wasseraufbereitung, Gemüseproduktion, intelligente Steuerungstechnik, Qualitätsmanagement und institutionelle Arrangements nach. Damit soll die Marktfähigkeit von mittels umweltschonendem Wasserrecycling hydroponisch erzeugtem Gemüse weiterentwickelt werden, mit dem Ziel, das Konzept an anderen Standorten ebenfalls anzuwenden.

### Digitalisierung und Risikomanagement

Im Rahmen von HypoWave+ beschäftigt sich das Fraunhofer IGB mit der Digitalisierung der



*Abwasser wird zu einer wichtigen Ressource, wenn es umweltschonend gereinigt für die hydroponische Pflanzenproduktion eingesetzt wird.*

eingesetzten Prozesse. Hierzu koordiniert das Team die Arbeiten zur integrierten Datenerfassung und Steuerung der Wasseraufbereitung und des Gewächshauses sowie zum Aufbau und Betrieb der für die Datenerfassung und -verarbeitung benötigten Infrastruktur.

Darüber hinaus ist das IGB für den Nachweis von (pflanzen-)pathogenen Mikroorganismen und Viren im aufbereiteten Wasser verantwortlich und bringt, gemeinsam mit anderen Partnern und Akteuren vor Ort, seine fachliche Expertise zu Fragen der Akzeptanz und Qualität der neuen Prozesskette sowie zum Risikomanagement ein. Letzteres steht auch im Kontext der EU-Verordnung 2020/741 über Mindestanforderungen für die Wasserwiederverwendung, welche am 26. Juni 2020 in Kraft trat. Am 26. Juni 2023 wird sie in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union – und damit auch in Deutschland – ihre Gültigkeit erlangen.

### Kontakt

**Marc Beckett M. Sc.**  
Tel. +49 711 970-4086  
marc.beckett@  
igb.fraunhofer.de

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

► [www.igb.fraunhofer.de/hypowave-plus](http://www.igb.fraunhofer.de/hypowave-plus)



oben:  
Die untersuchten Städte  
Kochi, Piura und Saltillo.

rechts:  
Verschmutzter Kanal in Kochi.



## Kontakt

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

Diego Eufrazio Lucio M. Sc.  
Tel. +49 711 970-4124  
diego.eufrazio.lucio@  
igb.fraunhofer.de

## Morgenstadt Global Smart Cities: Anpassung an den Klimawandel

Das Fraunhofer Morgenstadt-Netzwerk hat in den letzten Jahren viele Entwicklungen im Bereich Smart Cities begleitet, hauptsächlich in Europa. Gerade im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind die Herausforderungen an die Stadtentwicklung außerhalb Europas jedoch noch deutlich größer. Aufgrund anderer Rahmenbedingungen erfordern Städte in diesen Regionen zudem alternative Herangehensweisen.

### Angepasste Methodik für Schwellenländer

Aus diesem Grund wurde im Rahmen der internationalen Klimaschutzinitiative (IKI) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) die Methodik zur Stadtanalyse des Morgenstadt City Lab an die Bedingungen in Schwellenländern angepasst und in drei Städten durchgeführt: Kochi (Indien), Saltillo (Mexiko) und Piura (Peru). Ziel dieser »Morgenstadt Global Smart Cities Initiative« (MGI) war es, anhand dieser Analysen Potenziale für den Klimaschutz sowie die Anpassung an den Klimawandel zu identifizieren. Das Fraunhofer IGB ist hier in den Bereichen Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Hochwasserschutz involviert.

### Stadtanalyse zeigt Klimapotenziale auf

Die erfolgreich angepasste Methodik des City Lab hat sich gerade auch im Kontext Klimawandelanpassung und Begrenzung der Treibhausgasemissionen bewährt. Nach einer Analyse, die auch Interviews mit Akteuren aus dem Wassersektor umfasste, wurde eine Liste mit konkreten Projektvorschlägen für die untersuchten Städte erstellt, die ihre Anpassung an den Klimawandel verbessern und zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen sollen (siehe Tabelle). Manche der beispielhaften Lösungen, z. B. der Vorschlag einer nachhaltigen Sanierung eines Stadtquartiers in Kochi, kann als Blaupause für andere Städte mit ähnlichen Rahmenbedingungen dienen. Eine pilothafte Umsetzung ausgewählter Maßnahmen ist für das Jahr 2022 geplant.

### Ausblick

Gerade auch die bei der UN-Klimakonferenz in Glasgow im November 2021 diskutierte Unterstützung der Entwicklungsländer beim Klimaschutz und der Anpassung an den Klimawandel durch die Industrieländer macht deutlich, dass es in Zukunft darauf ankommen wird, die richtigen Maßnahmen zu identifizieren. Zugesagt waren jährlich 87,4 Milliarden Euro, die dringend gebraucht werden, aber auch sinnvoll eingesetzt werden müssen.

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



## Vergleich der Städte und Maßnahmen

	Stadtprofil Wassersektor	Vorgeschlagene Maßnahmen
<b>Kochi, Indien</b>	<p>In der Stadt Kochi leben ca. 600 000 Einwohner, im Ballungsraum 2,1 Millionen Einwohner. Kochi ist das wirtschaftliche, touristische und kommerzielle Zentrum des Bundesstaates Kerala im Südwesten Indiens. In den letzten zehn Jahren haben eine Zunahme extremer Regenfälle, der Anstieg des Meeresspiegels und steigende Temperaturen zu wachsender Besorgnis sowie Vorfällen mit Todesopfern und hohem Sachschaden geführt.</p> <p><b>Geografische Risikofaktoren für Klimawandelfolgen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Höhe 5 m über Meeresspiegel</li> <li>■ 48 km Küstenlinie</li> <li>■ Umgeben von einem Netz aus Flüssen, Gräben und Kanälen</li> </ul> <p><b>Wasserversorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hauptwasserquelle: Fluss Periyar, 20 km nordöstlich der Stadt</li> <li>■ 85 % der Bevölkerung mit Zugang zur zentralen Trinkwasserversorgung</li> <li>■ Trinkwasserversorgung nicht regelmäßig, daher zusätzliche Versorgung mit privaten Wassertankern oder aus Brunnen</li> <li>■ 40–80 % Wasserverluste aufgrund alter, undichter Leitungen</li> </ul> <p><b>Abwasserentsorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 71 % der Haushalte nutzen private Klärgruben</li> <li>■ Nur 3–6 % der Haushalte an Kanalisation angeschlossen</li> <li>■ Großteil der Abwässer gelangt ungeklärt in die Umwelt</li> </ul>	<p>In Kochi wurden 15 Projektvorschläge entwickelt und in Form einer Roadmap an die Stadt übergeben. Einer dieser Vorschläge ist die integrative Entwicklung eines nachhaltigen Quartiers, die als Blaupause für andere Gebiete in der Stadt sowie für andere Städte mit ähnlichen Rahmenbedingungen dienen kann.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Installation von Photovoltaikanlagen auf Dächern → Dezentrale Gewinnung regenerativer Energie</li> <li>■ Errichtung grüner Infrastruktur zur Speicherung von Regenwasser → Verringerung der Gefahr von Überschwemmungen, Kühleffekt für Stadtgebiet durch Wasserverdunstung</li> <li>■ Dezentrale Abwasserbehandlung und Kompostierung organischer Abfälle → Verringerung der Verschmutzung von Boden und Wasser und Verbesserung der Lebensqualität</li> </ul>
<b>Piura, Peru</b>	<p>Die Stadt Piura hat ca. 500 000 Einwohner und ist die Hauptstadt der gleichnamigen Provinz im Nordwesten Perus.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lage in Wüstenregion, entlang des Flusses Piura</li> <li>■ Geringe Niederschläge, niedriger Wasserpegel im Fluss</li> <li>■ Schlechte Wasserqualität des Flusses durch Einleitung von Abwässern und Abfällen</li> <li>■ Starkregen und Überschwemmungen aufgrund geografischer Lage (El-Niño-Southern-Oscillation, ENSO)</li> <li>■ Kritische durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge von nur 223 mm</li> <li>■ 95 % der Haushalte an zentrale Trinkwasserversorgung angeschlossen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Einrichtung naturbasierter Lösungen, z. B. überflutbare Parks am Ufer des Piura-Flusses oder Bambuspark</li> <li>■ Umsetzung dezentraler Abwasserreinigungssysteme mit Wiederverwendung des gereinigten Wassers zur Bewässerung von Grünflächen vor Ort</li> <li>■ Identifizierung und Reparatur von Leckagen durch Digitalisierung des Wasserversorgungssystems zur Minderung von Wasserverlusten</li> </ul>
<b>Saltillo, Mexiko</b>	<p>Die mexikanische Stadt Saltillo hat etwa eine Million Einwohner. Die Stadtverwaltung gibt einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung in ihrer »Umweltagenda« oberste Priorität.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wasserknappheit aufgrund geografischer Lage in Coahuila-Wüste</li> <li>■ Kritische durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge von 370 mm</li> <li>■ Erwartung, dass durch Klimawandel längere Dürreperioden und Überschwemmungen an Intensität und Häufigkeit zunehmen</li> <li>■ Wasser hat in den letzten Jahrzehnten eine entscheidende Rolle für die städtische und wirtschaftliche Entwicklung gespielt</li> <li>■ 99,6 % der Haushalte an zentrale Trinkwasserversorgung angeschlossen</li> </ul>	<p>In Saltillo zeigten die Antworten der befragten Akteure die hohe Bedeutung des Themas Wasserverfügbarkeit. Um die Wasserknappheit abzumildern, wird eine zunehmende Versickerung von Regenwasser in den durchlässigen Boden angestrebt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Integration grüner Infrastruktur in der gesamten Stadt, z. B. Regengärten, begrünte Dächer, bepflanzte Mittelstreifen, Fußgängerwege → Erhöhung der Infiltrationsrate bei Regenereignissen → Funktion als nachhaltiger Wasserzwischen-speicher (»Schwamm-Stadt-Effekt«)</li> </ul>



## Wasserreinigung: Abbau von Spurenstoffen und hartem CSB

### Der Spurenstoff des Monats

»Der Spurenstoff des Monats« scherzten Chemiker in der Wasseranalyse, wenn sie einen der vielen bisher unbenannten, aber wiederholt auftretenden Berge im Analysespektrum eines Kläranlagenablaufs zum ersten Mal eindeutig einer Substanz zuordnen konnten. Ist die Substanz menschengemacht und möglicherweise gesundheitsschädlich, kann das dann schon mal eine Medienwelle und, bei entsprechendem Schadenspotenzial, auch eine Messungswelle sowie politische Initiativen auslösen.



### Geregelte Überwachung von Spurenstoffen im Wasser

Europaweit wird systematischer vorgegangen. Die REACH-Verordnung [1], Monitoring-Listen der EU [2], regelmäßige Berichterstattung im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie [3] und periodisch anstehende Aktualisierungen der EU-Verordnungen für Trinkwasser [4] und Kommunalabwasser [5] haben Risiken von Abwasserinhaltsstoffen für Mensch und Umwelt und Gesamtsysteme im Blick. Die Grenzwerte der EU-Richtlinien werden sodann sukzessive auch in deutsches Recht übernommen. In Deutschland wurde 2021 zusätzlich das nationale Spurenstoffzentrum des Bundes gegründet, das Interessensgruppen zielorientiert zusammenbringt, um kritische Substanzen zu reduzieren.



oben:  
Batch-Reaktor zur UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Behandlung von Wasser.

Mitte:  
Plasmareaktor zum Schadstoffabbau in Wasser.

unten:  
Bestimmung von Ozonübergang, Schaumverhalten und Behandlungskosten.

## Kontakt

Dipl.-Ing.  
Christiane Chaumette  
Tel. +49 711 970-4131  
christiane.chaumette@  
igb.fraunhofer.de

## Das IGB forscht mit und bietet unabhängige Beratung

Das Fraunhofer IGB bietet Industrie und Kommunen unabhängige wissenschaftliche Beratung zum Thema Schadstoff- und Spurenstoffentfernung. Regelmäßig erproben unsere Techniker den Abbau von biologisch nicht abbaubaren organischen Substanzen mittels Ozon und UV-C/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Denn diese Substanzen, der sogenannte harte CSB (hard COD), steht einer internen Kreislaufführung in der Industrie sonst im Wege. Unsere Ingenieure und Wissenschaftler vergleichen diese Behandlungen mit den jeweils möglichen Alternativen für die industriellen Abwasserströme der Kunden, z. B. Filtrationsmethoden und Adsorptionsmethoden.

Die Weiterentwicklung von hochinnovativen, neuen Technologien und die kritische Analyse ihrer Umwelteffizienz gegenüber dem Stand der Technik bearbeiten wir mit unseren Forschungspartnern in mehreren, zum Teil öffentlich geförderten Projekten. Schadstoffabbau in Konzentrationen von einigen hundert mg/L bis hin zu wenigen ng/L erreichen wir mit Plasmaoxidation, Elektrooxidation, 172-nm-UV-Strahlung und UV-A- oder Sonnenlicht-induziertem katalytischen Abbau. Effizient ist die Behandlung dort, wo Vermeidung oder biologische Behandlung nicht zielführend sind.

Zahlreiche deutsche Kläranlagen bauen derzeit bereits vorsorglich eine erweiterte Wasseraufbereitungsstufe, die sogenannte vierte Stufe – üblicherweise entweder mit Ozonbehandlung und Filtration oder mit Aktivkohleabsorption, um mehr Spurenstoffe aus dem Abwasser zu entfernen. Pflicht ist dies bisher nur in der Schweiz oder an Kläranlagen, die das Wasser indirekt wieder in ein Trinkwasserreservoir einspeisen. Doch die Listen mit zu überwachenden Substanzen werden länger und auch die Listen mit potenziell besorgniserregenden Einzelsubstanzen. Gerade wird intensiv erforscht, wie sich die eindeutig menschengemachten und nachweislich teilweise gesundheitsschädlichen per- und polyfluorierten Stoffe (PFAS) vermeiden, ersetzen und entfernen lassen.

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

## Die Kläranlage als Bio Raffinerie?

Der Weg hin zur Bioökonomie ist ein Transformationsprozess, der etablierte Wertschöpfungsketten verändert und diese zu kommunizierenden Wertschöpfungsnetzwerken weiterentwickelt. In diesem Zuge entwickelt das Fraunhofer IGB Konzepte für eine komplette Umgestaltung von Kläranlagen hin zu Abwasser-Bio Raffinerien mit Nutzung von Rest- und Abfallstoffen.

### Bioökonomie für lokale Kreislaufwirtschaft

Dies kann ein wichtiger Baustein im Sinne einer lokalen Kreislaufwirtschaft und eines modernen Bioökonomie-Ansatzes sein und ist essenziell für die Schließung von Stoffkreisläufen. Im Vordergrund stehen dabei die Nähr- und Wertstoffrückgewinnung und die Nutzung von Stoffströmen wie CO<sub>2</sub> zur Herstellung von Folgeprodukten. So hergestellte Produkte sollen iterativ in wertschöpfenden Prozessen als Ausgangsmaterialien eingesetzt werden, um eine wirklich nachhaltige Kreislaufwirtschaft realisieren zu können.

### Wertstoffzentrierte Verfahrenskombination

Das vom Land Baden-Württemberg geförderte Vorhaben »Rohstoffquelle Klärschlamm und Klimaschutz auf Kläranlagen« (RoKKa) verfolgt die Vision, die Trendwende zu einer Kläranlage als Bio Raffinerie durch eine wertstoffzentrierte Verknüpfung von innovativen Verfahren klimafreundlich und partizipativ voranzutreiben. Durch die Einbindung der für den Gewässerschutz bereits effizient arbeitenden Infrastrukturen auf den Kläranlagen wird eine flächendeckende Übertragbarkeit und eine Verstetigung des Ansatzes Kläranlage als Bio Raffinerie möglich.

### Hochlastfaulung ermöglicht Wertstoffproduktion aus Klärschlamm und CO<sub>2</sub>-Nutzung

RoKKa demonstriert anhand von insgesamt sechs Pilotanlagen auf der Kläranlage Erbach (Donau) die Produktion von Wertstoffen aus dem in einer Hochlastfaulung behandelten Teilstrom Klärschlamm. Die Stickstoff- und Phosphorrückgewinnung wird gekoppelt mit der Produktion von Mikroalgen. Carbon Capture and Utilization zu einer Basischemikalie



wird am Beispiel des CO<sub>2</sub> im Biogas pilotiert. In der Folge von RoKKa können Umweltschutzziele von Kläranlagen zukünftig mehrdimensional betrachtet werden (Gewässerschutz, Bioökonomie, Klimaschutz).

*Hochlastfaulung auf der Kläranlage Erbach.*

### Ausblick

Die nur 20 Kilometer von Erbach entfernte Kläranlage Ulm-Steinhäule (für 440 000 Einwohnerwerte) plant ebenfalls, den Klärschlamm zukünftig in einer Hochlastfaulung zu behandeln (vgl. IGB Jahresbericht 2020/21, S. 49; [www.igb.fraunhofer.de/hlf-uhl](http://www.igb.fraunhofer.de/hlf-uhl)). Mit Inbetriebnahme der Hochlastfaulung wird ein Großteil des im Schlamm enthaltenen Ammoniums zurückgelöst und über das Schlammwasser der Kläranlage wieder zugeführt. Das in Erbach pilotierte Verfahren zur Stickstoffrückgewinnung AmmoRe könnte hier eingesetzt werden, um einerseits die Rückbelastung zu reduzieren, andererseits den Stickstoff als Wertstoff zurückzugewinnen. Insofern ist die Beteiligung des Zweckverbands Klärwerk Steinhäule am Vorhaben RoKKa eine gute Voraussetzung, die pilotierten Verfahren auch in die Umsetzung bringen zu können.

### Kontakt

Dr.-Ing. Marius Mohr  
Tel. +49 711 970-4216  
[marius.mohr@igb.fraunhofer.de](mailto:marius.mohr@igb.fraunhofer.de)  
[igb.fraunhofer.de](http://igb.fraunhofer.de)

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

## Wasser 4.0 – Die Digitalisierung der Wasserwirtschaft

Wie in vielen anderen Lebensbereichen bekommt die Digitalisierung auch in der Wasserwirtschaft eine immer größere Bedeutung. Moderne Sensoren, komplexe Modellierungen, künstliche Intelligenz oder digitale Zwillinge bieten unglaubliches Anwendungspotenzial für das Ressourcenmanagement, die Überwachung von Wassermengen und -qualitäten oder auch bei der Optimierung von technischen Anlagen und Prozessen für die Wasseraufbereitung.

Am Fraunhofer IGB arbeiten wir in immer mehr Projekten an der Entwicklung und Integration digitaler Anwendungen in umwelttechnischen Applikationen. Ein Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Etablierung effizienter Daten- und Kommunikationsinfrastrukturen, um die effektive Kommunikation sensorgestützter Systemkomponenten und eine smarte Prozesssteuerung zu ermöglichen. Hier kommen auch unsere langjährigen Erfahrungen und Kompetenzen aus der Automatisierungstechnik für umwelttechnische Anlagen zum Einsatz.

### Systemarchitektur für KI-optimierte Prozesssteuerung

In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt Hypowave+ arbeiten wir zusammen mit Forschungs- und Praxispartnern aus der Land- und Wasserwirtschaft an der sicheren Wasserwiederverwendung im hydroponischen Gewächshaus. Als IGB koordinieren wir die Arbeiten zum Thema Digitalisierung mit dem Ziel, die zahlreichen Prozess-, Anlagen- und Sensordaten optimal miteinander zu verbinden. Mit unseren Arbeiten ermöglichen wir die effektive Kommunikation der umwelttechnischen Anlagen und entwickeln eine übergreifende Steuerung für das Gesamtsystem. Diese Kommunikation ermöglicht es unseren Partnern dann, Analysen mittels künstlicher neuronaler Netze (KNN) durchzuführen, deren Ergebnisse der automatischen Optimierung der Gesamtsteuerung und somit aller Systemkomponenten entlang der Verfahrenskette dienen. So werden optimierte Lösungen für die mitunter konkurrierenden Zielstellungen – Nährstoffelimination in der

Abwasserreinigung und Nährstoffversorgung im Pflanzenbau – identifiziert. Die abgeleiteten Maßnahmen, wie zum Beispiel eine längere Belüftungszeit, werden zurück an die entsprechenden Komponenten kommuniziert und bei Bedarf ausgelöst.

Darüber hinaus untersuchen wir, wie sich die Möglichkeiten der Digitalisierung für das Hygiene-Risikomanagement in der Wasserwiederverwendung nutzen lassen, beispielsweise in Hinblick auf Keimbelastung oder den Eintrag pathogener Keime, und wie sich die Ergebnisse der mikrobiellen Untersuchungen im Labor, z. B. zum Nachweis von Viren und Bakterien, mit dem sensorgestützten Monitoring verbinden lassen.

### Datengestützte Steuerung blau-grüner Infrastrukturen

Die Kommunikation und datengestützte Optimierung wasserwirtschaftlicher Anlagen ist auch Gegenstand unserer Aktivitäten in dem BMBF-Projekt »Leipziger BlauGrün«. Am Campus des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung in Leipzig arbeiten wir an einer automatisierten Steuerung des Regenwasserabflusses von Gründächern. Das Pilot-Gründach ist auf einem Carport am Campus installiert und dient der Regenwassersammlung und -retention. Die Substrate innerhalb dieses Gründachs werden auf Feuchtigkeit, Leitfähigkeit und Temperatur sensorisch überwacht. Zusätzlich wird der Füllstand des Retentionsdachs kontinuierlich gemessen. Die übergeordnete Datenerfassung verfügt zudem über eine Schnittstelle zu einer Wetterstation. Wird ein stärkeres Regenereignis vorhergesagt, können Gründach und Zisterne kontrolliert entleert werden, um einen gesteuerten Abfluss zu erzeugen und Platz für die Retention des Regens zu schaffen. Am IGB befassen wir uns mit der Entwicklung der Infrastruktur zur Datenerfassung und -kommunikation. Eine wesentliche Herausforderung dabei ist die Harmonisierung unterschiedlicher Kommunikationsformate sowie die Integration von Bestandsanlagen mit neuen Anlagen innerhalb eines Gesamtsystems. Hier kann die Expertise des IGB in der Prozessautomatisierung und beim Umgang mit Messdaten auf die Ebene des Stadtquartiers übertragen werden.

oben:

Der Verschmutzungsgrad von Straßenabläufen kann stark variieren.

unten:

Luftsensoren in Erlangen und Ludwigsburg überwachen die Luftqualität an Straßen – die Daten helfen bei der Modellierung von Straßenabläufen.



### Modellierung für Nutzung alternativer Wasserressourcen

Neben grüner und blauer Infrastruktur machen graue Infrastrukturelemente wie Straßen noch immer einen Großteil urbaner Räume aus. Im BMBF-Projekt »Straße der Zukunft« untersuchen wir zukunftsfähige Konzepte für mehr Ressourceneffizienz im Straßenraum. Um zu untersuchen, ob und unter welchen Umständen sich von Straßen abfließendes Regenwasser für Bewässerungszwecke eignet, setzen wir Luftqualitätssensoren ein und analysieren mögliche Korrelationen mit Wasserqualitätsparametern von Straßenabläufen. Im Rahmen des Projekts wurde zudem eine Regenwasserzisterne mit einem Fassungsvermögen von 50 Kubikmetern im Ludwigsburger Dragonergässle in unmittelbarer Nähe mehrerer Schulgebäude eingebaut. Die Zisterne wird fortlaufend auf ihren Füllstand digital überwacht. Derzeit dient das von Dächern und einem gefilterten Straßenablauf gesammelte Regenwasser noch überwiegend zur Kanalspülung. Mithilfe von labortechnischen Untersuchungen der Regenwasser- und Straßenabwasserqualität sowie der Luftqualitätssensoren wird wissenschaftlich untersucht, inwiefern sich Vorhersagen zur Wasserqualität von Oberflächenabflüssen treffen lassen. Diese könnten dann einer breiteren Nutzung von gesammeltem Regenwasser, wie zum Beispiel der Bewässerung von Grünflächen, dienen und somit zu mehr Ressourceneffizienz im Straßenraum und im Quartier beitragen.

### Digitalisierung gemeinsam mit Partnern vorantreiben

Dieser kleine Ausschnitt zeigt bereits die vielfältigen Entwicklungs- und Anwendungsmöglichkeiten der Digitalisierung in der Wasserwirtschaft. Darüber hinaus bieten sich viele Kooperationsmöglichkeiten mit Unternehmen und Kommunen im In- und Ausland. Im Rahmen des von der Landesagentur Umwelttechnik BW finanzierten Projekts »Smart Water Monitoring Solapur« etwa arbeiten wir mit den Messtechnikern Jumo GmbH und Nivus GmbH, unseren Partnern im Netzwerk German Water Partnership, an der Implementierung eines digitalen Überwachungssystems auf einem Trinkwasserwerk in Solapur, Indien. Durch die erhöhte Datenverfügbarkeit können Betreiber Störungen einfacher identifizieren und ihren Betrieb optimieren.



Nachhaltigkeitsziele sind für die Städte von morgen entscheidend, aber zusätzliche Dimensionen wie Resilienz oder Wandlungsfähigkeit gegenüber zunehmenden Extremsituationen und sich verändernden Rahmenbedingungen erfordern neue Herangehensweisen, Strategien und Infrastrukturen. Gemeinsam mit Partnern aus Verwaltung, Industrie und Forschung im Fraunhofer Morgensstadt-Netzwerk treiben wir die Digitalisierung für eine nachhaltige Wasserwirtschaft voran.

*oben:*

*Die Bürgermeisterin von Solapur weiht den Schaltschrank der Firma Jumo ein.*

*unten:*

*Techniker der Firma Jumo und des Trinkwasserwerks in Solapur installieren die Sensoren.*

### Kontakt

**Marc Beckett M. Sc.**  
Tel. +49 711 970-4086  
marc.beckett@  
igb.fraunhofer.de

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

► [www.igb.fraunhofer.de/digitalisierung-wasser](http://www.igb.fraunhofer.de/digitalisierung-wasser)

# Publikationen



# Dissertationen

---

**Arnold, E. K.**

Detektion, Isolation und Identifikation proviraler Substanzen des humanen Hämofiltrats zur Therapie von EBV-assoziierten Krebsarten, Universität Stuttgart

**Buck, F.**

Development of CO<sub>2</sub> stable (La<sub>0.6</sub>Ca<sub>0.4</sub>)(Co<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub>)O<sub>3-δ</sub> hollow fiber membranes for the plasma induced CO<sub>2</sub> conversion, Leibniz Universität Hannover  
<https://doi.org/10.15488/11578>

**Castañeda-Losada, L.**

Redox hydrogels as platform for the efficient bioelectrochemical regeneration of NADPH, Ruhr-Universität Bochum

**Grimm, N.**

Process optimization of biotechnologically produced trans-ferulic acid in *E. coli*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Keller, S.**

Gewinnung und Charakterisierung biogener Azid-modifizierter extrazellulärer Matrix als click-chemisch vernetzbares Biomaterial, Universität Stuttgart  
<http://dx.doi.org/10.18419/opus-11771>

**Klose, L.**

Development of a purification process for biotechnologically produced ferulic acid, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Rebers, L.**

Physikalische und chemische Wechselwirkungen in Gelatine-Methacryloyl-Lösungen und deren Vernetzung zu Hydrogelen als Trägerstruktur für Gelenkknorpel-Äquivalente, Universität Stuttgart  
<http://dx.doi.org/10.18419/opus-11688>

**Unkelbach, G.**

Untersuchung zur Gewinnung von Lignin mittels autokatalytischem Ethanol/Wasser-Aufschluss und dessen hydrothermale Spaltung zu Phenolen, Universität Stuttgart  
<http://dx.doi.org/10.18419/opus-11544>

## Auf einen Blick

---

8 Dissertationen  
46 Hochschularbeiten  
79 Lehrtätigkeiten  
58 Artikel in  
Fachzeitschriften  
22 Konferenzbeiträge  
1 Buchbeitrag  
22 neu erteilte  
Schutzrechte

# Literatur

## Gesundheit

### S. 32, CoV-2-KomET – Hochdurchsatz-Diagnostik von respiratorischen Erkrankungen wie SARS-CoV-2

- [1] RKI Dashboard, Stand 28.02.2022  
[2] Buda, S.; Dürrwald, R.; Biere, B.; Reiche, J.; Buchholz, U.; Tolksdorf, K.; Schilling, J.; Goerlitz, L.; Streib, V.; Preuß, U.; Prahm, K.; Haas, W. und die AGI-Studiengruppe (2021) ARE-Wochenbericht – Aktuelles zu akuten respiratorischen Erkrankungen Kalenderwoche 47, Robert Koch-Institut

### S. 35, 3D-In-vitro-Modell zur Validierung von Immunrezeptoren als Targets für die Behandlung von Psoriasis

- [1] World Health Organization (2016) Global report on psoriasis, retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/global-report-on-psoriasis>

### S. 36, Programmierung biointelligenter Viren für den therapeutischen Einsatz

- [1] Bailer, S.M.; Funk, C.; Riedl, A.; Ruzsics, Z. (2017) Herpesviral vectors and their application in oncolytic therapy, vaccination, and gene transfer, *Virus Genes* 53(5): 741–748, DOI: 10.1007/s11262-017-1482-7 <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-455785.html>  
[2] Bailer, S.M. (2021) TheraVision – An oncolytic virus platform technology, *European Biotechnology* 20: 36

### S. 37, Bakteriophagen – Viren mit Zukunftspotenzial

- [1] World Health Organization (2019) Antibacterial agents in preclinical development: an open access database

### S. 38, SOP Bioprinting

- [1] Gonçalves, A.M.; Moreira, A.; Weber, A.; Williams, G.R.; Costa, P.F. (2021) Osteochondral tissue engineering: The potential of electrospinning and additive manufacturing, *Pharmaceutics* 13(7), 983, DOI: 10.3390/pharmaceutics13070983 <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-637887.html>

## Nachhaltige Chemie

### S. 49, Flexibler Aufschluss von Lignocellulose

- [1] Smit, A.; Huijgen, W. (2017) Effective fractionation of lignocellulose in herbaceous biomass and hardwood using a mild acetone organosolv process, *Green Chemistry* 19: 5505–5514  
[2] Schulze, P.; Leschinsky, M.; Seidel-Morgenstern, A.; Lorenz, H. (2019) Continuous separation of lignin from organosolv

pulping liquors – combined lignin particle formation and solvent recovery, *Industrial and Engineering Chemistry Research* 58(9): 3797–3810, DOI: 10.1021/acs.iecr.8b04736 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-549690.html>

### S. 52, Innovationsallianz Funktionsoptimierte Biotenside Phase 2

- [1] Beck, A.; Zibek, S. (2020) Mannosylerythritollipide – mikrobielle Biotenside aus dem Bioreaktor, *BIOspektrum* 26(1): 100–102, DOI: 10.1007/s12268-020-1332-3 <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-582395.html>  
[2] Beck, A.; Haitz, F.; Grunwald, S.; Preuss, L.; Rupp, S.; Zibek, S. (2019) Influence of microorganism and plant oils on the structure of mannosylerythritol lipid (MEL) biosurfactants revealed by a novel thin layer chromatography mass spectrometry method, *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 46(8): 1191–1204, DOI: 10.1007/s10295-019-02194-2 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-549698.html>  
[3] Beck, A.; Zibek, S. (2020) Growth behaviour of selected *Ustilaginaceae* fungi used for mannosylerythritol lipid (MEL) biosurfactant production – evaluation of a defined culture medium, *Frontiers in Biotechnology and Bioengineering* 8, DOI: 10.3389/fbioe.2020.555280 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-639870.html>  
[4] Oraby, A.; Werner, N.; Sungur, Z.; Zibek, S. (2020) Factors affecting the synthesis of cellobiose lipids by *Sporisorium scitamineum*, *Frontiers in Biotechnology and Bioengineering* 8, DOI: 10.3389/fbioe.2020.555647 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-639902.html>

### S.54, Erfolgreicher Projektabschluss: CO<sub>2</sub>-basierte Elektrosynthese von Ethylenoxid

- [1] Pangotra, D.; Csepei, L.-I.; Roth, A.; Ponce de León, C.; Sieber, V.; Vieira, L. (2022) Anodic production of hydrogen peroxide using commercial carbon materials, *Applied Catalysis B: Environmental* 303, DOI: 10.1016/j.apcatb.2021.120848  
[2] Rodin, V.; Lindorfer, J.; Böhm, H.; Vieira, L. (2020) Assessing the potential of carbon dioxide valorisation in Europe with focus on biogenic CO<sub>2</sub>, *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization* 41, 101219, DOI: 10.1016/j.jcou.2020.101219 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-615236.html>  
[3] Perry, S.C.; Pangotra, D.; Vieira, L.; Csepei, L.-I.; Sieber, V.; Ponce de León, C.; Wang, L.; Walsh, F. (2019) Electrochemical synthesis of hydrogen peroxide from water and oxygen, *Nature Reviews Chemistry* 3: 442–458, DOI: 10.1038/s41570-019-0110-6 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-549694.html>

### S. 55, Geld verdienen mit Kohlenstoffdioxid?

[1] Drünert, S.; Neuling, U.; Timmerberg, S.; Kaltschmitt, M. (2019) Power-to-X (PtX) aus »Überschussstrom« in Deutschland – Ökonomische Analyse, Zeitschrift für Energiewirtschaft 43: 173–191

### S. 58, AlgaeTex – Entwicklung von biobasierten Polymergarnen aus Mikroalgen

[1] Münkel, R.; Schmid-Staiger, U.; Werner, A.; Hirth, T. (2013): Optimization of outdoor cultivation in flat panel airlift reactors for lipid production by *Chlorella vulgaris*, Biotechnology and Bioengineering 110(11): 2882–2893, DOI: 10.1002/bit.24948 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-254859.html>

### S. 59, Chrysolaminarin, lösliches $\beta$ -Glucan aus Mikroalgen

[1] Reis, B.; Gonçalves, A. T.; Santos, P.; Sardinha, M.; Conceição, L. E. C.; Serradeiro, R.; Pérez-Sánchez, J.; Caldach-Giner, J.; Schmid-Staiger, U.; Frick, K.; Dias, J.; Costas, B. (2021) Immune status and hepatic antioxidant capacity of gilthead seabream *Sparus aurata* juveniles fed yeast and microalga derived  $\beta$ -glucans, Marine Drugs 19(12), DOI: 10.3390/md19120653

[2] Gora, A. H.; Rehman, S.; Kiron, V.; Dias, J.; Fernandes, J. M. O.; Olsvik, P. A.; Siriyappagounder, P.; Vatsos, I.; Schmid-Staiger, U.; Frick, K.; Cardoso, M. (2022) Management of hypercholesterolemia through dietary  $\beta$ -glucans – Insights from a zebrafish model, Frontiers in Nutrition 8, DOI: 10.3389/fnut.2021.797452

[3] Derwenskus, F.; Schäfer, B.; Müller, J.; Frick, K.; Gille, A.; Briviba, K.; Schmid-Staiger, U.; Hirth, T. (2020) Coproduction of EPA and fucoxanthin with *P. tricornutum* – A promising approach for up- and downstream processing, Chemie Ingenieur Technik 92(11), DOI: 10.1002/cite.202000046 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-615156.html>

## Umwelt

### S. 64, Befeuchtermembranen für das Wassermanagement in Brennstoffzellen

[1] Jesswein, I.; Uebele, S.; Dieterich, A.; Keller, S.; Hirth, T.; Schiestel, T. (2018) Influence of surface properties on the dip coating behaviour of hollow fiber membranes, Journal of Applied Polymer Science 135(16), DOI:10.1002/app.46163

[2] Michele, A.; Paschkowski, P.; Hänel, C.; Tovar, G.; Schiestel, T.; Southan, A. (2021) Acid catalyzed cross-linking of polyvinyl alcohol for humidifier membranes, Journal of Applied Polymer Science 139(6), DOI: 10.1002/app.51606

<http://publica.fraunhofer.de/documents/N-642032.html>

### S. 66, Bedarfsorientierte Biogasproduktion als Beitrag zur Energiewende

[1] Grohmann, A.; Fehrmann, S.; Vainshtein, Y. et al. (2018) Microbiome dynamics and adaptation of expression signatures during methane production failure and process recovery, Bioresource Technology 247, DOI: 10.1016/j.biortech.2017.08.214 <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-470575.html>

[2] Grohmann, A.; Vainshtein, Y.; Euchner, E. et al. (2018) Genetic repertoires of anaerobic microorganisms driving generation of biogas, Biotechnology for biofuel 11, 255, DOI: 10.1186/s13068-018-1258-x

<http://publica.fraunhofer.de/documents/N-519812.html>

[3] Wood, D.E.; Lu, J.; Langmead, B. (2019) Improved metagenomic analysis with Kraken 2, Genome Biology 20, 257

### S. 68, Morgenstadt Global Smart Cities: Anpassung an den Klimawandel

[1] <https://mgi-iki.com/de/bibliothek>  
Executive Summary City Lab Kochi; Summary Report City Profile Saltillo

### S. 70, Wasserreinigung: Abbau von Spurenstoffen und hartem CSB

[1] <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/2021-10-01>  
Consolidated text: Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EEC and 2000/21/EC Text with EEA relevance

[2] <http://data.europa.eu/eli/dir/2013/39/oj>  
Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy Text with EEA relevance

[3] <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/2014-11-20>  
Consolidated text: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy

[4] <http://data.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>  
Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) Text with EEA relevance

[5] [https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/evaluation/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/evaluation/index_en.htm)

# Impressum

---

## Redaktion und Lektorat

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Antje Hetebrüg,  
Lisa Kern M. A.,  
Jan Müller M. A.,  
Dr. Elke Präg,  
Dipl.-Des. Thaya Schroeder M. Sc. (Bild),  
Dr. Claudia Vorbeck  
und die jeweils als Ansprechpersonen  
genannten Wissenschaftler und  
Wissenschaftlerinnen.

## Gestaltung

Dipl.-Des. Thaya Schroeder M. Sc.

## Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-  
und Bioverfahrenstechnik IGB  
Dr. Claudia Vorbeck  
Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart

## Bildquellen

Bez, Rainer: Seite 17  
Binsack, Gunter: Seite 50  
Deutsch, Michael: Seite 17  
Fernández López, Trinidad: Seite 68  
JUMO: Seite 73  
Katz, Marcel / WLB Stuttgart: Seite 20  
Kleinbach, Frank: Seite 7  
Michalke, Norbert: Seite 42, 53  
Müller, Bernd: Seiten 30, 31  
Müller, Marc: Umschlag, Seiten 46, 47  
Schwarz, Marius / BIOCOM AG: Seite 21  
Shutterstock: Seiten 27, 29, 41, 61  
Variolytics GmbH: Seite 24, 25  
Witte, Heiner / Wissenschaft im Dialog: Seite 20  
Zweckverband Klärwerk Steinhäule: Seite 63

Alle anderen Abbildungen

© Fraunhofer IGB/Fraunhofer-Gesellschaft

BioEcoSIM®, Caramid-R®, Caramid-S®, ePhos®, EthaNa®,  
nanodyn®, Nawamere®, Morgenstadt®, POLO® und  
SYSWASSER® 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 2022

# Information

---

Weitere Informationen finden Sie im Internet

## Kompetenzen

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

## Analytik-Leistungsangebot

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

## Infrastruktur, Labor- und Geräteausstattung

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

## Kooperationen und Netzwerke

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

## Publikationen

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

## Aktuelle Messen und Veranstaltungen

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

## Presseinformationen

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

## Newsletteranmeldung

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

... oder folgen Sie uns auf unseren Social-Media-Kanälen



**Facebook**

[www.facebook.com/FraunhoferIGB](http://www.facebook.com/FraunhoferIGB)



**Instagram**

[www.instagram.com/fraunhoferigb](http://www.instagram.com/fraunhoferigb)



**YouTube**

[www.youtube.com/FraunhoferIGB](http://www.youtube.com/FraunhoferIGB)



**Twitter**

[www.twitter.com/FraunhoferIGB](http://www.twitter.com/FraunhoferIGB)



**LinkedIn**

[www.linkedin.com/company/fraunhofer-igb](http://www.linkedin.com/company/fraunhofer-igb)



**XING**

[www.xing.com/pages/fraunhofer-institutfurgrenzflächen-undbioverfahrenstechnikigb](http://www.xing.com/pages/fraunhofer-institutfurgrenzflächen-undbioverfahrenstechnikigb)

## Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Tel. +49 711 970-4401  
Fax +49 711 970-4200  
[info@igb.fraunhofer.de](mailto:info@igb.fraunhofer.de)

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

## eBioCO<sub>2</sub>n

---

Forschende des Fraunhofer IGB haben gemeinsam mit Partnern des Max-Planck-Instituts für terrestrische Mikrobiologie und der TUM Campus Straubing ein neues Verfahren zur Nutzung des Treibhausgases CO<sub>2</sub> entwickelt: Im Projekt eBioCO<sub>2</sub>n wird CO<sub>2</sub> in einer elektrochemisch angetriebenen Enzymreaktion an ein Substrat fixiert. Das Produkt ist ein wichtiges Intermediat für die Herstellung von biobasierten Feinchemikalien, wenn es mit weiteren Enzymkaskaden gekoppelt wird. Mithilfe von erneuerbarer Energie ermöglicht der neuartige modulare elektrobiokatalytische Prozess so die klima- und ressourceneffiziente Herstellung von Spezialchemikalien. Mit der neuen Plattformtechnologie leistet das Projekt einen wichtigen Schritt zu einer kreislauforientierten Kohlenstoffwirtschaft.

Im Bild: Dr. Leonardo Castañeda-Losada vom Innovationsfeld Bioinspirierte Chemie hat ein redoxaktives Hydrogel mit biotechnologisch hergestellten Enzymen für die CO<sub>2</sub>-Fixierung auf eine Elektrode aufgebracht.

