

Technologien für einen  
gesunden Menschen in  
einer gesunden Umwelt

---

**Jahresbericht 2023/24**

## 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 mehr als 70 Institute und Forschungseinrichtungen.

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.

Hoch motivierte Mitarbeitende, die Spitzenforschung betreiben, 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.

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

# Technologien für einen gesunden Menschen in einer gesunden Umwelt

---

**Jahresbericht 2023/24**

# 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 .....	11
Organisation .....	12
Leistungsangebot .....	14
Das Institut in Zahlen .....	16
<b>Highlights 2023</b> .....	<b>18</b>
Neue Forschungszentren .....	18
Rückblick auf das Jubiläumsjahr .....	19
<b>Circular Health</b> .....	<b>23</b>
Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion .....	25
Maßgeschneiderte Formulierungen für die Landwirtschaft .....	26
Nachweis humanpathogener Viren in Abwasser .....	27
Detektion von Insekten- und Lebensmittelpathogenen .....	28
Zoonosen und mikrobielle Resistenzen .....	29
Nanogel-Biosensoren für eine schnelle und sichere Pathogendiagnostik .....	30
Präzisionsdiagnostik mikrobieller Resistenzen und Resistenzentwicklung .....	31
In-vitro-Hundehaut-Äquivalent zur Testung veterinärmedizinischer Therapeutika .....	32
Wertschöpfungskreisläufe im Gesundheitssektor .....	34
Gesundheit und Umwelt .....	35
Zellbasierte Testsysteme zur Bewertung der Sicherheit von Arzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten .....	36

<b>Problemfall PFAS</b> .....	<b>39</b>
Substitution: Unschädliche Alternativen zu PFAS .....	41
Substitution von PFAS über neue Materialien und Beschichtungen .....	42
Hydrophob-Ausrüstung von Textilien mit biobasiertem Chitosan .....	43
Hydrophobe Oberflächen durch hydrophobe Proteine .....	44
Fluorfreie Membranen für Filtration und Energiewende .....	45
Entfernung von PFAS aus Wasser .....	46
Aufbereitung und Rückgewinnung PFAS-belasteter Wässer mittels Atmosphären-	
Wasserplasma-Behandlung .....	47
Unabhängiger Technologievergleich in der Wasserbehandlung: Etablierte und neue,	
grüne und effiziente Methoden .....	48
<b>CO<sub>2</sub> als Rohstoff für eine nachhaltige Chemie</b> .....	<b>51</b>
CO <sub>2</sub> – Vom Treibhausgas zum Rohstoff .....	52
CO <sub>2</sub> -Konversionstechnologien und Produkte aus CO <sub>2</sub> .....	53
Chemische (thermokatalytische) Konversion von CO <sub>2</sub> mit Wasserstoff .....	54
Elektrokatalytische Konversion von CO <sub>2</sub> .....	55
Umwandlung von CO <sub>2</sub> mittels Plasma-Spaltung .....	56
Synthetische Kraftstoffe .....	57
Power-to-X-to-Y-Kaskadenprozesse: Kombination von Power-to-X und	
industrieller Biotechnologie .....	58
Biotechnologische Verwertung von CO <sub>2</sub> mit Mikroalgen .....	59
Elektrobiokatalytische Fixierung von CO <sub>2</sub> .....	60
<b>Skalierung und Pilotierung neuer Verfahren für Chemie und Biotechnologie</b> .....	<b>63</b>
Fraunhofer IGB – Ihr Partner für die Skalierung von Prozessen und Technologien .....	65
So arbeiten Sie mit uns zusammen .....	69
<b>Publikationen</b> .....	<b>72</b>
Dissertationen .....	73
<b>Impressum</b> .....	<b>74</b>
<b>Information</b> .....	<b>75</b>



# Vorwort

---

## **Liebe Leserinnen und Leser,**

das Jahr 2023 war für das Fraunhofer IGB ein facettenreiches Jahr, mit bemerkenswerten Erfolgen und wichtigen Ereignissen. Gleichzeitig war es geprägt durch vielfältige interne und externe Herausforderungen, die es zu meistern galt.

Wir haben das 70-jährige Bestehen unseres Instituts und das 10-jährige Bestehen unserer Standorte in Leuna und in Straubing gefeiert. Diese Ereignisse haben wir als Rahmen für viele weitere erfolgreiche Veranstaltungen und Aktionen wahrgenommen. So durften wir mehrmals hochrangige Vertreter aus Politik und Wirtschaft begrüßen, beim Festakt »10 Jahre Fraunhofer CBP« im Mai am Standort Leuna ebenso wie im Juli bei unserem Jubiläumssymposium »70 Jahre Fraunhofer IGB« in Stuttgart. Besonders hervorgehoben wurde von unseren Gästen die Fähigkeit und Kompetenz des IGB, Biologie und Technik miteinander zu verbinden, ebenso wie unsere Aktivitäten – insbesondere am Standort Leuna – zur Translation von anwendungsrelevanten Technologien in die industrielle Umsetzung.

Im Fokus der Jubiläen standen unsere Mitarbeitenden, auf welchen sich der Erfolg des Instituts begründet. In der begleitenden medialen Kampagne »70 Jahre, 70 Stimmen« berichteten sie über das Jahr, an welchen spannenden Themen sie arbeiten und wie sie mit ihren Inventionen und Innovationen dazu beitragen, die Zukunft zu gestalten. Zugleich haben wir uns über zahlreiche Grußbotschaften von Alumni, Wegbegleitenden und Partnern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft gefreut, die auf gemeinsame Erfolge zurück- und mit uns nach vorn geblickt haben.

Ein wichtiger Meilenstein für unsere innovativen Entwicklungen zur stofflichen Nutzung von CO<sub>2</sub> – und damit ein wichtiger Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität – war die Übergabe des Zuwendungsbescheids für das mit 11,9 Millionen Euro vom Freistaat Bayern geförderte Zentrum für nachhaltige Kraftstoffe (ZENK) in Straubing. In diesem Zentrum, welches das IGB in den kommenden vier Jahren gemeinsam mit dem Fraunhofer UMSICHT Sulzbach-Rosenberg betreiben wird, entwickeln wir anwendungsrelevante Lösungen für und mit der Industrie zur Schließung von Kohlenstoffkreisläufen.

Ein herausragender Erfolg im Geschäftsfeld Gesundheit ist der Aufbau unserer neuen Außenstelle »Virus-basierte Therapien« in Biberach, die mit rund 25 Millionen Euro über fünf Jahre vom baden-württembergischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus gefördert wird. Dort werden wir, in enger Kooperation mit unseren industriellen Partnern, neue Technologien zur Herstellung und Testung viraler Therapeutika, vor allem gegen Krebs, entwickeln.

Im September 2023 haben wir die unter unserer Leitung mit vielen anderen Fraunhofer-Instituten erarbeitete Roadmap »Zirkuläre Bioökonomie für Deutschland« an hochrangige Vertreter der Europäischen Kommission in der Generaldirektion für Forschung und Innovation übergeben. Damit haben wir auch auf EU-Ebene ein sichtbares Zeichen für die weitere Förderung von Maßnahmen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Bioökonomie gesetzt.

Einen starken, disziplinübergreifenden Impuls für die Bioökonomie konnten wir am IGB auch durch die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Kunst senden: Die Installation »Circular« der Berliner Künstler Niklas Thran und Robin Woern, die wir im Dezember in Stuttgart eingeweiht haben, stellt biobasierte Materialien und Produkte vor, die am IGB Verwendung finden. Ermöglicht wurde das Kunstwerk über das Projekt »Look@BioEconomy«, welches durch das Fraunhofer-Netzwerk »Wissenschaft, Kunst und Design« gefördert wurde.

Ich bedanke mich bei den Mitarbeitenden des Instituts an unseren Standorten in Stuttgart, Straubing und Leuna – sowie seit Kurzem auch in Biberach –, die durch ihr Engagement, ihre Kompetenz und ihre Kreativität zu unseren Erfolgen beigetragen haben. Auch im nächsten Jahr werden wir gemeinsam mit Forschung und Entwicklung in Umwelt- und Klimaschutztechnologien, Nachhaltiger Chemie und Gesundheit unserer Mission der Forschung für einen gesunden Menschen in einer gesunden Umwelt konsequent folgen.

Ebenso geht mein Dank an unsere Kunden und Partner für die gute Zusammenarbeit und das Vertrauen, mit uns gemeinsam Innovationen und, darauf aufbauend, die Transformation der Wirtschaft voranzutreiben. Ich wünsche Ihnen eine informative Lektüre und freue mich auf die weitere Zusammenarbeit sowie neue, spannende Projekte.



Markus Wolperdinger  
Institutsleiter

# Profil

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 Coronapandemie ganz aktuell gezeigt hat.

Wir  
verbinden  
Biologie  
und  
Technik

**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 sowie Umwelt und Klimaschutz. Dabei setzen wir auf eine einzigartige Kombination biologischer und verfahrenstechnischer Kompetenzen, um mit ressourceneffizienten und kreislaforientierten Prozessen, dem Systemansatz der Bioökonomie und bioinspirierten sowie biointelligenten Ansätzen zum Wohlergehen des Menschen, einer nachhaltigen Wirtschaft und einer intakten Umwelt beizutragen.

## Gesundheit



- Molekulare Präzisionsdiagnostik
- Arzneimittelentwicklung und Personal-Care-Produkte
  - Zellbasierte Testsysteme, Immunrezeptor-Assays und Produktionszelllinien
  - Onkolytische Viren
  - Formulierung, Drug Delivery and Release
- Biomaterialien für die Medizintechnik
- Pathogennachweis und Entkeimungsverfahren

## Nachhaltige Chemie



- Entwicklung und Skalierung von Verfahren zur Herstellung von
  - Fein- und Spezialchemikalien
  - Biopolymeren und biobasierten Materialien
  - Inhaltsstoffen für Lebens- und Futtermittel
- Technologien zur stofflichen Nutzung von CO<sub>2</sub> und Power-to-X
- Funktionale Materialien und maßgeschneiderte Beschichtungen

## Umwelt und Klimaschutz



- Neue Wasserreinigungskonzepte
  - Trinkwasseraufbereitung
  - Prozesswasseraufbereitung
  - Abwasser- und Schlammbehandlung
- Abfall und Abwasser als Ressource
  - Rückgewinnung von Nährstoffen und Metallen
- Integriertes Wasser-, Energie-, Abfall- und Nährstoffmanagement
  - Wasserwiederverwendung
  - Hydroponik/Bioponik
- Energiewende und nachhaltige Mobilität



## Vision: Wir verbinden Biologie und Technik

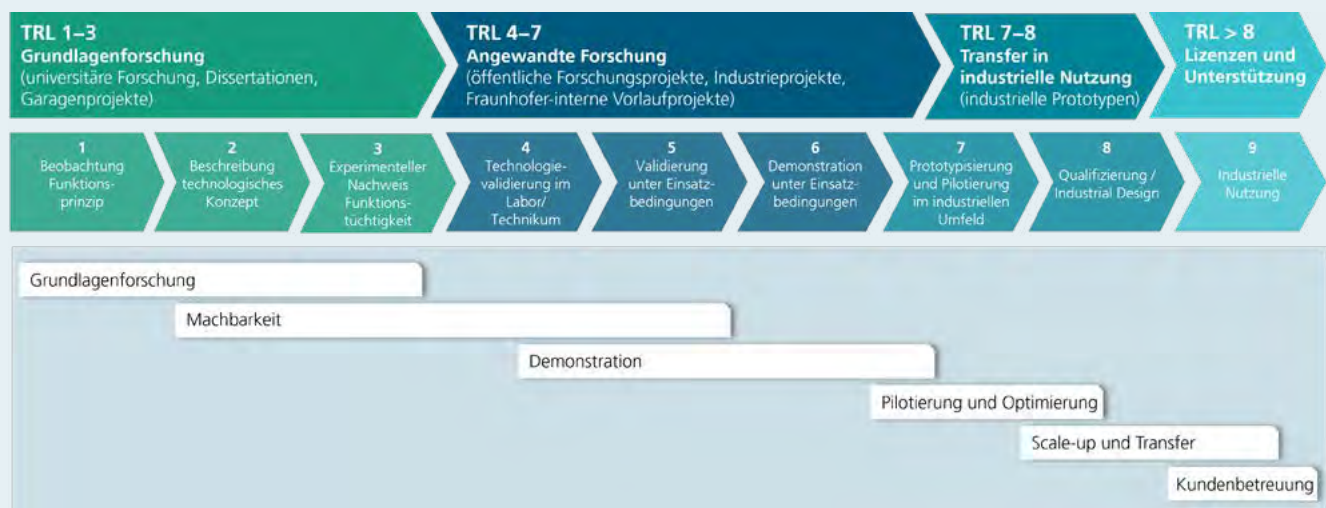
Innovative Verfahren und Produkte erfordern mehr denn je das konstruktive Zusammenspiel verschiedener Disziplinen in Systemansätzen. Durch die Verbindung von Biologie und Technik – in der Bioverfahrenstechnik, aber auch durch genetisches Engineering von Viren und Bakterien, die Kombination von Zellkultur 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.

## Forschung für den Markt



Mit Forschungs-, Entwicklungs- und Transferleistungen bis zur Markteinführung machen wir am Fraunhofer IGB Ideen zu Innovationen.

**TRL = Technology Readiness Level, Technologiereifegrad**

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



*Austausch im Technikum im Rahmen der Kuratoriumssitzung am 30. März 2023 in Stuttgart*

# 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

**Prof. Dr. Uwe Bücheler**  
C. H. Boehringer Sohn AG &  
Co. KG

**MinR Dr.  
Hans-Jürgen Froese**  
Bundesministerium für  
Ernährung und Land-  
wirtschaft (BMEL)

**Prof. Dr. Elke Guenther**  
AIT Austrian Institute of  
Technology GmbH

**Dr. Lorenz Mayr  
(Vorsitzender)**  
Mayr BioMedTech Consulting

**Dr. Dr. h. c.  
Christian Patermann**  
Direktor a. D. EU-Kommis-  
sion, MinDirig. a. D. BMBF

**Dr. Christian Renz**  
Ministerium für Wirt-  
schaft, Arbeit und Touris-  
mus Baden-Württemberg

**Dr. Kathrin Rübberdt**  
DECHEMA e. V.

**Dr. Elisabeth  
Saken-Braunstein**  
Ministerium für Umwelt,  
Klima und Energiewirtschaft  
Baden-Württemberg

**Dr. Joachim Schulze**  
JS BioConsulting GmbH

**Dr.-Ing. Hannes Spieth**  
Umwelttechnik BW GmbH

**Prof. Dr.-Ing. Ralf Takors**  
Institut für Bioverfahrens-  
technik, Universität Stuttgart

**Prof. Dr.-Ing.  
Wiltrud Treffenfeldt**  
LifeScience, BioTechno-  
logy, BioEconomy

**Dr. Günter Wich**  
Industrielle Biotechnologie

**Dr. Peter Wolfangel**  
Robert Bosch GmbH

## Gäste

**Prof. Dr. Herwig Brunner**  
*(ständiger Gast)*  
Ehemaliger Institutsleiter

**MR Dr. Stefan Wimbauer**  
Bayerisches Staatsministerium  
für Wirtschaft, Landesent-  
wicklung und Energie

# Organisation

## Institutsleitung



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

## Stellvertretende Institutsleitung



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

## Stellvertretende Institutsleitung



**Dr.-Ing. Ursula Schließmann**  
Tel. +49 711 970-4222  
ursula.schliessmann@  
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

## Leitung der Servicebereiche

### Analytik – Stuttgart



**Katharina Wasmer M. Sc.**  
Tel. +49 711 940-4037  
katharina.wasmer@  
igb.fraunhofer.de

### Funktionale Oberflächen und Materialien



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

### Regenerative Ressourcen



**Dr. Ulrike Junghans**  
Tel. +49 3461 43-9128  
ulrike.junghans@  
igb.fraunhofer.de

### Analytik – Leuna



**Florian Neumann**  
Tel. +49 3461 43-9108  
florian.neumann@  
igb.fraunhofer.de

### Industrielle Biotechnologie



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

### Virus-basierte Technologien



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

### Arbeitssicherheit



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

### In-vitro-Diagnostik



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

### Wassertechnologien, Wertstoff- gewinnung und Scale-up



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

## Verwaltungsleitung



**Sophie Vaaraniemi M. Sc.**  
Tel. +49 711 970-4036  
sophie.vaaraniemi@  
igb.fraunhofer.de

## Geschäftsfeldkoordination

### Gesundheit



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

### Nachhaltige Chemie



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

### Umwelt und Klimaschutz



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

## Standortleitung

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



**Dipl.-Kfm. Holger Schilaske**  
Tel. +49 3461 43-9120  
holger.schilaske@  
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

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

# Leistungsangebot

## Nachhaltige Technologien für einen gesunden Menschen in einer gesunden Umwelt

### Wir sorgen für eine schnelle und präzise Diagnostik in Kliniken

In der Medizin gilt es, Krankheitserreger und deren Antibiotika-Resistenzen oder Tumormarker so schnell und so genau wie möglich nachzuweisen. Dazu greifen wir auf modernste molekularbiologische Methoden zurück wie Next-Generation Sequencing und KI-basierte Analysemethoden.

### Wir entwickeln onkolytische Viren

Wir nutzen Viren als Therapeutika. Onkolytische Viren infizieren gezielt Krebszellen und stimulieren eine Immunreaktion, um den Tumor zu eliminieren. Wir entwickeln effektive onkolytische Viren sowie Verfahren für deren effiziente und reproduzierbare Herstellung.

### Wir stellen präklinische Testsysteme und Formulierungen für Ihre Wirkstoffe bereit

Medizin, Pharmazie und Personal Care profitieren von unseren innovativen zell- und molekularbiologischen Technologien. Wir entwickeln präklinische In-vitro-Testsysteme und optimieren Verfahren für das Wirkstoffscreening und die Wirkstoff-Formulierung.

### Industrielle Bioökonomie: Nachhaltiger produzieren mit erneuerbaren Ressourcen

Aus nachwachsenden Rohstoffen, biogenen Reststoffen und CO<sub>2</sub> lassen sich nachhaltige Chemikalien, Materialien und Kraftstoffe herstellen. Hierfür entwickeln und optimieren wir die benötigten Aufbereitungs- und biotechnologischen, chemischen, elektrochemischen und thermischen Konversionsverfahren und skalieren diese bis in den Pilotmaßstab.



### Wir weisen mikrobielle Kontaminationen nach

Ob auf Oberflächen, in Prozessmedien, im Wasser oder in der Umwelt – wir detektieren zuverlässig Mikroorganismen, Viren und deren Spuren – für die Qualitäts-, Prozess- und Produktkontrolle bis hin zum Umwelt-Monitoring.

### Wir machen Wasser- management nachhaltig – auch dank Kreislaufführung

Sauberes (Trink-)Wasser ist eine wertvolle Ressource. Deswegen entwickeln wir Wasser-management-Lösungen für Kommunen, Industrie und Landwirtschaft und legen den Fokus auf eine Kreislaufführung, die auch eine Rückgewinnung von Energie und wertvollen Inhaltsstoffen ermöglicht.

### Für reine Produkte trennen wir Stoffgemische effizient auf

In Synthese- und Recyclingprozessen geht es darum, Wertstoffe in möglichst reiner Form aus Stoffströmen zu gewinnen. Unser Fokus liegt auf der selektiven und effizienten Trennung von Stoffgemischen und Aufarbeitung von Syntheseprodukten – hierzu entwickeln wir Membranen, Adsorber-Partikel, thermische und Extraktionsverfahren.

### Ihre Abfälle – unsere Ressource

Mithilfe verschiedenster Technologien schaffen wir Lösungen für die (Wieder-)Nutzung industrieller, landwirtschaftlicher und kommunaler Abfallströme. Im Vordergrund steht dabei die Rückgewinnung von Wert- und Nährstoffen sowie die Herstellung von Biogas und Bio-wasserstoff.

### Unsere Materialent- wicklungen: funktional und bioinspiriert

Mithilfe von funktionalen Schichten statten wir Materialien mit gewünschten Eigenschaften aus, um spezifische Anwendungen zu ermöglichen und Problemchemikalien wie PFAS zu vermeiden. Auch lassen wir uns von der Natur inspirieren und entwickeln biobasierte Polymere und Materialien mit integrierten biomolekularen Funktionalitäten.

### Unsere In-vitro- Testverfahren detektieren gesundheitsschädliche Substanzen

Unsere Reporterhaut ermöglicht einen präzisen Nachweis allergener, toxikologischer oder endokriner Wirkungen von Stoffen am lebenden In-vitro-Gewebe. So stellen wir die Unbedenklichkeit von Kosmetika und Chemikalien für die Materialentwicklung sicher und detektieren Schadstoffe in der Umwelt.

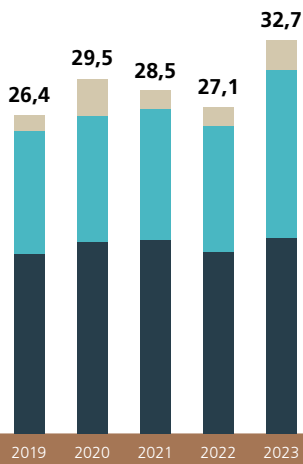
### Wir entfernen Schadstoffe vollständig

Für die Gesundheit von Mensch und Umwelt schützen wir unsere Ressourcen mithilfe von Technologien und Verfahren zur effektiven und effizienten Entfernung nicht abbaubarer Schadstoffe, etwa PFAS oder Medikamentenrückstände.

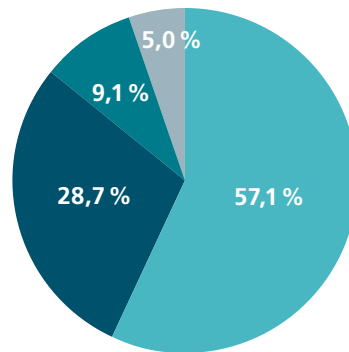


# Das Institut in Zahlen

Entwicklung des Gesamthaushalts in Mio €



- Investitionen
- Sachaufwand
- Personalaufwand



Herkunft der eigenen Erträge 2023

- Bund/Länder
- Industrie/Wirtschaftsverbände
- EU
- Sonstige

22 Posts mit IGB-Forscherinnen

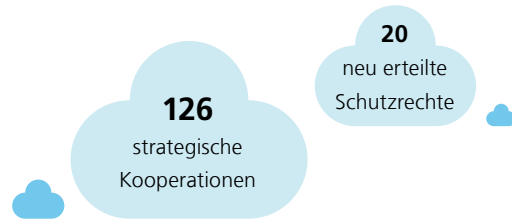
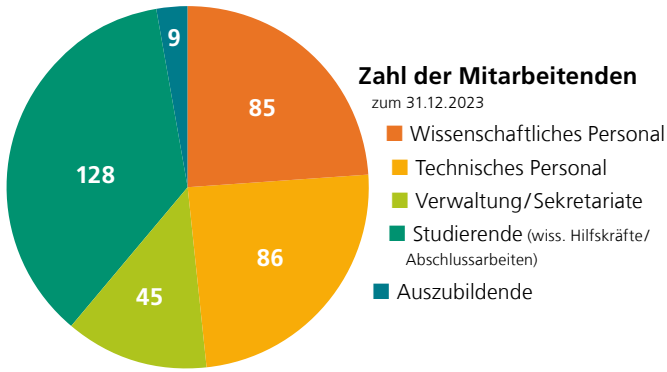
805 Follower  
+30% seit 2022



6499 Follower  
+34% seit 2022



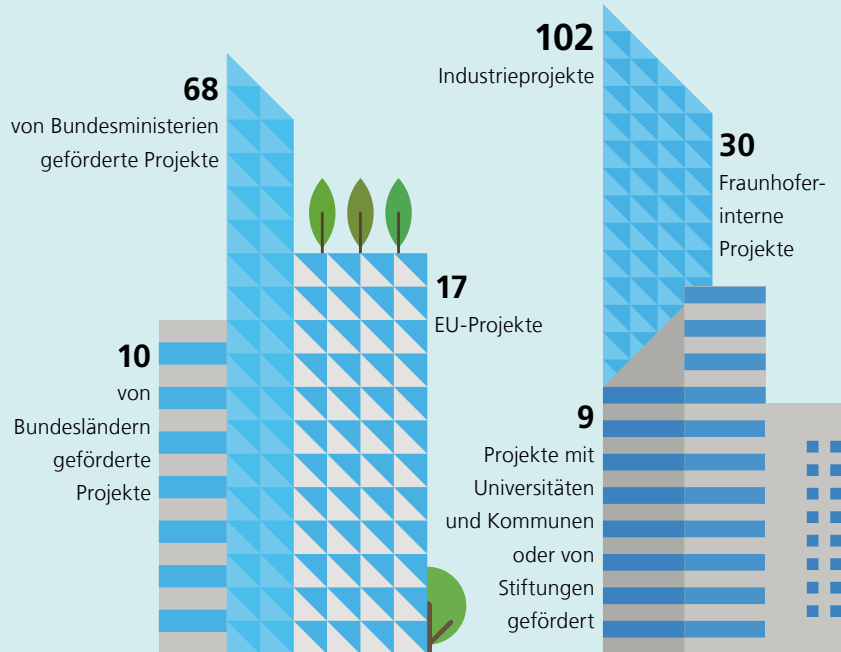
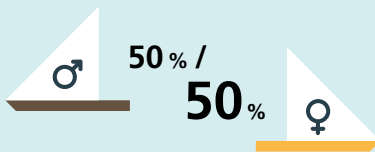
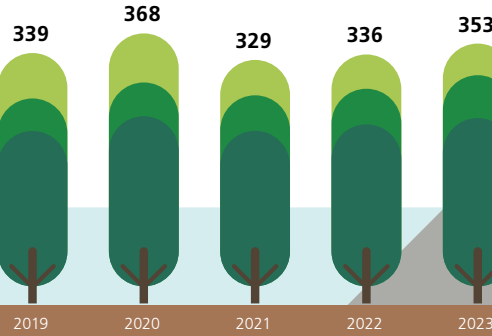




### Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

gesamt zum 31.12.2023

- IGB, Stuttgart
- BioCat, Straubing
- CBP, Leuna



**2** Workshops  
»Geteilte Führung«  
mit **28** Teilnehmerinnen

**3**  
Fraunhofer-Leitprojekte

**8** Artikel in der Reihe  
»Bemerkenswerte Frauen  
im Wissenschaftsbetrieb«

**62**  
Lehrtätigkeiten

**49** Hochschularbeiten  
6 Dissertationen  
37 Masterarbeiten  
5 Bachelorarbeiten  
1 Praktikumsbericht

**91**  
Wissenschaftliche  
Veröffentlichungen

# Highlights 2023

## Neue Forschungszentren

### Zuwendungsbescheid für Bayerisches Zentrum für nachhaltige Kraftstoffe (ZENK)

Vor dem Hintergrund der Klimakrise sind Lösungen für eine nachhaltige Mobilität gefragt. Doch nicht jede Form der Fortbewegung wird in Zukunft elektrisch sein können – vor allem im Transportsektor. So werden zum Beispiel im Flugverkehr, in der Schifffahrt, bei landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen, Baumaschinen oder dem Schwerlastverkehr weiterhin Kraftstoffe benötigt. Doch auch diese können klimaneutral sein, etwa wenn sie nachhaltig mithilfe von CO<sub>2</sub>, Biomasse und erneuerbarem Strom produziert werden. Genau hier setzt der IGB-Institutsteil Bio-, Chemo- und Elektrokatalyse BioCat in Straubing an: Gemeinsam mit dem Fraunhofer UMSICHT in Sulzbach-Rosenberg bauen die Straubinger IGB-Forschenden nun eine gekoppelte Technikums- und Entwicklungsinfrastruktur dafür auf: das Zentrum für nachhaltige Kraftstoffe, kurz ZENK. Der Freistaat Bayern fördert dieses mit 11,9 Millionen Euro. Den Zuwendungsbescheid übergab Hubert Aiwaner, bayerischer Staatsminister für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, am 29. Juni 2023 bei seinem Besuch am Institutsteil BioCat.

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



### Baden-Württemberg investiert in neue IGB-Außenstelle »Virus-basierte Therapien«

Virale Therapeutika gelten als Hoffnungsträger für die Medizin, um bisher unzureichend oder nicht behandelbare Krankheiten, etwa Erbkrankheiten oder Krebs, zu lindern oder gar zu heilen. Am Fraunhofer IGB forscht das Team im Innovationsfeld Virus-basierte Technologien unter der Leitung von Prof. Dr. Susanne Bailer bereits seit Langem an einer Virus-Plattformtechnologie für zielgerichtete medizinische Lösungen. In den nächsten fünf Jahren wird das Institut seine Kapazitäten weiter ausbauen: Das Land Baden-Württemberg ermöglicht den Aufbau einer neuen IGB-Außenstelle mit dem Forschungsschwerpunkt Virus-basierte Therapien am Standort Biberach in der Region Oberschwaben/Biberach/Ulm. Dort sollen zukünftig Werkzeuge zur Entwicklung neuer Therapeutika gegen Krebs- und Erbkrankheiten erforscht und Verfahren für die präklinische Prüfung und ihre Herstellung im größeren Maßstab entwickelt werden. Den Zuwendungsbescheid nahmen Prof. Bailer, Prof. Dr. Steffen Rupp (Kordinator des IGB-Geschäftsfelds Gesundheit) und IGB-Institutsleiter Dr. Markus Wolperdinger am 12. Oktober 2023 im baden-württembergischen Landtag in Stuttgart von Landesministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut entgegen. Deren Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus fördert den Aufbau der Außenstelle mit 25 Millionen Euro.

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



## Rückblick auf das Jubiläumsjahr

2023 war ein besonderes Jahr für das Fraunhofer IGB – dank seines runden, 70-jährigen Jubiläums. Zu diesem Anlass lud das Institut im Sommer des Jahres zu einer »Geburtstagsfeier« ein: dem Jubiläumssymposium »70 Jahre für eine bessere Zukunft« am 10. Juli 2023.



### 70 Jahre Fraunhofer IGB: Jubiläumskampagne »70 Jahre, 70 Stimmen«

Die lange Erfolgsgeschichte des Instituts wäre jedoch nicht möglich ohne die Menschen, die das Fraunhofer IGB mit aufgebaut, geprägt und begleitet haben. Deswegen standen bei der Jubiläumskampagne »70 Jahre, 70 Stimmen« genau diese Persönlichkeiten im Mittelpunkt. Über das ganze Jahr kamen aktive und ehemalige Mitarbeitende und Wegbegleitende – wie bewährte Partner und Förderer sowie langjährige Kunden – mit Jubiläumsstatements, Erinnerungen und Glückwünschen zu Wort.

► [www.igb.fraunhofer.de/70jahre](http://www.igb.fraunhofer.de/70jahre)

### Ministerpräsident Winfried Kretschmann zu Gast am Fraunhofer-Campus Stuttgart

Das erste Highlight des Jahres 2023 bildete der Besuch des baden-württembergischen Ministerpräsidenten Winfried Kretschmann am Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus S-TEC auf dem Areal der Stuttgarter Fraunhofer-Institute. Am Fraunhofer IGB erhielt der Landesvater während seiner Visite einen Einblick in die Themenfelder »Präzisionsmedizin von der Diagnostik bis zur Therapie« und »Nachhaltigkeit durch Klimaneutralität und Bioökonomie«. Ein besonderes Augenmerk legten die IGB-Forschenden auf die auch mit Landesmitteln geförderten Bioraffinerien zur Aufbereitung und Verwertung von Abwasser und Abfällen. Darüber hinaus stellte sich auch das Leistungszentrum Mass Personalization dem Ministerpräsidenten vor, an dem das Fraunhofer IGB beteiligt ist. Nach seinem Rundgang über den Campus zeigte sich Kretschmann begeistert von der hier erlebten Innovationskraft: »Als Regierungschef bin ich immer Lernender geblieben und auch neu- und wissbegierig auf alles, was uns voranbringt. Zum Beispiel hier in Stuttgart, wo kluge Köpfe an den Herausforderungen von jetzt und morgen arbeiten und damit das Land zukunftsfest gestalten.«

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





### Fraunhofer CBP feiert zehnjähriges Jubiläum

Wissenschaft in die industrielle Anwendung zu bringen liegt in der Fraunhofer-DNA. Ein Ort, an dem sich diese Gene voll entfalten, ist der IGB-Institutsteil in Leuna in Sachsen-Anhalt, das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biologische Prozesse CBP. Seit mittlerweile über zehn Jahren werden hier Verfahren entwickelt und skaliert, um Materialien und Werkstoffe aus regenerativen Ressourcen wie Holz, Stroh, Reststoffen oder CO<sub>2</sub> herzustellen sowie neue Prozesse der industriellen Biotechnologie zu pilotieren. Vor allem dank seiner Kompetenzen beim Scale-up von Prozessen in den Pilotmaßstab hat sich das Fraunhofer CBP als zentraler Akteur und Impulsgeber der Bioökonomie-Branche in Mitteldeutschland etabliert. Diese Leistung würdigten Vertreter aus Politik, Wirtschaft und Forschung am 3. Mai 2023 bei einer Festveranstaltung zum zehnjährigen Jubiläum des Institutsteils.

► [www.cbp.fraunhofer.de/10jahre](http://www.cbp.fraunhofer.de/10jahre)



### Jubiläumssymposium am Fraunhofer IGB

Den Höhepunkt des Jubiläumsjahres des Fraunhofer IGB markierte das Symposium »70 Jahre Forschung für eine bessere Zukunft« am 10. Juli 2023 am Hauptsitz des Instituts am Fraunhofer-Campus Stuttgart. So geriet das Jubiläum nicht nur zu einer Feier der 70-jährigen Instituts-geschichte, sondern es wurde ganz bewusst der fachliche Austausch in den Mittelpunkt gerückt und ein gemeinsamer Blick nach vorn gerichtet – zusammen mit Wegbegleitern und Partnern aus 70 Jahren Instituts-geschichte. Darunter waren ehemalige Institutsleiter, Vertreter des Fraunhofer-Vorstandes sowie Repräsentanten der baden-württembergischen Landespolitik. So betonte etwa Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut, Landesministerin für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus, in ihrem Impulsvortrag die exzellente Kooperation zwischen dem Fraunhofer IGB und dem Land. Ähnlich brachten es auch Staatssekretärin Sabine Kurtz vom Landwirtschaftsministerium und Staatssekretär Dr. Andre Baumann vom Umweltministerium zum Ausdruck.

► [www.igb.fraunhofer.de/symposium70](http://www.igb.fraunhofer.de/symposium70)

## Neuer Fraunhofer-Präsident besucht Fraunhofer-Campus Stuttgart

Am 15. August 2023 übernahm Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka als 11. Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft die Leitung der Forschungsorganisation. Zu seinem Amtseintritt machte er es sich zum Ziel, den Dialog mit den Instituten zu stärken. Dies setzte der Fraunhofer-Vorstand mit dem Austauschformat »Vorstand vor Ort« um, einer Dialogtour, die den neuen Präsidenten in seinen ersten Amtsmonaten an mehrere Fraunhofer-Standorte führte – auch an den Fraunhofer-Campus Stuttgart. Hier ging er ins Gespräch mit Vertretern der Institute – unter anderem mit Dr. Markus Wolperdinger, dem Institutsleiter des Fraunhofer IGB. Bei einer Führung durch die Technika des Instituts stellten Dr.-Ing. Marius Mohr, Dr. Carina Rohmer und Dr.-Ing. Ursula Schließmann dem Präsidenten daraufhin anhand von Projektbeispielen die Forschungsfelder des Fraunhofer IGB vor.



## Kunstwerk »Circular« am IGB eingeweiht

Das Projekt »Look@BioEconomy« zielte darauf ab, Bioökonomie sichtbar zu machen und die dringend notwendige Transformation hin zu einer nachhaltigen, kreislauforientierten Produktions- und Arbeitsweise zum Ausdruck zu bringen. Zu diesem Zweck hatte das Fraunhofer IGB, gefördert durch das Fraunhofer-Netzwerk »Wissenschaft, Kunst und Design«, einen Kunstwettbewerb ausgeschrieben. Hier setzten sich die beiden Berliner Künstler Niklas Thran und Robin Woern mit ihrem Entwurf für die Installation »Circular« durch. Sie überzeugten durch die Darstellung von Materialien aus der Bioökonomie-Forschung in schwebenden Glaspaneelen. Die fünf Meter hohe Installation wurde am 13. Dezember 2023 im Foyer des modernen Technikumbäudes am Fraunhofer IGB in Stuttgart eingeweiht. Hier erlaubt es nun allen Besucherinnen und Besuchern des Instituts einen anschaulichen Zugang zum Thema Bioökonomie und der Forschungsarbeit des Fraunhofer IGB in diesem Bereich.

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





**Die Umwelt schützen heißt,  
auch die Gesundheit zu  
schützen und Krankheiten  
vorzubeugen.«**

**Prof. Dr. Steffen Rupp**  
Kordinator Geschäftsfeld Gesundheit

# Circular Health

---

## Gesundheit von Mensch und Tier im Einklang mit Umwelt und Ökonomie

Das Fraunhofer IGB ist Gründungsmitglied des Fraunhofer-Verbands Ressourcentechnologien und Bioökonomie VRB, der im Dezember 2023 ein Positionspapier zu dem Konzept »Circular Health« veröffentlichte. Ziel des Konzepts ist die nachhaltige Sicherung der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt durch kreislaufbasierte Ansätze in Medizin, Agrar-, Lebensmittel- und Umweltwissenschaften. Wir stellen Ihnen die Kernaussagen des Circular-Health-Konzepts in aller Kürze vor und zeigen auf, wie das IGB dazu beiträgt.

Unsere Ökosysteme sind durch eng miteinander verknüpfte Stoffkreisläufe gekennzeichnet, die auch auf die Gesundheit des Menschen einen erheblichen Einfluss haben. Werden sie gestört, hat das häufig kaum kalkulierbare Auswirkungen. Ein zentrales Ziel von »Circular Health« ist es, Faktoren, welche die Balance ökologischer Kreisläufe stören, zu identifizieren und zu steuern, um zu einer präventiven Gesundheitsversorgung beizutragen und zugleich Nachhaltigkeitsziele der UN zu erfüllen.

Circular Health versteht sich als ein cross-sektoraler und transdisziplinärer Ansatz mit dem Ziel einer nachhaltigen Gesundheit von Mensch und Tier im Einklang mit Umwelt und Ökonomie. Erreicht werden soll das durch kreislaufbasierte Ansätze in Medizin, Agrar-, Lebensmittel- und Umweltwissenschaften. Dabei werden wesentliche Inhalte aus zwei Konzepten, dem One-Health-Konzept und dem Konzept einer Circular Economy, aufgegriffen und zusammengeführt.

### One Health: Gesunde Umwelt für einen gesunden Menschen

Der Begriff One Health wurde erstmals in den Jahren 2003–2004, mit dem Auftreten von SARS (Schweres Akutes Respiratorisches Syndrom) und der weltweiten Ausbreitung der Vogelgrippe H5N1, verwendet, um zu beschreiben, dass die Gesundheit des Menschen mit der Gesundheit von Tier und Umwelt untrennbar verknüpft ist.

## One Health weitergedacht: Zirkuläres statt lineares Wirtschaften

Die globalen geo-ökologischen Herausforderungen, die im Klimawandel und dem Verlust der Biodiversität kulminieren und zur Destabilisierung ganzer Ökosysteme mit massiver Belastung der menschlichen Gesundheit beitragen, können im Wesentlichen auf die lineare und überwiegend auf fossilen Rohstoffen basierende Wirtschaftsweise zurückgeführt werden. Um die Gesundheit der Menschen zu gewährleisten, ist daher die Beachtung zirkulärer Prinzipien und ökologischer Kreisläufe zwingend erforderlich.

Circular Health priorisiert Innovationen in Ernährungs-, Agrar- und Gesundheitswirtschaft, etwa die Erschließung nachhaltiger Nahrungsquellen, den Einsatz umweltschonender Pflanzenschutzmittel und Tierfutter-

Zusatzstoffe sowie die Eindämmung antimikrobieller Resistenzen (AMR) und Zoonosen. Durch die Etablierung zirkulärer Produktionsverfahren können zudem Roh- und Reststoffströme reduziert werden. So sollen souveräne und nachhaltige Wertschöpfungskreisläufe zukünftig lineare, fossilbasierte Wertschöpfungsketten im Umwelt- und Ressourcen-Management wie auch in der Gesundheitswirtschaft ersetzen. Mit dem heutigen Verständnis der vielfältigen Zusammenhänge und einem integrativen Management der beeinflussenden Faktoren können so gesundheitliche Risiken und Krankheitsursachen präventiv minimiert werden.

Der Übergang zu einer Circular Economy unter Berücksichtigung der One-Health-Prinzipien bietet damit gegenwärtig enorme Chancen, durch die Verringerung negativer Umweltwirkungen auch erheblichen gesundheitlichen Mehrwert zu generieren, welcher sich direkt in einer Entlastung der Gesundheitssysteme niederschlagen wird.



### Kontakt

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

### Circular Health beim Fraunhofer VRB

Basierend auf den Kompetenzen im Verbund wurden für die Umsetzung des Circular-Health-Konzepts vier strategische Handlungsfelder definiert:

- Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion
- Zoonosen und mikrobielle Resistenzen
- Wertschöpfungskreisläufe im Gesundheitssektor
- Gesundheit und Umwelt

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

Das Positionspapier Circular Health finden Sie auf unserer Website:

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



# Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion

Künftige Agrarsysteme müssen in der Lage sein, bis zu zehn Milliarden Menschen zu ernähren und zuverlässig mit biogenen Rohstoffen zu versorgen. Gleichzeitig werden aller Voraussicht nach immer weniger Ackerflächen zur Verfügung stehen. Um natürliche Ressourcen wie fruchtbare Böden, sauberes Wasser und reine Luft zu erhalten, den Rückgang der Artenvielfalt aufzuhalten und dem Klimawandel entgegenzuwirken, muss die Agrarproduktion nachhaltiger gestaltet werden.

## Nachhaltige Pflanzenkultivierung und Tierhaltung ohne Antibiotika

Circular Health konzentriert sich deshalb auf die Entwicklung nachhaltigerer Produktionskonzepte und hochspezifischer verträglicher Wirkstoffe für die Pflanzenkultivierung und Tierhaltung, um negative Auswirkungen zu reduzieren oder ganz zu vermeiden. Während im Bereich Tierhaltung neue, innovative Futtermittelsysteme, beispielsweise mit antimikrobiellen Inhaltsstoffen, eine weitgehend antibiotikafreie Haltung ermöglichen sollen, liegt der Fokus im Bereich der Pflanzenkultivierung auf der Entwicklung biobasierter Pestizide, für die negative Auswirkungen auf Mensch, Tier und Umwelt weitgehend ausgeschlossen werden können.

Einen zentralen Beitrag zu einer wirksamen Applikation der Wirkstoffe leisten deren maßgeschneiderte Formulierung. Neue Anbauverfahren in hydroponischen Systemen ermöglichen zudem die Verwendung von gereinigtem Abwasser zur düngenden Bewässerung, neue biotechnologische Kultivierungs- und Nutzungskonzepte von Mikroalgen, Insekten und Pilzen die emissionsarme Produktion proteinreicher Nahrungs- und Futtermittel.



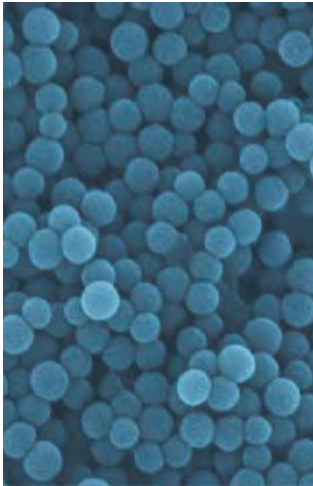
## Ganzheitliche Nutzung biogener Rohstoffe

Die möglichst ganzheitliche Nutzung biogener Rohstoffe hilft, die Ressourceneffizienz zu steigern und Stoffkreisläufe zu schließen. Vor dem Hintergrund knapper werdender Rohstoffe ist dies ein entscheidender Faktor, um die Versorgungssicherheit der Gesellschaft sicherzustellen. Ein bereits realisiertes Beispiel hierzu ist die neuartige EthaNa®-Pilotanlage am Fraunhofer CBP, mit der durch eine schonende Verarbeitung der Rapssaat die stoffliche Wertschöpfung erhöht werden kann. Nach dem Prinzip einer Bioraffinerie liefert sie nicht nur hochwertiges Rapsöl in Vorraffinat-Qualität, sondern auch ein an hochwertigen Proteinen reiches Rapskernkonzentrat, in Ethanol gelöste sekundäre Pflanzenstoffe sowie Rapschalen als weitere Produkte.



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

# Maßgeschneiderte Formulierungen für die Landwirtschaft



*Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von bioabbaubaren, wirkstoffbeladenen Partikeln*

Pflanzenschutzmittel wie Pestizide, Fungizide und Herbizide sowie Pflanzenwachstumsregulatoren werden in der Landwirtschaft bei der Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion eingesetzt, um Pflanzen vor Krankheiten und Schädlingen zu schützen und den Ernteertrag zu erhöhen. Die landwirtschaftliche Produktion wirkt sich dabei direkt auch auf Boden, Wasser und Atmosphäre aus. Eine moderne und nachhaltige Landwirtschaft, die Ressourcen schont, die Umwelt schützt und gleichzeitig wirtschaftlich ist, wird möglich, wenn Wirk- und Effektstoffe in einer maßgeschneiderten Formulierung ausgebracht werden.

## Unsere Entwicklung

Am Fraunhofer IGB haben wir ein breites Spektrum unterschiedlicher Formulierungstechnologien etabliert, mit denen wir Wirk- und Effektstoffe mittels Beschichtungen auftragen, in Hydrogelen einbetten oder in kleinsten Partikeln verkapseln.

Mit der Verkapselung werden Wirk- und Effektstoffe einerseits vor äußeren Einflüssen geschützt, andererseits sind wir in der Lage, die verkapselten Stoffe über eine funktionale Ausstattung des Kapselmaterials bei Bedarf gezielt freizusetzen:

- In Mikropartikeln verkapselte Pestizide erreichen die Zielorganismen direkt und kontrolliert. Schädlinge und Unkräuter können so gezielt und effektiv bekämpft und Umweltauswirkungen reduziert werden.
- In Mikrokapseln formulierte Düngemittel stellen Nährstoffe in einer leicht pflanzenverfügbaren Form bereit.
- Mikropartikel in Beschichtungen bei der Aussaat von Saatgut können das Saatgut mit Nährstoffen oder anderen Substanzen versorgen und so die Keimung und das frühe Pflanzenwachstum fördern.

## Vorteile und Technologiereife

Die Formulierung von Inhaltsstoffen ermöglicht es, Wirk- und Effektstoffe in einer Form bereitzustellen, die einfach zu handhaben ist und eine optimale Verfügbarkeit sicherstellt. Durch die Verkapselung kann die auszubringende Menge des Wirk- und Effektstoffs erheblich reduziert werden. Zudem können wir die kontrollierte Freisetzung der Substanz steuern, beispielsweise nur bei Regen. Für den Einsatz in der Landwirtschaft wählen wir als Kapselmaterial biobasierte und bioabbaubare Polymere, beispielsweise Chitosan, Inulin oder Alginat. Nach Freisetzung der Wirkstoffe werden diese im Boden einfach abgebaut. Der Technologiereifegrad rangiert zwischen TRL 4 und 6, je nach Fragestellung und Anwendung.

## Zusammenarbeit

Mit unserem umfassenden Know-how bezüglich Materialauswahl und Prozessführung entwickeln wir Lösungen für Formulierungsfragestellungen aus verschiedensten Anwendungsfeldern und maßgeschneiderte Formulierungen für unsere Kunden, beispielsweise Mikropartikel und Samenbeschichtungen. Kommen Sie mit Ihrem Bedarf oder Ihrer Idee gerne auf uns zu. Wir unterstützen Sie anschließend auch bei der industriellen Umsetzung.

## Weitere Informationen



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

### Kontakt

Dr. Carmen Gruber-Traub  
Telefon +49 711 970-4034  
[carmen.gruber-traub@igb.fraunhofer.de](mailto:carmen.gruber-traub@igb.fraunhofer.de)

# Nachweis humanpathogener Viren in Abwasser

Qualitativ hochwertiges Süßwasser wird weltweit knapper. Hydroponische Systeme, in denen Nutzpflanzen mit aufbereitetem Abwasser kultiviert werden, benötigen weniger Frischwasser und reinigen gleichzeitig das eingesetzte Wasser, indem Nährstoffe durch die Pflanzen aufgenommen werden. Zur Qualitätssicherung hydroponischer Systeme muss das zur Bewässerung eingesetzte Wasser auf mikrobielle Belastung untersucht werden. Insbesondere Viren werden durch gängige Detektionsverfahren aufgrund ihrer Eigenschaften selten ausreichend erfasst.

## Unsere Entwicklung

Um die Unbedenklichkeit des zur Bewässerung eingesetzten, aufbereiteten Abwassers zu gewährleisten, haben wir am Fraunhofer IGB ein molekularbiologisches Detektionssystem etabliert, mit dem sich humanpathogene Viren zuverlässig nachweisen lassen. Das auf der qPCR-Technologie basierende System ermöglicht durch Nutzung hochspezifischer Sonden den Nachweis der häufigsten humanpathogenen Viren in Abwasser ohne inhibitorische Effekte. Dadurch wird eine zuverlässige Qualitätssicherung für Abwasser sowie Nutzpflanzen sichergestellt.

## Vorteile und Technologiereife

Das molekulare Detektionssystem erlaubt einen schnellen und automatisierbaren Nachweis humanpathogener Viren in Abwasser. Durch den parallelen Einsatz hochspezifischer Sonden und Primer werden vorhandene Pathogene auch bei starken Verunreinigungen des Wassers zuverlässig detektiert. Die Validierung wurde im Labormaßstab mit Realproben abgeschlossen (TRL 4–5). Um Viren auch in sehr großen Wassermengen hinreichend zu erfassen, entwickeln wir derzeit Verfahren zur Aufkonzentrierung von Viren in aufbereitetem Abwasser, die in Kombination mit dem anschließenden molekularen Nachweis eine hohe Sensitivität gewährleisten.

## Zusammenarbeit

Das im BMBF geförderten Verbundprojekt Hypowave+ entwickelte molekularbiologische Detektionssystem für Viren adaptieren wir gerne auf weitere Mikroorganismen (Viren, Bakterien und Pilze) entsprechend den Anforderungen des Kunden. Ebenso entwickeln wir unsere Verfahren zur Viren-Aufkonzentrierung spezifisch für weitere Anwendungen weiter.

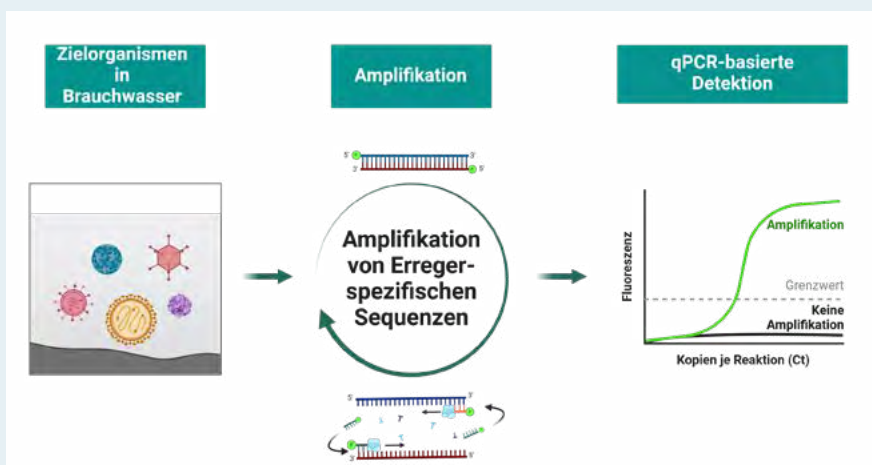
## Weitere Informationen



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

## Kontakt

Jens Wetschky M. Sc.  
Telefon +49 711 970-4215  
[jens.wetschky@igb.fraunhofer.de](mailto:jens.wetschky@igb.fraunhofer.de)



Nach der Isolation der Zielorganismen aus Abwasser erfolgt die Amplifikation des genomischen Materials unter Nutzung spezifischer Sonden. Die anschließende qPCR ermöglicht den Nachweis vorhandener Viren.

# Detektion von Insekten- und Lebensmittelpathogenen

## Weitere Informationen



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

## Kontakt

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

Bisher wird die Eiweißversorgung von Nutztieren in Landwirtschaft und Aquakultur zum größten Teil über Soja bzw. Fischmehl gewährleistet, doch hat die Züchtung von Nutzinsekten zur Herstellung von verarbeitetem tierischem Protein als alternative Eiweißquelle stark an Bedeutung gewonnen. Ein geringer Wasser- und Flächenbedarf macht die Herstellung von Insektenproteinen sowohl ressourcen- als auch kosteneffizienter als die von herkömmlichen eiweißhaltigen Fütterungskomponenten. Die größte Herausforderung in der industriellen Produktion von Nutzinsekten ist der Nachweis von Insekten- und Lebensmittelkeimen. Diese stellen nicht nur eine Gefahr für die Insektenzucht selbst, sondern auch für die mit Insektenprotein gefütterten Nutztiere dar.

## Unsere Entwicklung

Um die Sicherheit der Insektenzucht und der Nutztiere zu gewährleisten, haben wir am Fraunhofer IGB ein effizientes Nachweissystem zur Überwachung der Insektenzuchtanlagen entwickelt. Mit dem System lassen sich gleichzeitig verschiedene Infektionserreger schnell und zuverlässig detektieren. Hierzu werden spezifische DNA-Sequenzen der Erreger vervielfältigt, fluoreszenzmarkiert, über eine Sonde auf einem Microarray gebunden und dieser optisch ausgelesen.

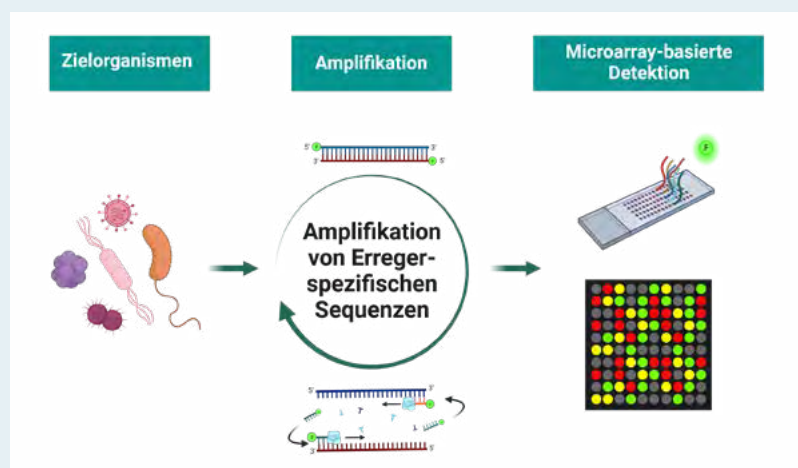
## Vorteile und Technologiereife

Das multiparallele Nachweissystem für Pathogene zeichnet sich aufgrund der Kombination der gewählten Amplifikationsmethodik mit der Microarray-Technologie als ein effizientes, automatisierbares und kostengünstiges Monitoring-Tool aus, das einfach und zuverlässig in Handhabung und Auswertung ist. Wir haben das Nachweissystem für den Einsatz in der Insektenzucht im Labor sowie in der Anwendungsumgebung etabliert und validiert (TRL 4–5).

## Zusammenarbeit

Die einzigartige Kombination der Erregerdetektion erlaubt es, das System auf weitere Pathogene (Viren, Bakterien und Pilze) zu übertragen und den Anforderungen des Kunden entsprechende DNA-basierte Microarrays zur multiparallelen Detektion von Mikroorganismen zu entwickeln. Mit unserer Technologie können wir ein auf Kundenwunsch zugeschnittenes Überwachungssystem für unterschiedlichste Anwendungen zur Verfügung stellen, um gleichzeitig mehrere typische und relevante Keime nachzuweisen.

*Für das multiparallele Nachweissystem von Pathogenen werden spezifische DNA-Sequenzen unterschiedlicher Infektionserreger vervielfältigt, fluoreszenzmarkiert und über eine Sonde auf einem Microarray fixiert.*



# Zoonosen und mikrobielle Resistenzen

Für eine nachhaltige Sicherung der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt ist die Entwicklung innovativer Lösungsansätze zur Abwehr biologischer Gefahren aus der Umwelt essenziell. Zu diesen Gefahren gehören Zoonosen wie auch pathogene Mikroorganismen, die gegen Antibiotika resistent geworden sind.

## Strategien zur Überwachung und Bekämpfung von Pathogenen und Resistenzen

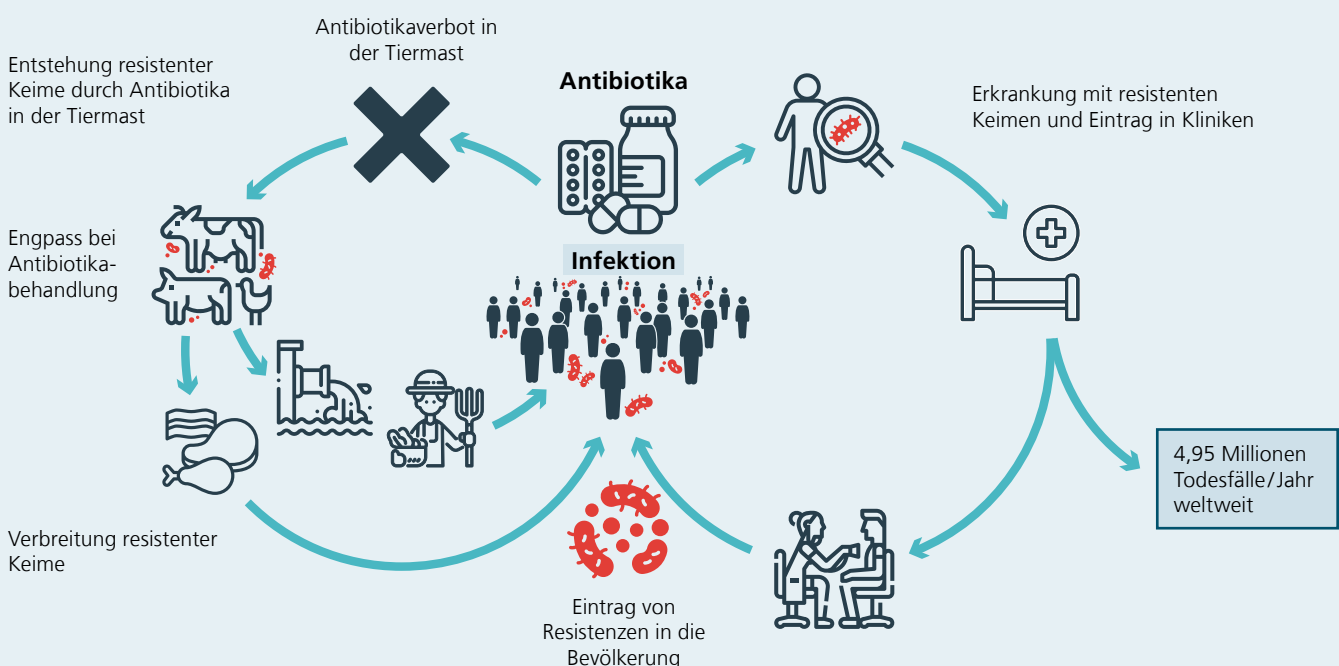
Mikrobielle Resistenzen gegen Antibiotika haben sich weltweit rasant ausgebreitet und stellen eine der größten Gefahren für die Menschheit dar, zumal immer weniger neue Antibiotika entwickelt werden. Eine wesentliche Ursache für die Entstehung der Resistenzen ist der unspezifische und unkritische Einsatz von Antibiotika in Medizin und Nutztierhaltung und in der Folge ihre unkontrollierte Freisetzung in die Umwelt. Ziel von Circular Health ist die Entwicklung neuer

Verfahren, um den Einsatz von Antibiotika in der Nutztierhaltung zu reduzieren und damit der Entstehung von mikrobiellen Resistenzen entgegenzuwirken.

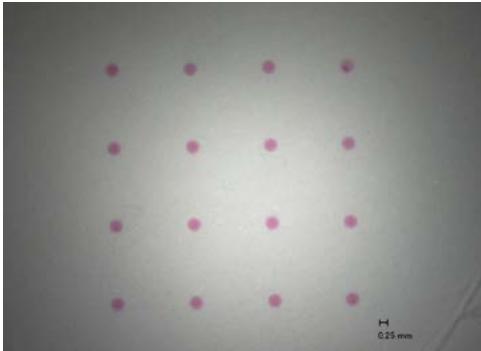
Dazu gehört auch das Design spezifischer Testsysteme zur Entwicklung von veterinärmedizinischen Therapeutika. Eine Vielzahl der heute genutzten veterinärmedizinischen Therapeutika stammt aus der humanmedizinischen Entwicklung und ist damit im Tier häufig nur begrenzt wirksam. Bei Resistenzbildung sind sie zudem beim Menschen nur noch begrenzt einsetzbar.

Verschiedene am IGB entwickelte Methoden zur Diagnostik von Pathogenen und Resistenzen in Human- und Veterinärmedizin sowie für das Umwelt-Monitoring ermöglichen es, die Resistenzentwicklung und neu auftretende Pathogene zu überwachen. Der Einsatz von Bakteriophagen stellt einen selektiven Ansatz zur Reduktion antibiotikaresistenter Bakterien dar, der am IGB verfolgt wird.

*Eine Reduktion des Antibiotikaeinsatzes in der Nutztierhaltung kann der Entstehung und Ausbreitung mikrobieller Resistenzen entgegenwirken.*



# Nanogel-Biosensoren für eine schnelle und sichere Pathogendiagnostik



Die Erreger-DNA wird an mehreren Stellen in einem Hydrogel-Spot auf den Chip gedruckt und hierdurch stabilisiert. Das Testsystem wird damit sensitiver und kann auf verschiedene Erreger ausgeweitet werden.

Ein wichtiges Instrument zur Erkennung und Behandlung von Krankheiten, die durch Viren und Bakterien verursacht werden, ist deren schneller und sicherer Nachweis. Seit der Corona-Pandemie sind Schnelltests auch in der Bevölkerung bekannter und häufiger im Einsatz. An diesem Beispiel zeigt sich

auch die Crux vieler Tests: Antigen-Schnelltests liefern schnell ein Ergebnis, jedoch mit großer Ungenauigkeit; PCR-Tests sind genauer, dauern dafür erheblich länger.

## Unsere Entwicklung

Das Fraunhofer IGB hat im Verbund mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT und dem Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston (USA) eine gleichermaßen schnelle und genaue Alternative entwickelt. In unserem Lösungsansatz nutzen wir die sogenannte RT-LAMP-Technologie (reverse transcription loop-mediated isothermal amplification) zur schnellen Vervielfältigung der Viren- oder Bakterien-RNA für die anschließende Detektion. Der Clou: Durch Kombination mit unserem patentierten, druckbaren Hydrogel wird der Test deutlich sensitiver und es können viele Erreger parallel detektiert werden (Multiplexing).

## Vorteile und Technologiereife

Unsere Lösung zeichnet sich durch verschiedene Vorteile gegenüber den derzeitigen verfügbaren Produkten aus:

- Schnelles und zugleich genaues Ergebnis
- Keine Probenpräparation erforderlich, wodurch Tests auch zu Hause durchgeführt werden könnten

- Druckprozess ermöglicht räumliches Multiplexing, sodass mit einer Untersuchung auf viele unterschiedliche Erreger getestet werden kann

Die Machbarkeit mit unserem Lösungsansatz wurde erfolgreich gezeigt (TRL 3–4). Nun steht die Optimierung des Sensor-Layouts und die Übertragung auf kostengünstige, skalierbare Produktionsverfahren an.

## Zusammenarbeit

Da wir das System als Baukastensystem entwickelt haben, lässt es sich schnell an kundenspezifische Fragestellungen wie neue Pathogene anpassen. Bei Interesse an der gemeinsamen Weiterentwicklung zu einem marktreifen Produkt kommen Sie gerne auf uns zu.

Anwendungsbereiche sehen wir überall dort, wo schnell eine Information erforderlich ist, ob und mit welchen Pathogenen eine Person infiziert ist. Dies kann beispielsweise zur Eingangskontrolle in Bereichen mit erhöhter Ansteckungsgefahr (Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen) der Fall sein. Durch Anpassung des Erregerspektrums auf dem Sensor eignet dieser sich auch zur Überwachung von Mikroorganismen in der Umwelt, in der Lebensmittelproduktion oder zur Qualitätskontrolle in der Pharmaproduktion.

Eine Hauptfunktion unseres patentiertes Hydrogels liegt in der Stabilisierung von Biomolekülen (Proteine, Enzyme). Das Hydrogel bietet daher auch für die Entwicklung weiterer Produkte, z. B. anderer Test-Assays, Formulierungen oder Oberflächenmodifizierungen, große Vorteile.

## Weitere Informationen



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

## Kontakt

Dr. Achim Weber  
Telefon +49 711 970-4022  
[achim.weber@igb.fraunhofer.de](mailto:achim.weber@igb.fraunhofer.de)

# Präzisionsdiagnostik mikrobieller Resistenzen und Resistenzentwicklung

Mikrobielle Resistenzen gegen Antibiotika sind ein weltweites Problem und ihre Diagnose von großer Bedeutung, um die effektivste Behandlung von Infektionen zu bestimmen und die Ausbreitung von resistenten Organismen einzudämmen. Aktuell umfassen Labortests aufwändige mikro- bzw. zellbiologische Analysen, die zeit- und kostenintensiv sind. Aufgrund der Gefahr von Kontaminationen und ihrer geringen Genauigkeit werden dringend neue Methoden zur Erkennung benötigt.

## Unsere Entwicklung

Die Resistenz von Bakterien gegenüber Antibiotika wird über entsprechende Resistenzgene vermittelt. Das molekularbiologische Verfahren des Next-Generation Sequencing, einer Hochdurchsatzsequenzierung von Nucleinsäuren, eröffnet daher neue Möglichkeiten zur Resistenzerkennung wie auch zum Monitoring von Resistenzen aus einer Vielzahl an biologischen Proben. Mit unseren am IGB optimierten Technologien wählen wir spezifische Zielregionen aus, z. B. mehrerer mikrobieller Resistenz-Gene, welche im ersten Schritt vervielfältigt und im zweiten Schritt mittels Next-Generation-Sequenzierung detektiert werden. Auf diese Weise können wir schnell und spezifisch Mikroorganismen und mikrobielle Resistenzen analysieren – in kritisch kranken Patienten, aber auch in komplexen Proben aus der Umwelt oder Kläranlagen.

## Vorteile und Technologiereife

Momentan eingesetzte Technologien erfordern eine vorausgehende Kultivierung der Mikroorganismen. Unsere Technologien umgehen diesen Schritt und ermöglichen die Resistenzerkennung auch bei geringen Ausgangsmengen. Die Abteilung In-vitro-Diagnostik des IGB blickt auf einen breiten Erfahrungsschatz mit verschiedensten Proben und Anwendungsbereichen zurück. Für unser Verfahren zur umfassenden Sequenzierung wurde

bereits ein Patent erteilt, für das Verfahren zur zielgerichteten Amplifikation verschiedenster Zielregionen und anschließender Sequenzierung ein Patent beantragt. Aktuell gehen wir neue Wege in der Resistenzerkennung mittels der Analyse von RNA und zellfreien Nucleinsäuren.

## Zusammenarbeit

Wir analysieren das Metagenom und Resistenzprofil verschiedenster Probentypen im Rahmen von Forschungsprojekten oder im Kundenauftrag. Dabei eignen sich unsere Technologien zur Untersuchung auch äußerst

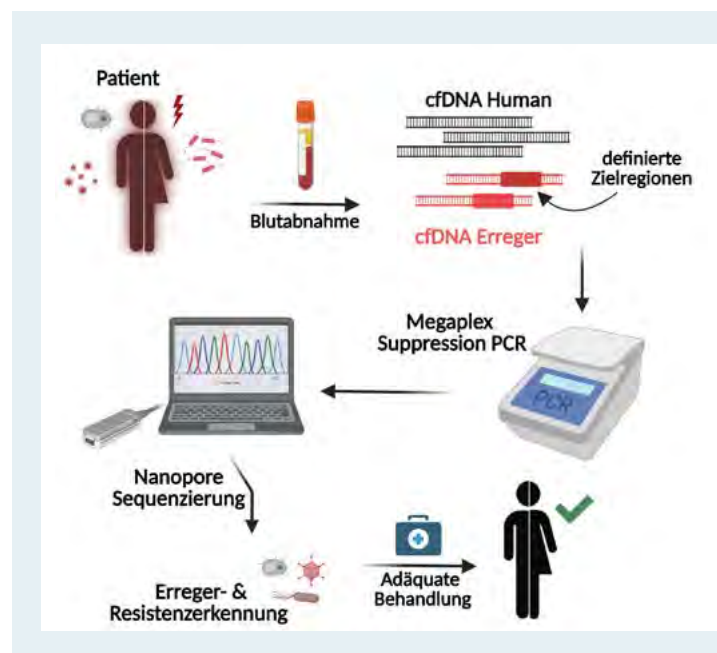
## Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/in-vitro-diagnostik](http://www.igb.fraunhofer.de/in-vitro-diagnostik)

## Kontakt

Dr. Kai Sohn  
Telefon +49 711 970-4055  
[kai.sohn@igb.fraunhofer.de](mailto:kai.sohn@igb.fraunhofer.de)



*Verfahren zur gezielten Detektion definierter Resistenzmarker. Mittels Suppressions-PCR werden verschiedenste Targetregionen gezielt amplifiziert und im Multiplexverfahren einer Realtime-Sequenzierung und Bioinformatik zugeführt (erstellt mit BioRender.com).*

# In-vitro-Hundehaut-Äquivalent zur Testung veterinärmedizinischer Therapeutika

Für die Behandlung von Haustieren werden oft hohe Summen ausgegeben. Hunde beispielsweise haben eine überdurchschnittliche Veranlagung für Hauterkrankungen, da ihre Epidermis dünner ist und kaum verhornt. So leiden 10–15 Prozent aller Hunde in deutschen Haushalten an der atopischen Dermatitis. Therapeutische Wirkstoffe existieren, doch der Behandlungserfolg ist ungewiss. Auch humane Therapeutika werden verabreicht, obwohl sich Pharmakodynamik und toxikologische Wirkungen von Wirkstoffen spezie-spezifisch zum Teil stark unterscheiden.

## Unsere Entwicklung

Am Fraunhofer IGB haben wir erfolgreich ein In-vitro-Hundehaut-Äquivalent für standardisierte Testungen veterinärmedizinischer Therapeutika und Pflegeprodukte entwickelt. Hierfür wurden Zellen (Fibroblasten, Keratinozyten) aus Hundehaut-Biopsien, die bei medizinisch notwendigen Operationen anfallen, isoliert, gentechnisch immortalisiert und daraus Hundehaut-Äquivalente aufgebaut, die physiologisch der In-vivo-Hundehaut sehr ähnlich sind.

Die Hundehaut-Äquivalente stehen am IGB für die Testung von Wirkstoffen und Pflegemitteln zur Verfügung und weisen folgende Charakteristika auf:

- Abbildung typischer physiologischer Hautzustände im Hundehaut-Modell, z. B. epidermale Differenzierung und Barrierewirkung
- Einsatz für das Screening von Wirkstoffen mit mittlerem bis hohem Durchsatz
- Genauer und reproduzierbarer Nachweis von Substanzen, die typische pathologische Hautzustände (z. B. Hautreizungen) verursachen

## Vorteile und Technologiereife

Aufgrund der Verwendung von immortalisierten Zellen grenzt sich das In-vitro-Hundehaut-Äquivalent des IGB (TRL 9) zum einzigen Konkurrenzprodukt durch eine hohe spenderunabhängige Reproduzierbarkeit bei einer in-vivo-nahen Differenzierung der Zellen ab. Die Testung von Wirkstoffen kann jederzeit schnell, einfach und reproduzierbar durchgeführt werden und ersetzt In-vivo-Untersuchungen. Zudem ist das Hundehaut-Modell für verschiedene Arten der Wirkstoffapplikation (topisch, systemisch) geeignet.

## Zusammenarbeit

Aufgrund der hohen Technologiereife können wir unterschiedliche Dienstleistungen und Weiterentwicklungen anbieten. Kontaktieren Sie uns gerne, um Ihren Bedarf und unsere Leistungen zu besprechen.

- Testung von Veterinärpharmazeutika und Hundefell-Pflegemitteln in unseren Labors am Fraunhofer IGB
- Studien zur transdermalen Wirkstoffabgabe
- Studien zur Hautpenetration
- Wirkungsweise von Arzneimitteln und Wirkstoffen
- Studien zur Wundheilung
- Toxikologische Bewertung von Chemikalien und Produkten
- Analyse von Umwelteinflüssen auf die Hautphysiologie, z. B. UV- und IR-Bestrahlung
- Grundlagenforschung der Physiologie und Biochemie der Hundehaut
- Aufbau der Modelle am IGB und Versand an den Kunden
- Verkauf des In-vitro-Testsystems an Unternehmen der Tiergesundheitssparte
- Etablierung von Krankheitsmodellen, z. B. für atopische Dermatitis oder auf kundenspezifische Fragestellungen

## Weitere Informationen



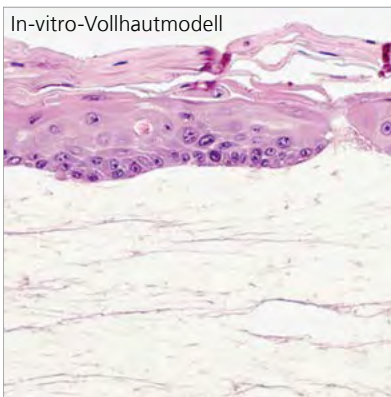
[www.igb.fraunhofer.de/wowwowskin](http://www.igb.fraunhofer.de/wowwowskin)

## Kontakt

Dr. Anke Burger-Kentischer  
Telefon +49 711 970-4023  
[anke.burger-kentischer@igb.fraunhofer.de](mailto:anke.burger-kentischer@igb.fraunhofer.de)



### Canine Haut



### Humane Haut



*Histologische Schnitte nativer Hundehaut und humaner Haut (oben links und rechts). Das In-vitro-Hundehaut-Äquivalent (unten links) zeigt die typische Morphologie einer caninen In-vivo-Haut (oben links).*

# Wertschöpfungskreisläufe im Gesundheitssektor

## Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/reinigung-und-entkeimung](http://www.igb.fraunhofer.de/reinigung-und-entkeimung)



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

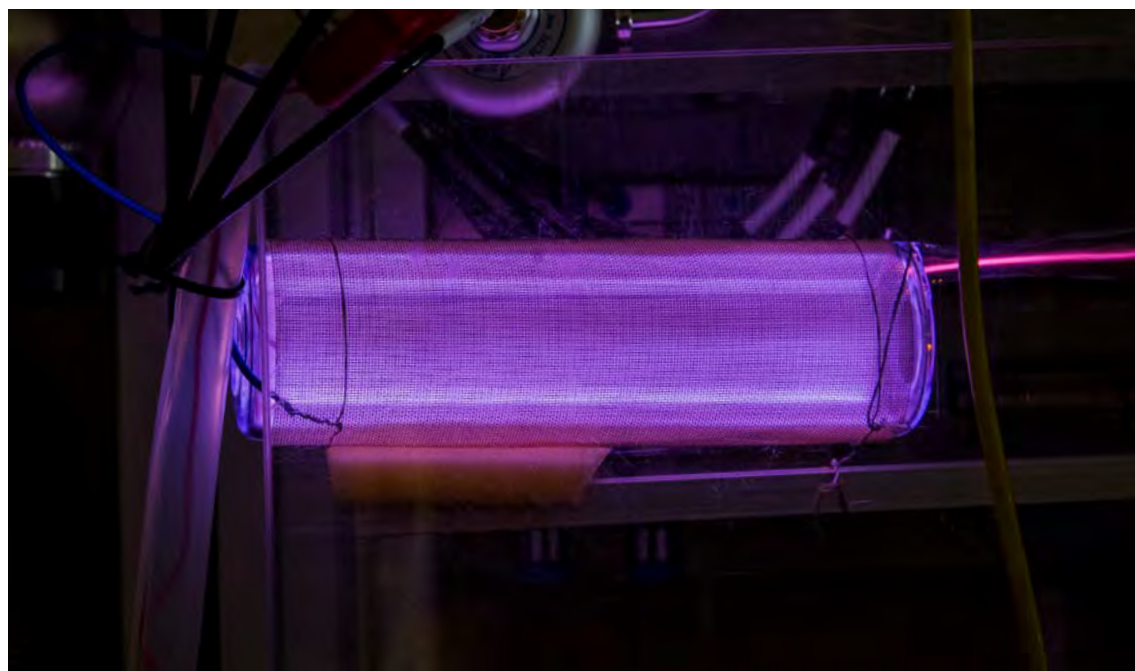
Der Gesundheitssektor ist aufgrund der linearen Wirtschaftsweise durch eine hohe Ressourcenbeanspruchung und einen großen ökologischen Fußabdruck geprägt. Er verursacht circa fünf Prozent der globalen Treibhausgasemissionen und ist für bis zu zehn Prozent des Abfallaufkommens verantwortlich. Ein großer Anteil dieser Abfälle besteht aus Kunststoffen, unter anderem durch einen zunehmenden Einsatz von Einwegprodukten.

Vor diesem Hintergrund besteht das Konzept von Circular Health in einer umfassenden Implementierung von Circular-Economy-Prinzipien. Aufbauend auf einer detaillierten Situationsanalyse müssen künftig die Produkte des Gesundheitssektors unter Betrachtung des gesamten Produktlebensweges und unter Einbeziehung aller Stufen der Wertschöpfungskette optimiert werden. So bieten sowohl die Nutzung biobasierter Polymere als auch

die Implementierung von Recyclingstrategien Lösungsansätze für mehr Nachhaltigkeit im Gesundheitswesen.

Einen wirksamen Beitrag, um Emissionen zu reduzieren, leisten »trockene« Verfahren zur Reinigung und Entkeimung, beispielsweise mittels Plasma und UV-C.

Am Institutsteil BioCat in Straubing wurde 2023 zudem ein Miniplant zur industriennahen Darstellung von biobasierten Polyestern und Polyamiden in Betrieb genommen. Aktuell forschen wir an biobasierten Polyamiden, Poly(meth)acrylaten und Kunststoffadditiven, beispielsweise biobasierten Weichmachern und Nukleierungsmitteln. Darüber hinaus bieten wir Kunden Leistungen hinsichtlich Polymeranalytik und Werkstoffprüfungen an. Tests zur biologischen Abbaubarkeit von flüssigen Substanzen werden aktuell etabliert.



*UV-Strahlung aus eigens entwickelten Excimer-Plasmalampen kann effektiv gegen Bakterien und sogar Sporen wirken.*

# Gesundheit und Umwelt

Arzneimittel sind für die Gesundheit von Mensch und Tier unerlässlich, doch der vermehrte Verbrauch und ihr oftmals unkritischer Einsatz führen zu einer Zunahme schädlicher und dauerhafter Rückstände in der Umwelt, die unerwünschte Wirkungen auf Organismen, Populationen und Ökosysteme haben können. Besonders betroffen hiervon sind Oberflächen- und Grundwasser sowie Böden. Problematisch ist auch die Entstehung von Resistenzen, die durch den übermäßigen, unspezifischen und sorglosen Einsatz von Antibiotika begünstigt werden.

## Reduzierung von Problemchemikalien in der Umwelt

Technische Lösungen zur Erfassung und Eliminierung von Schadstoffen, z. B. PFAS oder Arzneimittelrückständen, aus Abwässern schaffen Abhilfe, um gesundheitsschädigende Auswirkungen persistenter Stoffe über das Trinkwasser zu reduzieren (s. Artikel zu PFAS, Seite 46). Gleichzeitig gilt es, den Eintrag von Schadstoffen und Arzneimitteln in die Umwelt zu minimieren und den Fokus auf die Entwicklung umweltfreundlicher, bioabbaubarer Arzneimittel zu legen. Hierzu werden Methoden zur schnellen und umfassenden Erfassung des Umweltgefährdungspotenzials von neuen Wirkstoffen benötigt.

## Strategien gegen Klimawandel und Biodiversitätsverlust

Essenziell für die menschliche Gesundheit ist eine gesunde Umwelt, die sich durch eine große biologische Vielfalt auszeichnet. Denn die auf dieser Vielfalt aufbauenden Ökosysteme erzeugen saubere Luft, Trinkwasser, Nahrungsmittel und Wirkstoffe. Da die Biodiversität in den letzten Jahrzehnten dramatisch abgenommen hat, besteht akuter Handlungsbedarf, anthropogene Beiträge zum Biodiversitätsverlust zu reduzieren oder gänzlich zu vermeiden.

Zum Schutz und Erhalt der Biodiversität befassen wir uns vor allem mit der Entwicklung von zirkulären Wertschöpfungsketten zur Reduzierung von Abfall und Treibhausgasen, von Strategien und Methoden zur Reduzierung anthropogener Schadstoffbelastungen in der Umwelt und von neuen Nahrungsmittelkonzepten für eine nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft.



# Zellbasierte Testsysteme zur Bewertung der Sicherheit von Arzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten

## Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/zell-und-gewebetechnologien](http://www.igb.fraunhofer.de/zell-und-gewebetechnologien)

## Kontakt

Dr. Anke Burger-Kentischer  
Telefon +49 711 970-4023  
[anke.burger-kentischer@igb.fraunhofer.de](mailto:anke.burger-kentischer@igb.fraunhofer.de)

Neben Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten, die bei bestimmungsgemäßer Anwendung in die Umwelt gelangen, belasten auch Arzneimittel und ihre Rückstände die Umwelt. Über das Trinkwasser und landwirtschaftliche Produkte gelangen sie in die Nahrungskette und schädigen so nicht nur Ökosysteme, sondern auch den Menschen. Es gilt daher, ihren Eintrag in die Umwelt zu minimieren und umweltfreundlichere bzw. bioabbaubare Inhaltsstoffe zu entwickeln. Zum anderen müssen aber auch dringend Methoden zur schnellen Erfassung ihres Gefahrenpotenzials, auch in hohem Durchsatz, zur Verfügung gestellt werden.

## Unsere Entwicklung

Genau daran arbeiten wir am Fraunhofer IGB. Die Abteilung Zell- und Gewebetechnologien entwickelt spezifische In-vitro-Modellsysteme, um pharmazeutische Wirkstoffe, kosmetische Präparate, aber auch Chemikalien wie Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte zu testen und hinsichtlich ihres Gefahrenpotenzials für Mensch und Umwelt zu bewerten. Die Testsysteme reichen dabei je nach Fragestellung von einfacheren 2D-Zellassays über Organoide bis hin zu komplexen 3D-Gewebemodellen.

Die herausragende Aussagekraft unserer In-vitro-Modellsysteme erreichen wir vor allem durch folgende Kerntechnologien:

- Gezielte Entwicklung von zellbasierten Reportertestsystemen, mit denen sich lokale Wirkungen (z. B. Sensibilisierung) ebenso nachweisen lassen wie umfassendere physiologische Wirkungen (z. B. durch endokrine Mechanismen vermittelte toxische Effekte)
- Einsatz spezifischer Rezeptoren (Immun- und Hormonrezeptoren), die über die Bindung spezieller Liganden als Biosensoren für die Point-of-Care-Diagnostik fungieren

## Vorteile und Technologiereife

Die Basis unserer spezifischen Reporterzellen sind Primärzellen gesunder Spender. Direkt aus dem Ursprungsgewebe isoliert, ähneln diese – im Gegensatz zu kommerziellen Zelllinien aus Tumorgewebe – dem In-vivo-Zustand der Zellen und weisen eine normale Physiologie auf. Durch gezielte Immortalisierung lassen sich die isolierten Primärzellen kontinuierlich kultivieren und stehen damit reproduzierbar und unbegrenzt zur Verfügung. Aufgrund dieser Eigenschaften eignen sie sich hervorragend als Modellsysteme, um Auswirkungen von Wirkstoffen und toxischen Substanzen auf Zellen zu untersuchen und deren Gefahrenpotenzial zu charakterisieren. Eingesetzt in zellbasierten Testsystemen, können wir die In-vivo-Situation realitätsnah nachstellen und Zellreaktionen in Echtzeit analysieren.

Zellbasierte Assays, insbesondere auf Basis von Reporterzellen, sind über photometrische Auswertungsverfahren zudem hochdurchsatzfähig und sparen Zeit und Kosten. Reporter-Gen-Assays sind von unschätzbarem Wert für Untersuchungen der Genexpression oder der Aktivierung von Zellsignalwegen. Die Aktivierung von Zellsignalwegen wird über die Quantifizierung der Expression des Reportergens nachgewiesen und gemessen. So können wir mit unseren Reporter-Gen-Assays ganz spezifische Fragestellungen in Echtzeit verfolgen, beispielsweise ob und in welchem Maße Substanzen allergische Reaktionen auslösen oder zu gesundheitsschädlichen Wirkungen führen.

Am Fraunhofer IGB stehen verschiedene zelluläre Testsysteme zur Untersuchung unterschiedlicher Substanzwirkungen zur Verfügung. Ein Großteil ist reif für den industriellen Einsatz, andere noch am Anfang der Entwicklung. Eine Übersicht gibt die nebenstehende Tabelle.

## Zusammenarbeit

Die bisher etablierten zellbasierten Test- und Screeningassays mittels Reportersystemen wurden patentrechtlich geschützt und stehen unseren Kunden und Projektpartnern exklusiv für Auftragsanalysen oder über Auslizenzierungen zur Verfügung. Mit unserer Expertise entwickeln wir gerne weitere Modelle nach den spezifischen Anforderungen unserer Kunden. Unsere Technologien lassen sich für zahlreiche Anwendungen einsetzen, in Medizin, Pharmazie und Veterinärmedizin, in der Umweltbiotechnologie, in der industriellen Biotechnologie sowie für biotechnologische Prozesse im Allgemeinen.

### Auftragstestung von Arzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln, Biozidprodukten

- Screening neuer Substanzen und Ersatzstoffe
- Studien zur Wirkstoffabgabe
- Studien zur Wirkung auf Haut und Darm
- Wirkungsweise von Arzneimitteln und Wirkstoffen
- Studien zur Wundheilung
- Toxikologische Bewertung von Chemikalien und Produkten
- Analyse von Umwelteinflüssen auf die Hautphysiologie

### Etablierung maßgeschneiderter Reporter-Gen-Assays für kundenspezifische Fragestellungen

- Nachweis molekularer Substanzreaktionen
  - wirkungszentriert (z. B. zum Nachweis von ER-Stress)
  - stoffzentriert (z. B. zum kombinatorischen Nachweis metabolischer und endokriner Wirkungen von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen, PFAS).
- Nachweis von Wirkungen auf das Zentralnervensystem
  - Nachweis von Neurotoxinen, z. B. mittels Acetylcholinrezeptoren
- Nachweis von Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System
  - Nachweis von Kardiotoxinen, z. B. mittels HER2-Rezeptoren
- Nachweis von kanzerogenen Wirkungen
  - mittels wachstumsfaktorspezifischer Rezeptoren, z. B. EGF-Rezeptor
- Nachweis von teratogenen Wirkungen
  - mittels bestimmter Kernrezeptoren, z. B. PPAR $\alpha$



### Am Fraunhofer IGB etablierte Testsysteme zur Untersuchung unterschiedlicher Effekte von Substanzen

Testsystem	Getestete Substanzwirkung	Technologiereifegrad
Sensibilisierung in zellbasierten Assays und in 3D-Vollhautmodellen	Auslösen allergischer Reaktionen	TRL 9
Inflammation in zellbasierten Assays und in 3D-Vollhautmodellen	Auslösen von Entzündungsreaktionen	TRL 9
Toxizität in zellbasierten Assays	Nachweis zytotoxischer Wirkung	TRL 9
Endokrine Wirkung in zellbasierten Assays	Gesundheitsschädliche Wirkungen, die über eine Beeinflussung des Hormonsystems ausgelöst werden	TRL 2
Kombinatorische metabolische und hormonelle Wirkungen (Peroxisom-Proliferator-aktivierter Rezeptor, Leptin-Rezeptor und Östrogen-Rezeptor)	Gesundheitsschädliche Wirkungen, die über eine Beeinflussung des Hormonsystems ausgelöst werden	TRL 2
Kombinatorische Wirkungen von Zellstress in zellbasierten Assays	Auslösen von ER-Stress, oxidativem Stress und Entzündungsreaktionen	TRL 8



**Wenn wir uns zukünftig mehr nach den wirklich geforderten Eigenschaften eines Produkts richten, können wir PFAS in zahlreichen Anwendungen ersetzen.»**

**Dr. Michaela Müller**  
Abteilungsleiterin Funktionale Oberflächen und Materialien



# Problemfall PFAS

## Lösungsansätze zur Substitution und Beseitigung

In zahlreichen Industriezweigen spielen per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, kurz PFAS, aufgrund ihrer Eigenschaften und vielfältigen Einsatzbereiche eine Schlüsselrolle. Die Kehrseite ist, dass sie nicht abbaubar sind und sich in Umwelt, Tier und Mensch anreichern. Da einige PFAS-Substanzen nachweislich die Gesundheit schädigen, diskutiert die Politik ein EU-weites Verbot. Forschende am Fraunhofer IGB arbeiten an unschädlichen Alternativen, mit denen sich PFAS substituieren lassen. Zudem entwickelt das Institut verschiedene Lösungsansätze, um PFAS aus Wasser zu entfernen. Diese standen auch im Mittelpunkt des 22. Abwasserkolloquiums am Fraunhofer IGB »PFAS und Spurenstoffe im Brennpunkt« im September 2023. Möglichkeiten der PFAS-Substitution sowie werkstoffliche und technische Entwicklungsziele diskutierten Fachleute der Fraunhofer-Allianz Chemie, darunter Dr. Michaela Müller vom Fraunhofer IGB, bei einem Dialogtag mit den Anwenderbranchen im Oktober 2023.

Ob Pfannen, Regenjacken, Lebensmittelverpackungen oder Feuerlöschschaum – zahlreiche Alltagsprodukte enthalten per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, kurz PFAS. Dabei handelt es sich um eine Gruppe vielseitiger organisch-chemischer Verbindungen, bei denen die Wasserstoffdurch Fluoratome ersetzt wurden – entweder vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert). Dies verleiht ihnen in einzigartiger Weise kombinierte Eigenschaften, beispielsweise wasser-, fett- und schmutzabweisend, welche sie für zahlreiche Branchen und Produkte interessant machen. PFAS-Kunststoffe wie Polytetrafluorethylen (PTFE, Handelsname Teflon™) sind sowohl chemisch als auch thermisch sehr stabil: Hiermit ausgerüstete Oberflächen besitzen zusätzlich reibmindernde und Antihafteigenschaften. Damit sind PFAS vielseitig einsetzbar – als Dichtungsmaterialien, Korrosionsschutzbeschichtungen, Additiv für Schmiermittel, aber auch als Inhaltsstoffe in Kosmetika.

### PFAS – Gefahr für Umwelt und Gesundheit

Doch woher kommt ihr schlechter Ruf? Einige PFAS-Vertreter sind mittlerweile unter anderem in Grundwasser und im Menschen nachweisbar. Dies erfordert eine differenzierte Betrachtung der unterschiedlichen PFAS.



*Dr. Michaela Müller, Abteilungsleiterin Funktionale Materialien und Oberflächen, vertrat das Fraunhofer IGB beim Dialogtag der Allianz Chemie am 12. Oktober 2023, unter anderem mit ihrem Vortrag »PFAS-Substitution: Was ist realistisch, was ist Wunschenken?«.*

## Fraunhofer-Allianz Chemie

Das Fraunhofer IGB ist Mitglied in der Allianz Chemie, deren Institute an einer Vielzahl von PFAS-relevanten Fragestellungen forschen und damit eine einzigartig breite Fachexpertise zur Verfügung stellen.

► [www.chemie.fraunhofer.de/de/pfas-substitution.html](http://www.chemie.fraunhofer.de/de/pfas-substitution.html)

### Statement der Fraunhofer-Allianz Chemie

► [www.chemie.fraunhofer.de/content/dam/chemie/dokumente/Position-Paper\\_PFAS\\_Fraunhofer.pdf](http://www.chemie.fraunhofer.de/content/dam/chemie/dokumente/Position-Paper_PFAS_Fraunhofer.pdf)

## Fraunhofer-Magazin 4/23 »Jahrhundert-Gifte PFAS«

► [www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/pfas.html](http://www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/pfas.html)

Kleinere PFAS-Moleküle wie Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) sind nachgewiesenermaßen toxisch für Mensch und Umwelt. Die niedermolekularen PFAS können sich in tierischem Gewebe anreichern und somit auch beim Menschen auf dem Esstisch landen. Über die Nahrung oder das Trinkwasser gelangen die Chemikalien in den menschlichen Körper, mit erheblichen gesundheitlichen Auswirkungen, die von der Schädigung von Organen bis hin zu Krebserkrankungen oder Entwicklungsstörungen reichen.

In vielen Ländern gelten deshalb bereits Grenzwerte für bestimmte PFAS in Trinkwasser. Mit der Novelle der deutschen Trinkwasserverordnung, die Mitte 2023 in Kraft getreten ist, werden die Grenzwerte für PFAS in Wasser in den nächsten Jahren in zwei Stufen herabgesetzt. Auch konkrete Verbote verdeutlichen verschärfte Regulierungen: etwa für Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), deren Einsatz im Sinne des Stockholmer Übereinkommens zur Eindämmung von persistenten organischen Chemikalien in der Umwelt auf einige wenige unerlässliche Anwendungsgebiete beschränkt wird.

Bei den höhermolekularen Kunststoffen wie PTFE ist ihre Stabilität und damit Nichtabbaubarkeit in der Umwelt das größte Problem. So ist derzeit schlicht nicht bekannt und absehbar, was in hundert Jahren mit diesen Materialien in der Umwelt geschehen wird, ob sie vielleicht doch in toxische Substanzen umgewandelt werden.

Um dem in Deutschland und der EU vorherrschenden Vorsorgeprinzip gerecht zu werden, ist eine weitere Regulierung solch persistenter Materialien im Gespräch. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass bei der Herstellung von Fluorkunststoffen niedermolekulare PFAS eingesetzt werden, die ebenfalls in die Umwelt gelangen können.

## Fraunhofer IGB – Partner für Substitution und Entfernung von PFAS

Angesichts eines drohenden PFAS-Verbots bzw. massiver Beschränkungen bei Herstellung, Verwendung und Lieferung der Industriechemikalien stehen Hersteller und Anwender gleichermaßen vor akutem Handlungsbedarf. Das Fraunhofer IGB unterstützt Unternehmen bei der Suche nach geeigneten Ersatzmaterialien für ihre Produkte, bei der Entwicklung maßgeschneiderter Beschichtungen sowie bei der Bewertung neuer Substanzen und Materialien hinsichtlich möglicher umwelt- und gesundheitsschädigender Wirkungen.

Das Fraunhofer IGB bietet zudem eine breite Palette technischer Lösungen zur Eliminierung von PFAS und anderen Mikroschadstoffen aus Abwässern an, um gesundheitsschädigende Auswirkungen, beispielsweise über das Trinkwasser, zu reduzieren. Neben Membranadsorbentien und Adsorberpartikeln zur Konzentrierung und Abtrennung forscht das Institut an verschiedenen AOP-Verfahren, um einen Abbau der persistenten Substanzen zu erreichen.

### Kontakt

Dr. Michaela Müller  
Telefon +49 711 970-4140  
[michaela.mueller@igb.fraunhofer.de](mailto:michaela.mueller@igb.fraunhofer.de)



# Substitution: Unschädliche Alternativen zu PFAS

Im Rahmen der Debatte um die Umwelt- und Gesundheitsgefahr von PFAS haben große Produzenten bereits einen Rückzug aus der Produktion dieser Verbindungen angekündigt. Damit ist abzusehen, dass einige Fluorchemikalien in Zukunft am Markt nicht mehr erhältlich sind, bzw. nur noch zu deutlich höheren Preisen. Es gibt also viele gute Gründe, nach alternativen Materialien zu suchen.

Aber welche Alternativen gibt es? Das Fraunhofer IGB befasst sich intensiv mit der Frage, welche Materialien hierfür in Frage kommen. Klar ist schon jetzt: Es wird kein Material geben, das Fluorpolymere für alle verschiedenen Anwendungen ersetzen kann. Vielmehr muss in Zukunft, beispielsweise bei der Entwicklung von Beschichtungen, die beabsichtigte Anwendung mit den jeweils erforderlichen Eigenschaften stärker in den Fokus rücken.

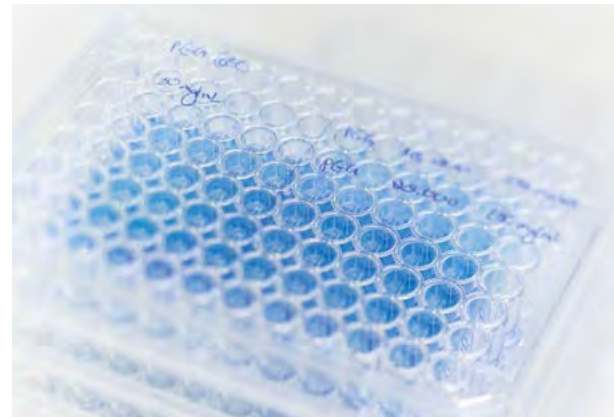
## Fluorfreie Membranmaterialien und Beschichtungen

Das Institut forscht an mehreren Technologien und Verfahren zur Substitution von PFAS, vor allem im Bereich der Beschichtungen. Dazu zählt die Plasmatechnologie, bei der wasserabweisende Beschichtungen, beispielsweise auf Einmalartikeln, mit fluorfreien, für Mensch und Umwelt unschädlichen Gasen, realisiert werden. Eine wasserabweisende Ausrüstung von Textilien konnten wir erfolgreich auch mittels modifiziertem biobasiertem Chitosan oder bestimmten, von Pilzen gebildeten Proteinen, den Hydrophobinen, erreichen. Handlungsbedarf und aktuelle Forschungsarbeiten am Fraunhofer IGB gibt es auch bei Membranmaterialien, etwa für die Filtration und Energiewende. Dabei unterstützt das Institut Firmen bei der Materialentwicklung ebenso wie bei der Anpassung oder Umstellung ihrer Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse.

## Wirkungsbasierte Testung von PFAS-Alternativen

Bei PFAS wurden umwelt- und gesundheits-schädigende Wirkungen erst Jahrzehnte nach ihrer Zulassung offenbar. Dies zeigt, wie wichtig eine umfassende und spezifische öko- und humantoxikologische Bewertung neuer Substanzen zu einem sehr frühen Zeitpunkt – idealerweise bereits in der Entwicklungsphase – ist.

Basierend auf seiner Expertise im Bereich der In-vitro-Zell- und Gewebemodelle hat sich das Fraunhofer IGB deshalb zum Ziel gesetzt, Screening-Testverfahren zu entwickeln, die bereits während der Entwicklung zur Bewertung möglicher PFAS-Alternativen eingesetzt werden können. Mit am IGB etablierten zellbasierten Assays lassen sich neue Substanzen auf klassische toxikologische Endpunkte wie Effekte auf Zellproliferation oder Toxizität testen. Mit spezifischen, eigens entwickelten und patentierten Reporterzell-Assays sowie komplexen 3D-In-vitro-Gewebemodellen, vor allem der Haut, sind darüber hinaus auch gezielt nachteilige Effekte auf Stoffwechselforgänge in Zellen und Geweben und damit beispielsweise immunmodulierende, sensibilisierende, zellstressauslösende oder entzündungsfördernde Wirkungen nachweisbar (siehe Artikel zu Circular Health, Seite 36). Aktuell arbeitet die Abteilung Zell- und Gewebetechnologien unter Leitung von Frau Dr. Burger-Kentischer an der Etablierung spezifischer Reporterzellen beispielsweise zum gezielten Wirkungsnachweis von PFAS auf den Fettstoffwechsel oder zum Nachweis endokriner (hormonähnlicher) Wirkungen.



# Substitution von PFAS über neue Materialien und Beschichtungen



*Kontinuierliche Ausrüstung mit einer PFAS-freien Antihafschicht im Rolle-zu-Rolle-Verfahren*

Nach derzeitigem Stand werden auch Materialien mit hoher chemischer Stabilität, z. B. Teflon™, zukünftig in ihrer Zulassung stark eingeschränkt. Bereits jetzt stellen vereinzelt Hersteller die Produktion von fluorierten Verbindungen ein, sodass einige notwendige PFAS-Vorläufermoleküle in Zukunft nicht mehr am Markt erhältlich sein werden. Für die derzeitigen Anwendungen dieser Materialien muss daher ein geeigneter Ersatz gefunden werden.

## Unsere Entwicklung

Das Fraunhofer IGB ist seit Jahrzehnten Experte im Bereich funktionaler Oberflächen und Materialien, auch für Funktionen, die über PFAS-Beschichtungen erzielt werden. Unsere Expertise im Bereich Polymere, Oberflächen und Beschichtungstechnologien setzen wir ein, um unseren Kunden schnell umsetzbare Lösungen für ihre spezifischen Fragestellungen anzubieten. Die entwickelten Beschichtungen werden unter Laborbedingungen bei uns am Fraunhofer IGB über Plasmaverfahren, andere chemische Gasphasenabscheidungsprozesse oder nasschemisch aufgebracht. Dabei legen wir unser Augenmerk auf eine chemisch stabile (kovalente) Verbindung von Material und Beschichtung, da diese ausschlaggebend für den dauerhaften und erfolgreichen Einsatz der Substitutionsmaterialien ist.

Beschichtungen zur Substitution von PFAS:

- Hydrophob-Ausrüstung mit Antihaft-Plasmapolymeren
- Reibmindernde und chemikalienresistente Ausrüstungen
  - Parylen
  - Plasmabeschichtungen auf Kohlenwasserstoff-/siliziumorganischer Basis

## Vorteile und Technologiereife

Unser Ansatz zur Realisierung optimaler Substitutionsmaterialien ist es, das Material selbst möglichst dicht am Anforderungsprofil

auszuwählen und die Feineinstellung der gewünschten Eigenschaften über die Beschichtung der Materialoberflächen vorzunehmen. Beispielsweise bedeutet dies bei einem Dichtungsring (O-Ring), dass die Volumeneigenschaften, z. B. die geforderte Shore-Härte und Dehnbarkeit, durch das Bulkmaterial geliefert werden. Weitere geforderte Eigenschaften, z. B. der Schlupf und eine Barriere gegen Quellung des Materials, stellen wir durch Beschichtungen her.

Für viele Anwendungen gibt es Bestandteile der künftigen Lösung bereits am Markt, sodass wir für einzelne Komponenten schon auf einem hohen Technologiereifegrad (TRL) einsteigen. Eine Herausforderung ist die Anpassung der Haftvermittlung zwischen Material und Schicht, wobei auch hier schnell der Sprung nach TRL 7 gelingt. Dank unseres Know-hows in den Materialwissenschaften – unterstützt durch eine sehr gute Oberflächenanalytik – rücken auch beim Einsatz gänzlich neuer Materialien und Substanzen industriell umsetzbare Lösungen schnell in Reichweite.

## Zusammenarbeit

Um PFAS zu substituieren, besprechen wir zunächst mit unseren Auftraggebern oder Partnern die genauen Einsatzbedingungen der zu ersetzenden Materialien und generieren hieraus ein spezifisches Anforderungsprofil. Häufig stellt man dabei fest, dass PFAS als hochstabile Verbindungen auch ohne extreme Anforderungen eingesetzt wurden. In solchen Fällen finden sich viele Alternativen ohne PFAS. Bei Anwendungen unter harschen Bedingungen (Chemie, Temperatur, Abrasion etc.) greifen wir hingegen tiefer in die Trickkiste und gehen wie oben beschrieben vor, um das Material auszuwählen und die Beschichtungen festzulegen. Nach Umsetzung der Konzepte im Labor werden die Ergebnisse direkt in der Anwendung bei unseren Partnern validiert. Gegebenenfalls schließt sich eine Optimierungsphase an, bevor wir dann die Technologie skalieren und an Hersteller oder Beschichter übertragen.

## Weitere Informationen



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

## Kontakt

Dr. Jakob Barz  
 Telefon +49 711 970-4114  
[jakob.barz@igb.fraunhofer.de](mailto:jakob.barz@igb.fraunhofer.de)

# Hydrophob-Ausrüstung von Textilien mit biobasiertem Chitosan

In der Textilindustrie wird Chitosan, welches sich aus Reststoffen der Insektenkultivierung oder aus Fischereiabfällen gewinnen lässt, bereits als biobasiertes und umweltfreundliches Schlichtemittel eingesetzt. Aufgrund seiner chemischen Struktur mit Bindestellen für weitere Funktionalitäten bietet sich das nachwachsende Biopolymer darüber hinaus auch zur nachhaltigen Veredlung und fluorfreien Hydrophob-Ausrüstung von Baumwolle, Polyester und Mischgeweben an.

## Unsere Entwicklung

In den Projekten HydroFichi und ExpandChi, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurden, konnten wir am Fraunhofer IGB gemeinsam mit Partnern aus der Textilindustrie chitosanbasierte, wasserabweisende Veredelungen entwickeln. Die chitosanbasierte Hydrophob-Ausrüstung kann PFAS bei Anwendungen mit geringeren bis mittleren Anforderungen ersetzen. Die eingesetzte Technologie basiert auf einer Modifikation des Chitosanbackbones mit aktivierten Strukturen bzw. Molekülen, welche die gewünschten hydrophoben Eigenschaften zeigen. Chitosan agiert hierbei als Matrix. Die Quervernetzung auf dem Textil erfolgt dann entweder klassisch chemisch oder mit biobasierten Cross-Linkern. Teilweise wurden die Quervernetzer biotechnologisch funktionalisiert.

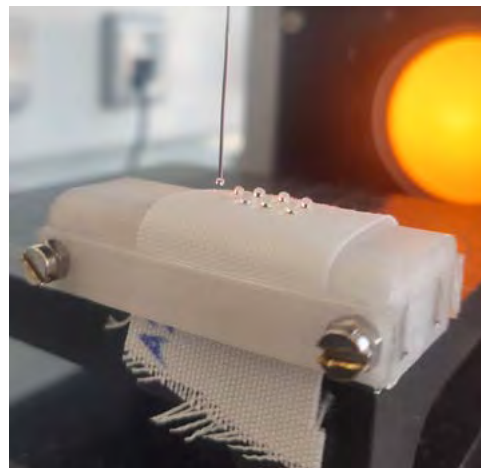
## Vorteile und Technologiereife

Neben der Wasserabweisung (linkes Bild) des beschichteten Textils, die auch nach mehreren Wäschen Bestand hat, verbessert die Ausrüstung zugleich die Abriebbeständigkeit des Textilgewebes. Die All-in-one-Formulierung lässt sich mit in der Textiltechnik üblichen Prozessen auf die Gewebe auftragen, auch im größeren Maßstab (rechtes Bild). Ein großes Textilmuster wird in der Weltausstellung 2025 in Osaka präsentiert. Untersuchungen zeigen

nur wenige Inkompatibilitäten mit anderen Inhaltsstoffen. Damit besteht die Möglichkeit, die Wasserabweisung mit weiteren Veredlungen zu kombinieren.

## Zusammenarbeit

Wir konnten die wasserabweisende, chitosanbasierte Ausrüstung bereits erfolgreich auf andere Materialien (Papier und Pappe) adaptieren, was sie für die Verpackungsindustrie interessant macht. Mit entsprechenden Untersuchungen können wir maßgeschneiderte Derivate von Chitosan für weitere Einsatzmöglichkeiten herstellen, etwa als Haftsichten oder biobasierte Bindemittel für die Holzverarbeitende Industrie. Darüber hinaus lassen sich die im Projekt ExpandChi entwickelten chemischen und biotechnologischen Modifikationen grundsätzlich auch auf andere Polysaccharide zur Herstellung weiterer Funktionalitäten übertragen. Gerne untersuchen wir im Kundenauftrag oder geförderten Projekt weitere Anwendungen und Verwertungsstrategien.



## Weitere Informationen



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

### Kontakt

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

Dr. Thomas Hahn  
Telefon +49 711 970-4159  
thomas.hahn@igb.fraunhofer.de

*links:*

*Hydrophobe Ausstattung*

*rechts:*

*Skalierung bei der Firma*

*Knopf's Sohn*



# Hydrophobe Oberflächen durch hydrophobe Proteine

## Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/hydrophobe-proteine](http://www.igb.fraunhofer.de/hydrophobe-proteine)

## Kontakt

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

Um die Hydrophobie von Oberflächen gezielt einzustellen, könnten Proteine aus Pilzen in bestimmten Fällen eine biologische Alternative zu fluorierten Kohlenwasserstoffen darstellen. In der Abteilung Bioinspirierte Chemie am Institutsteil BioCat in Straubing wurden dafür sogenannte Hydrophobine – Proteine, die natürlicherweise von Pilzen gebildet werden – rekombinant hergestellt. Durch Fusionierung mit Ankerproteinen sind die hydrophoben Proteine in der Lage, gerichtet an zellulosehaltige Oberflächen zu binden.

Damit steht eine Toolbox mit verschiedenen Proteinen zur Verfügung, die Materialoberflächen ohne chemische oder physikalische Vorfunktionalisierung wasserabweisende Eigenschaften verleihen oder möglicherweise auch die Kompatibilität von Materialoberflächen verbessern können, beispielsweise in Klebe- und Kunststoffanwendungen.

Wir untersuchen im Kundenauftrag, wie wir Ihre Oberflächen nach Ihren Anforderungen mit unserem bestehenden Werkzeugkasten an Funktionsproteinen ausrüsten und den Vorteil einer Biologisierung realisieren können.



# Fluorfreie Membranen für Filtration und Energiewende

Beim Einsatz technischer Membranen werden an vielen Stellen fluorhaltige Materialien eingesetzt, etwa in Dichtungen und Rohren der Membrananlagen. Unter anderem aufgrund ihrer besonderen (elektro-)chemischen Stabilität kommen in verschiedenen Anwendungsbereichen auch direkt Membranen auf Basis fluorhaltiger Polymerer zum Einsatz.

Das Fraunhofer IGB arbeitet an der Substitution fluorhaltiger Membranen für folgende Anwendungsbereiche:

## Filtration

Polyvinylidenfluorid-Membranen (PVDF) besitzen hier einen signifikanten Marktanteil, was einerseits an der hohen Leistung der Membranen und andererseits an der Stabilität gegenüber chemischer Reinigung liegt. Es gibt zwar bereits fluorfreie Alternativen, z. B. auf Basis von Polyethersulfon, diese zeigen in der Regel jedoch eine geringere Leistung. Das Fraunhofer IGB arbeitet an der weiteren Optimierung der Leistung dieser alternativen Membranen. Dabei untersuchen wir insbesondere auch den Einsatz grüner Lösemittel.

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

## Elektrochemie

Bei Brennstoffzellen oder auch in der Membranelektrolyse kommen wegen der herausragenden elektrochemischen Stabilität bisher nahezu ausschließlich fluorhaltige Ionomere zum Einsatz. In diesem Bereich sind nach wie vor grundlegende Arbeiten zu neuen Membranmaterialien notwendig. Das Fraunhofer IGB arbeitet an der Entwicklung alternativer Materialien, um den Fluor-gehalt der Membranen zu minimieren. Unser Ansatz dabei ist insbesondere die Entwicklung sogenannter Mixed-Matrix-Membranen, mit denen sich u. a. der Crossover über die Membran minimieren lässt.

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

## Befeuchter-Membranen

Für das Wassermanagement in der Brennstoffzelle werden bevorzugt Membranbefeuchter eingesetzt. Im Projekt FLUID werden fluorfreie Befeuchter-Membranen entwickelt (BMW 03EN5030B). Das Fraunhofer IGB entwickelt hier sowohl Flach- als auch Hohlfasermembranen. Dabei können wir Membranen auch auf Rolle-zu-Rolle-Anlagen kontinuierlich mit geeigneten Trennschichten beschichten. An unseren Testständen können wir die Leistung dieser Membranen auch in realitätsnahen Fahrzyklen bestimmen.

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

*Kontinuierliche Herstellung von fluorfreien Flachmembranen  
mittels Rakeln mit einem grünen Lösemittel*

## Weitere Informationen



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

## Kontakt

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

# Entfernung von PFAS aus Wasser

---



Doch was ist mit den PFAS, die bereits im Umlauf und in Böden, Gewässern und Grundwasser nachzuweisen sind? In die Umwelt gelangen PFAS, wie bereits erwähnt, bei der Herstellung fluorhaltiger Kunststoffe oder beim Einsatz von Löschschaum. Zu einem nicht unerheblichen Teil werden PFAS auch über Abrieb von Kunststoffprodukten und beschichteten Textilien in die Umwelt eingetragen. Ein Problem sind PFAS-haltige Abfälle auf Deponien, bei denen die fluorierten Substanzen ins Sickerwasser ausgewaschen werden.

Hier sind Wasseraufbereitungsverfahren gefragt, mit denen sich belastetes Wasser reinigen lässt. Allerdings werden bei einer Filtration durch Aktivkohle als gängiges Verfahren schädliche PFAS zwar gebunden, aber nicht beseitigt, sodass die Überreste als Sondermüll entsorgt bzw. gelagert werden müssen.

## **Ziel: Vollständiger Abbau von Mikroschadstoffen**

Mit seiner Expertise verfolgt das Fraunhofer IGB daher bevorzugt Strategien bzw. Technologien, mit denen PFAS (und andere Spuren- oder Mikroschadstoffe) aus Wasser nicht nur entfernt, sondern im besten Fall vollständig abgebaut werden können. Dies ist grundsätzlich möglich mit verschiedenen AOP-Verfahren (Advanced Oxidation Processes), zu denen auch plasmabasierte oder photokatalytische Methoden zählen.

Technologien zum Abbau der Chemikalien, die im Labor- und Technikumsmaßstab auch mit realen Wasserproben bereits erfolgreich demonstriert wurden, gilt es nun zu skalieren und mit Partnern unter den realen Bedingungen industrieller Standorte zu evaluieren und für den breiten Einsatz bei akuten Schadensfällen oder in Produktionsbetrieben weiterzuentwickeln.

# Aufbereitung und Rückgewinnung PFAS-belasteter Wässer mittels Atmosphären-Wasserplasma-Behandlung

Grundwasser und Böden sind an vielen Standorten mit gesundheitsschädlichen PFAS verunreinigt.

## Unsere Entwicklung

Mit dem Atmosphären-Wasserplasma steht uns ein Verfahren zur Verfügung, mit dem die Eliminierung von PFAS aus Grund-, Sicker- und Waschwasser möglich ist. Die Plasma-Wasserbehandlung zeichnet sich dadurch aus, dass die Verunreinigungen abgebaut und damit eliminiert werden können. So entfällt die nachgeschaltete und teils kostenintensive Entsorgung, wie sie bei Reinigungstechnologien erforderlich ist, welche PFAS lediglich immobilisieren.

## Vorteile und Technologiereife

Durch die Bildung von kurzlebigen Spezies mit hoher Energie und zahlreichen OH-Radikalen im Plasma ist es möglich, die stabilen C-F-Verbindungen der PFAS aufzubrechen. Ein weiterer Vorteil besteht im weiten Einsatzspektrum der Plasmatechnologie: So konnten wir auch bereits weitere Spurenstoffe, etwa Medikamentenrückstände, Pestizide und Herbizide, erfolgreich entfernen.

*Plasmareaktor zur Reinigung  
von Wasser im Labormaßstab*

Mit unserer Technikumsanlage (TRL 5) haben wir die Wasserreinigung mittels Plasma-Behandlung bereits an realen Wasserproben untersucht und dabei sehr gute Abreinigungsergebnisse bei einer hohen Energieeffizienz im Plasmaprozess von bis zu 15 mg/kWh für PFAS-haltige Wasserproben erzielt.

## Zusammenarbeit

Für die Weiterentwicklung sind wir an einer Zusammenarbeit mit betroffenen Akteuren interessiert, um die Plasmaprozessparameter für den jeweiligen Problemfall hinsichtlich des Reinigungsergebnisses zu optimieren. Ziel ist eine Demonstrationsanlage, die sich für den dezentralen Einsatz im Freifeld unter realen Randbedingungen eignet.

## Weitere Informationen



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

## Kontakt

Dr.-Ing. Georg Umlauf  
Telefon +49 711 970-4142  
[georg.umlauf@  
igb.fraunhofer.de](mailto:georg.umlauf@igb.fraunhofer.de)



# Unabhängiger Technologievergleich in der Wasserbehandlung: Etablierte und neue, grüne und effiziente Methoden

## Weitere Informationen



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

## Kontakt

Dr. Benjamin Wriedt  
Telefon +49 711 970-4008  
[benjamin.wriedt@igb.fraunhofer.de](mailto:benjamin.wriedt@igb.fraunhofer.de)  
[igb.fraunhofer.de](http://igb.fraunhofer.de)

Vorsorglich und aufgrund neuer Grenzwerte für Mikroschadstoffe, u. a. in der neuen EU-Direktive, werden derzeit zahlreiche kommunale Kläranlagen um eine sogenannte vierte Reinigungsstufe erweitert. Dabei werden nach der mechanischen, biologischen und chemischen Behandlung die verbleibenden Reste von Medikamenten, Pestiziden oder Industriechemikalien entfernt. Auch in vielen Industriezweigen wird eine interne Kreislaufführung von Wasser zur Einhaltung gesetzlicher Vorgaben, zur Steigerung der Nachhaltigkeit und zur Senkung von Energieverbrauch und Kosten immer gefragter.

## Auswahl der besten Technologie für individuelle Anforderungen

Bei der Entscheidung für die richtige Technologie, die zu den individuellen Kundenbedürfnissen passt, kann das Fraunhofer IGB technologie- und firmenunabhängige Beratung anbieten. Dabei werden die vorgegebenen Zielparameter mit den markt- und verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen abgeglichen, um ein ganzheitliches, nachhaltiges und zukunftssicheres Konzept zu erhalten.

Des Weiteren besitzt das Fraunhofer IGB die nötige Fachausstattung und Expertise, um repräsentative Proben der Realabwässer von Kunden im Labormaßstab mit verschiedenen etablierten und neuartigen Technologien zu behandeln. Zusätzlich zur Bestimmung

gängiger Summenparameter können die Untersuchungen auf Wunsch mit spezifischen Analysen von Einzelsubstanzen kombiniert werden. So werden sowohl die Effizienz der Methode als auch die Einhaltung der Richtlinien sichergestellt.

Mit den Analyseergebnissen werden Energiebedarf, Behandlungszeit und Methodeneffizienz bewertet, um eine Empfehlung zum geeigneten Behandlungsverfahren abzuleiten. Darüber hinaus bietet das Fraunhofer IGB die Erarbeitung spezifischer Anwendungs- und Dosierungsempfehlungen bei bereits bestehenden Anlagen sowie eine Bestimmung des Oxidationspotenzials der Technologie einer Bestandsanlage als Servicemessungen an.

## Neue Technologien für mehr Effizienz und Nachhaltigkeit

In aktuellen, teilweise öffentlich geförderten Projekten wird am Fraunhofer IGB an alternativen und neuen, innovativen Technologien zur Wasserbehandlung geforscht, um diese in kundenspezifischen Anwendungsfällen mit den etablierten Technologien vergleichen zu können. Dabei spielen nicht nur die Investitions- und Betriebskosten sowie die reine Abbauleistung eine Rolle, sondern auch die Umweltbilanz und möglicherweise schädliche Transformationsprodukte.

### links:

*Dr. Benjamin Wriedt referierte beim Abwasserkolloquium zum Thema »UV- und sonnenlichtgetriebene Photokatalyse«.*

### rechts:

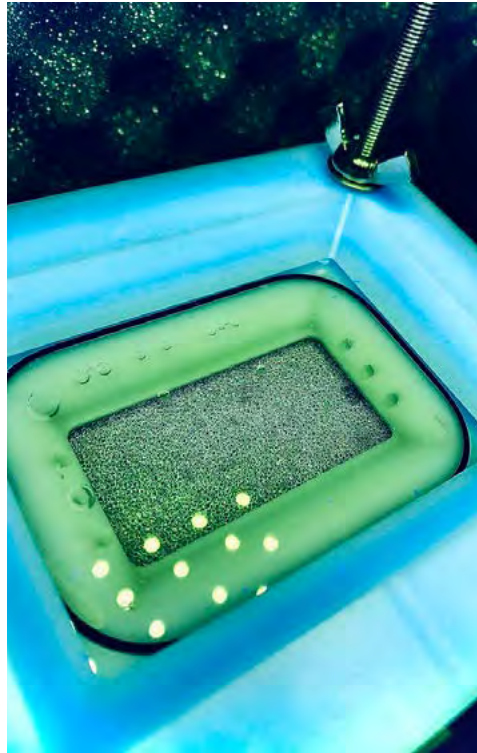
*Beim anschließenden Rundgang zeigte Dr. Jakob Barz den Technikumsaufbau zur Entfernung von Spurenstoffen aus Wasser mittels Plasmatechnologie.*





Aktuell werden im großtechnischen Kontext überwiegend die Verfahren Ozonierung und Aktivkohlefiltration eingesetzt. Diese können jedoch energieintensiv und relativ teuer sein und führen teilweise nur zu einer Abtrennung mit anschließender Deponierung, nicht jedoch zum Abbau der Schadstoffe. Eine in diesem Zusammenhang vielversprechende Methodenklasse sind weitergehende oxidative Verfahren, sogenannte Advanced Oxidation Processes (AOP).

Hierzu sind am Fraunhofer IGB Laboranlagen zu einer dynamisch geregelten UV-C/ $\text{H}_2\text{O}_2$ -Behandlung und zu einer Oxidation mit Diamantelektrode vorhanden. Außerdem werden verschiedene Komponenten für eine hocheffiziente Photokatalysebehandlung getestet, die wahlweise mit UV-A-LEDs, sichtbaren LEDs, Sonnenlicht oder einer Kombination daraus betrieben werden.

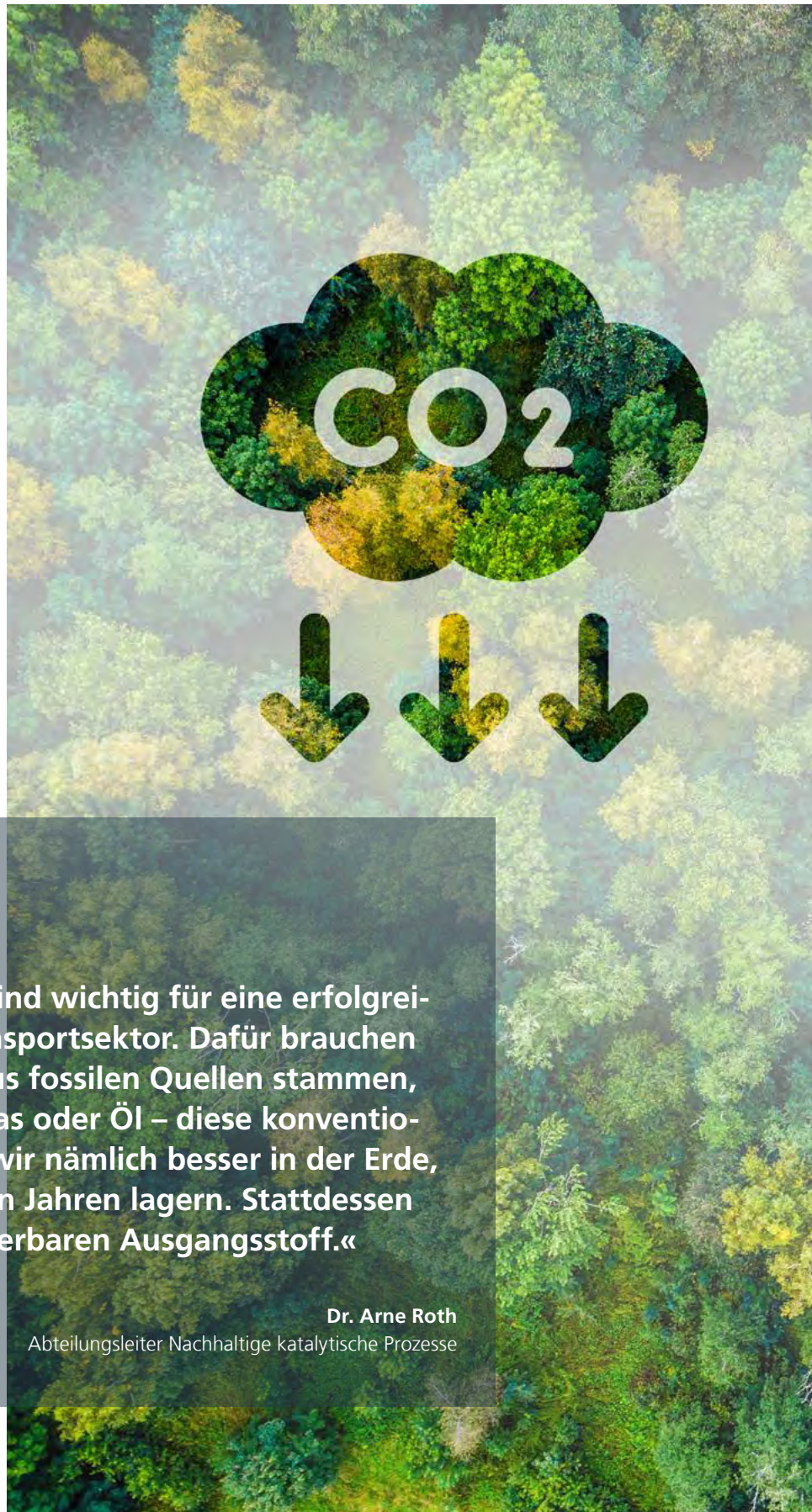


*Ein mit Titandioxid beschichteter Metallschaum als Photokatalysator wird mit Hochleistungs-LEDs aktiviert.*

### **Behandlungsprozesse verstehen, optimieren und Kosten sparen**

Um die individuell beste Lösung für ein zu behandelndes Wasser mit Schadstoffkonzentrationen von einigen hundert mg/L bis hin zu wenigen ng/L zu finden, kann am Fraunhofer IGB eine komponentenfeine Effizienzbestimmung durchgeführt werden. Diese zeigt eindeutig auf, welche Komponente des Verfahrens das größte Optimierungspotenzial besitzt. Die Bewertung erfolgt über neu entwickelte, dynamische Messverfahren zur Photonenkonzentration im Reaktionsraum (Aktinometrie), zum Spaltungspotenzial (OH-Radikalkonzentration) und zur effektiven Behandlungsdauer (Verweilzeitverteilung).

Identifizierte Faktoren können beispielsweise eine Änderung der Reaktorgeometrie, eine bessere Durchmischung, eine Katalysatoroptimierung oder eine anforderungsgesteuerte Anpassung der Betriebsparameter sein. Auf diesem Wege ist eine signifikante Steigerung der Abbauleistung – oft um ein bis zwei Größenordnungen – und eine Steigerung der Zuverlässigkeit gemeinsam mit einer Kostensenkung möglich.



Synthetische Kraftstoffe sind wichtig für eine erfolgreiche Energiewende im Transportsektor. Dafür brauchen wir Rohstoffe, die nicht aus fossilen Quellen stammen, also nicht aus Kohle, Erdgas oder Öl – diese konventionellen Ressourcen lassen wir nämlich besser in der Erde, wo sie seit vielen Millionen Jahren lagern. Stattdessen nehmen wir CO<sub>2</sub> als erneuerbaren Ausgangsstoff.«

Dr. Arne Roth  
Abteilungsleiter Nachhaltige katalytische Prozesse



# CO<sub>2</sub> als Rohstoff für eine nachhaltige Chemie



## Technologien zur Erschließung und Nutzung von CO<sub>2</sub>

Kohlenstoff ist nicht nur zentraler Baustein aller organischen Substanz, sondern auch zahlreicher Alltagsprodukte – von Kraftstoffen und Kunststoffen bis zu Kosmetika und Arzneimitteln. Derzeit werden diese hauptsächlich aus fossilen Rohstoffen wie Erdöl und Erdgas hergestellt.

Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels mit immer dramatischeren Folgen müssen Treibhausgasemissionen dringend vermieden werden, durch Einsparungen im Ressourcenverbrauch und erhöhte Effizienz, aber besonders über den Ersatz fossiler Rohstoffe durch erneuerbare Alternativen. Der Umstieg von der fossilen auf eine erneuerbare Energie- und Rohstoffbasis wird als Defossilierung (auch: Defossilisierung) bezeichnet.

### Fraunhofer IGB – Partner bei der Defossilierung Ihrer Prozesse

Das Fraunhofer IGB unterstützt Sie dabei, Prozesse und Prozesskaskaden zu entwickeln, mittels derer Kraftstoffe, Plattformchemikalien, Kunststoffe und andere chemische Produkte auf klimaneutrale Weise aus erneuerbaren Rohstoffen hergestellt werden können.

# CO<sub>2</sub> – Vom Treibhausgas zum Rohstoff

---

Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) wird in zunehmendem Maße nicht nur als klimaschädliches Treibhausgas, sondern auch als vielversprechende Kohlenstoffquelle für die Synthese vielfältiger chemischer Produkte betrachtet – also als Rohstoff. Beim sogenannten Carbon Capture and Utilization (CCU) geht es jedoch typischerweise nicht um die Assimilation von CO<sub>2</sub> als Biomasse durch die Photosynthese, sondern um die Bindung von CO<sub>2</sub> in Produkten durch technische Prozesse.

## Kohlenstoffkreislaufwirtschaft durch CO<sub>2</sub>-Recycling

CO<sub>2</sub> entsteht bei allen Verbrennungs- und oxidativen Abbauprozessen organischer Materialien, etwa bei der mikrobiellen Zersetzung biogener Substanzen, unserer Atmung sowie der alkoholischen Gärung. Das Klimagas ist damit ubiquitär vorhanden und kann mithilfe erneuerbarer Energie und innovativer Technologien als Rohstoff nutzbar gemacht werden. Die als chemisches CO<sub>2</sub>-Recycling bezeichnete Wiedernutzung trägt dazu bei, eine nachhaltige Kohlenstoffkreislaufwirtschaft aufzubauen und den Einsatz fossiler Ressourcen zu reduzieren.

## Wie die Wiederverwendung von CO<sub>2</sub> gelingt

CO<sub>2</sub> ist eine energiearme und reaktionsträge Verbindung, die nur unter hohem Energieaufwand und mit geeigneten Katalysatoren zu einer chemischen Reaktion bewegt werden kann. Mit Fortschreiten der Energiewende stehen erneuerbare Energien in zunehmendem Maße zur Verfügung, um CO<sub>2</sub> chemisch zu aktivieren und als nachhaltige Kohlenstoffquelle zu nutzen.

In einem ersten Schritt muss CO<sub>2</sub> hierzu über technische Verfahren aus industriellen Prozessgasen (sogenannten Punktquellen) oder direkt aus der Luft (Direct Air Capture, DAC) abgetrennt und aufgereinigt werden. Relevante Punktquellen sind beispielsweise Prozessgase von Brauereien, Abfallverbrennungs- und Biogasanlagen, Zementwerke oder Hochöfen der Stahlindustrie.

## Sektorenkopplung durch chemische Energiespeicher

Mit wenigen chemischen oder elektrokatalytischen Umwandschritten lassen sich aus CO<sub>2</sub> Basischemikalien (u. a. Methan, Methanol, Ethen) oder synthetische Kraftstoffe herstellen. Verbindungen wie Methan oder Methanol sind zudem einfach lager- und transportfähig und können als chemische Energieträger/-speicher fungieren. Damit spielen sie eine wesentliche Rolle bei der Energiewende und verbinden den Energie- mit dem Chemie- und Verkehrssektor.

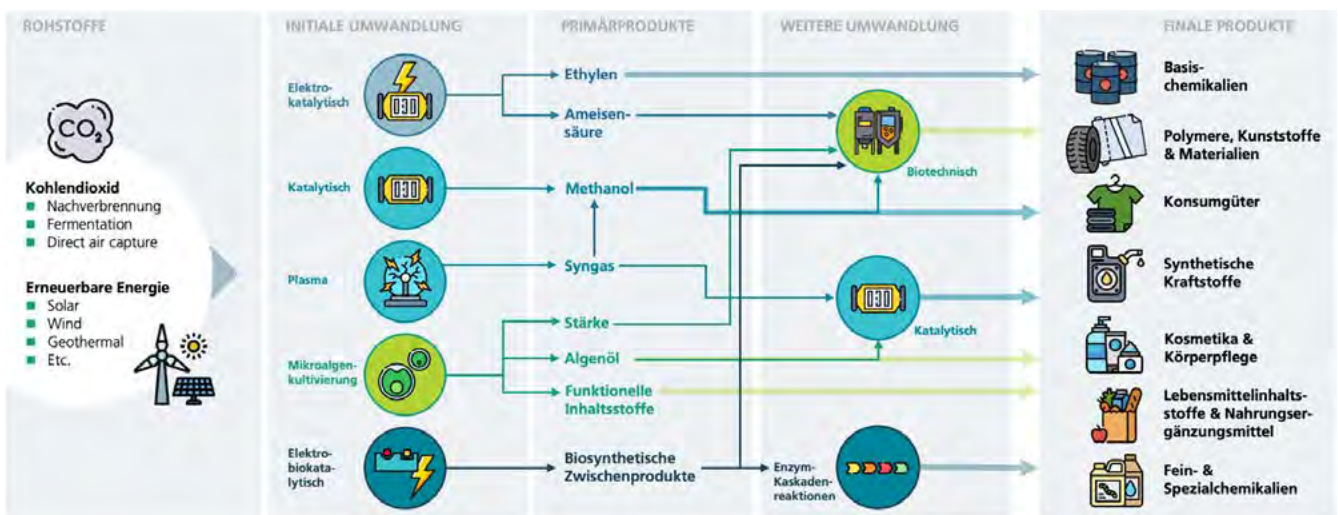
### Kontakt

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



# CO<sub>2</sub>-Konversionstechnologien und Produkte aus CO<sub>2</sub>

Das Fraunhofer IGB verfolgt verschiedene Ansätze zur Aktivierung und Konversion von CO<sub>2</sub> und bietet durch ein enges Zusammenspiel von (Elektro-)Chemie, Verfahrenstechnik und synthetischer Biotechnologie intelligente Lösungen zur Herstellung verschiedenster Produkte aus CO<sub>2</sub> an. Unser Ziel ist es, diese Technologien in Kooperation mit industriellen Partnern zu wirtschaftlich einsetzbaren Verfahren weiterzuentwickeln.



Am Fraunhofer IGB verfolgen wir verschiedene technologische Ansätze, um CO<sub>2</sub> zu einer Vielzahl möglicher Produkte umzuwandeln.



## Basischemikalie Methanol

# Chemische (thermokatalytische) Konversion von CO<sub>2</sub> mit Wasserstoff

### Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/power-to-x](http://www.igb.fraunhofer.de/power-to-x)



[www.cbp.fraunhofer.de/chemische-verfahren](http://www.cbp.fraunhofer.de/chemische-verfahren)

### Kontakt

Dr. Ulrike Junghans  
Telefon +49 3461 43-9128  
ulrike.junghans@igb.fraunhofer.de

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

Methanol ist ein vielfältig nutzbares Power-to-X-Produkt, das mit hoher Selektivität durch direkte thermokatalytische Umsetzung von CO<sub>2</sub> mit Wasserstoff synthetisiert werden kann. Als wichtige Plattformchemikalie bildet Methanol einen Ausgangsstoff für viele bedeutende Produkte der chemischen Industrie sowie für den Transportsektor. Dazu zählen Olefine wie Ethen (Ethylen) und Propen (Propylen), aromatische Verbindungen und Polymerbausteine, aber auch synthetische Kraftstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin).

### Unsere Entwicklung

Wir erforschen die thermokatalytische Methanolsynthese aus CO<sub>2</sub>, um mithilfe resilienter Katalysatoren CO<sub>2</sub> aus industriellen Punktquellen (Abgase von Zementwerken, Bioraffinerien etc.) nutzen zu können. Im Gegensatz zu hochreinem CO<sub>2</sub> enthalten diese Abgase neben CO<sub>2</sub> je nach Ursprung verschiedene Spurenkomponenten, z. B. Sauerstoff, Ammoniak oder Schwefelverbindungen, welche die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer des Katalysators erheblich beeinträchtigen können. In unserer Forschung untersuchen wir den Einfluss solcher Katalysatorgifte und entwickeln Maßnahmen zum Schutz des wertvollen Katalysators.

### Vorteile und Technologiereife

Die Synthese von Methanol ist ein großtechnisch etabliertes Verfahren (TRL 9). Das konventionelle Verfahren basiert auf Synthesegas als Ausgangsstoff, einem Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid (CO), welches aus fossilen Ressourcen (Kohle oder Erdgas) hergestellt wird. Die direkte Synthese aus CO<sub>2</sub> und Wasserstoff befindet sich bereits am Beginn einer industriellen Anwendung. Der Vorteil der direkten Prozessroute besteht in der Vermeidung eines vorgeschalteten,

technisch anspruchsvollen Prozesses zur Umsetzung von CO<sub>2</sub> zu CO.

Der Einfluss möglicher Katalysatorgifte in CO<sub>2</sub>-Strömen aus industriellen Punktquellen ist derzeit noch unzureichend untersucht. Hier besteht Entwicklungsbedarf, um stabile und resiliente Katalysatoren für die CO<sub>2</sub>-basierte Methanolsynthese bereitzustellen. Insbesondere sind Untersuchungen zur Upstream-Prozessintegration der Methanolsynthese mit verschiedenen technischen CO<sub>2</sub>-Quellen wichtig, um die verschiedenen Abgase für einen stabilen und leistungsfähigen Prozess aufbereiten zu können.

### Zusammenarbeit

Wir möchten unsere Forschung und Entwicklung zur Methanolsynthese mit Partnern aus der gesamten Wertschöpfungskette vorantreiben: Firmen, die CO<sub>2</sub> als Rohstoff aus einem industriellen Prozessgasstrom bereitstellen können, die an der Entwicklung oder Produktion geeigneter Katalysatoren arbeiten, die bereits in der Methanolherstellung aktiv sind, oder die Methanol für weitere Umsetzungen nutzen. Hierfür bieten wir unseren Partnern Infrastruktur vom Labor- bis in den Pilotmaßstab an, um eine integrierte Prozessentwicklung zu ermöglichen.

Pilotanlage zur Methanolsynthese



## Basischemikalie Ameisensäure

# Elektrokatalytische Konversion von CO<sub>2</sub>

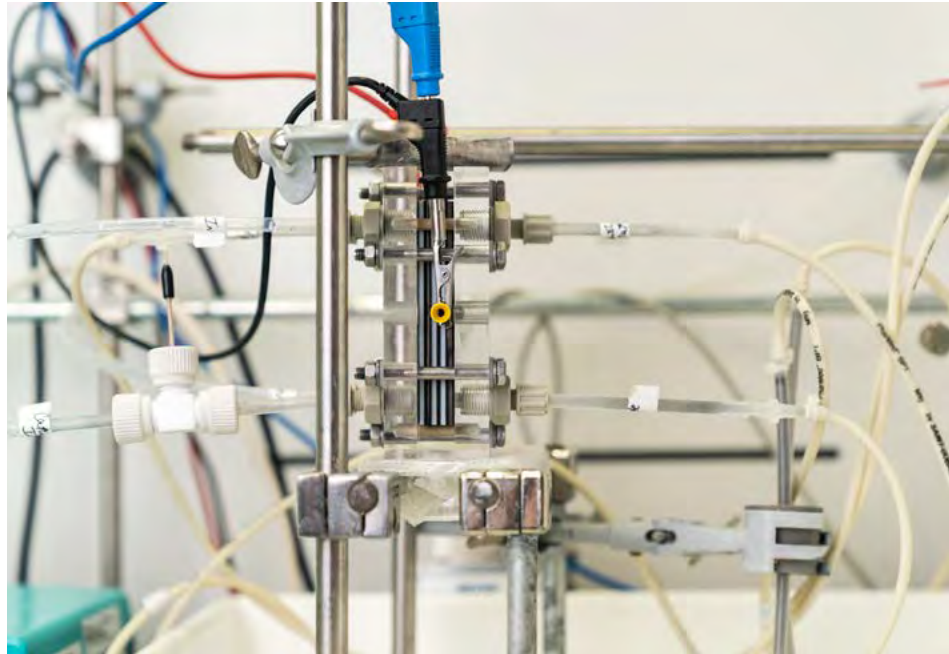
Die direkte elektrokatalytische Reduktion von CO<sub>2</sub> in einer elektrochemischen Zelle bietet eine attraktive Alternative zur thermokatalytischen Umsetzung mit Wasserstoff. Hierbei sind verschiedene Reduktionsprodukte möglich, wobei wir uns am Fraunhofer IGB auf die elektrokatalytische Synthese von Ameisensäure und deren Salzen konzentrieren.

### Unsere Entwicklung

Für die elektrochemische Synthese von Ameisensäure und Formiatsalzen aus CO<sub>2</sub> setzen wir mit verschiedenen Elektrokatalysatoren beschichtete Gasdiffusionselektroden ein. Unsere Forschung umspannt dabei sowohl die Formulierung der Katalysatoren als auch die Optimierung der Prozessbedingungen nach industriell relevanten Kriterien. So nutzen wir Flusszellen für eine kontinuierliche Prozessführung und arbeiten bei möglichst hohen Stromdichten. Ein wichtiger Zielparame-ter ist auch die Katalysatorstabilität. Je nach Anwendungszweck kommen verschiedene Zellkonzepte zum Einsatz.

### Vorteile und Technologiereife

Die direkte elektrokatalytische Reduktion von CO<sub>2</sub> bietet gegenüber der thermokatalytischen CO<sub>2</sub>-Konversion den Vorteil, dass kein Wasserstoff bereitgestellt werden muss. In der elektrokatalytischen Umsetzung erfolgt die Reduktion von CO<sub>2</sub> durch Elektronenübertragung an der Elektrodenoberfläche. Ein chemisches Reduktionsmittel wird damit überflüssig, eine höhere Energieeffizienz möglich. Allerdings konkurrieren bei der elektrokatalytischen CO<sub>2</sub>-Reduktion mehrere Produktbildungspfade miteinander: Mögliche Reduktionsprodukte sind, neben Ameisensäure, u. a. Kohlenstoffmonoxid, Ethen und Methan. Eine weitere wichtige Nebenreaktion ist die Wasserstoffbildung. Da die meisten Nebenreaktionen in einem ähnlichen



*Elektrochemische Durchflusszelle, mit der wir die Reduktion von CO<sub>2</sub> zu Ameisensäure untersuchen.*

Potenzialfenster wie die Ameisensäurebildung ablaufen, kommt dem verwendeten Elektrokatalysator eine hohe Bedeutung zu, um die Reaktion entlang des gewünschten Reaktionsweges zu kanalisieren und damit die Ausbeute des Zielprodukts zu maximieren. Die elektrochemische Synthese von Ameisensäure befindet sich noch im Forschungsstadium, eine kommerzielle Anwendung ist bisher nicht erfolgt. Die Forschungslandschaft ist sehr dynamisch, verschiedene Zellkonzepte befinden sich in der Entwicklung.

### Zusammenarbeit

Wir haben großes Interesse an der Kooperation mit Partnern aus der Materialentwicklung (Elektroden, Membranen) und der chemischen Industrie (Produktion oder Nutzung von Ameisensäure oder Formiatsalzen), ob im direkten Auftrag oder in gemeinsamen Forschungsprojekten.

### Weitere Informationen



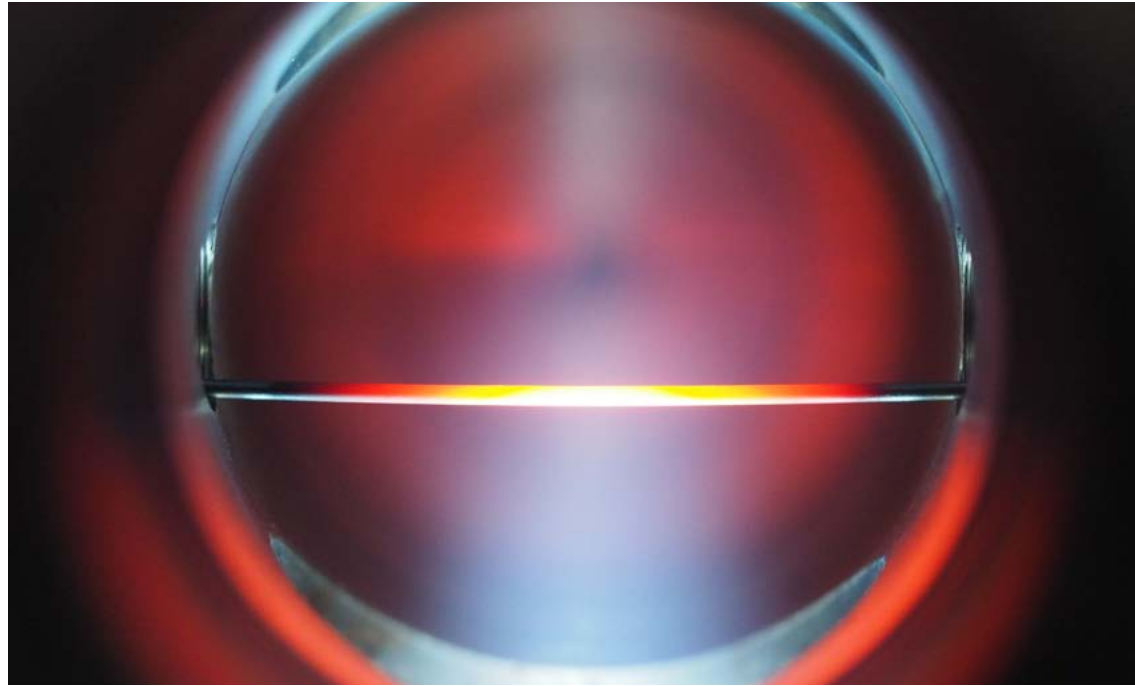
[www.igb.fraunhofer.de/elektrosynthese](http://www.igb.fraunhofer.de/elektrosynthese)

### Kontakt

Dr. Arne Roth  
Telefon +49 9421 9380-1030  
[arne.roth@igb.fraunhofer.de](mailto:arne.roth@igb.fraunhofer.de)

## Synthesegas

# Umwandlung von CO<sub>2</sub> mittels Plasma-Spaltung



*Keramische Hohlfaser-  
membran in einem  
CO<sub>2</sub>-Plasma*

### Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/  
co2-plasma](http://www.igb.fraunhofer.de/co2-plasma)

### Kontakt

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

Eine innovative Methode zur Aktivierung des CO<sub>2</sub>-Moleküls ist die Nutzung eines Plasma-brenners. Dabei wird Energie in Form von Mikrowellen zugeführt und Kohlendioxid in Kohlenmonoxid und Sauerstoff gespalten. Um eine Rekombination zu Kohlendioxid zu verhindern, ist es dabei vorteilhaft, den Sauerstoff aus dem System zu entfernen. Kohlenmonoxid, Bestandteil von Synthesegas, kann als Ausgangsprodukt für die Synthese von Plattformchemikalien dienen.

Im Rahmen der durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekte PiCK (03SFK2S3D) und NexPlas (03SF0618C) wurden am Fraunhofer IGB für diese Anwendung geeignete Membranen

entwickelt. Diese Membranen zeichnen sich durch eine große spezifische Oberfläche, eine hohe O<sub>2</sub>-Permeation, die Stabilität in einer CO<sub>2</sub>-Atmosphäre und eine hohe Thermoschock-Stabilität aus. Auch wurden mittlerweile erste Versuche zur Skalierung des Prozesses erfolgreich durchgeführt.

Das Fraunhofer IGB arbeitet hier weiterhin an einer Optimierung der Membranen und der Aufskalierung des Prozesses.



## Nachhaltiger Transportsektor Synthetische Kraftstoffe

In vielen Bereichen des Transportsektors werden in Zukunft weiterhin Kraftstoffe benötigt, auch wenn alle Autos elektrisch betrieben werden. Ein Großteil der Flugzeuge und Schiffe etwa bleibt auf absehbare Zeit auf Kraftstoffe angewiesen. Damit auch diese Transportmittel klimaneutral bewegt werden können, müssen Kraftstoffe verfügbar sein, über die kein weiteres CO<sub>2</sub> in den aktiven Kohlenstoffkreislauf gelangt.

### Unsere Entwicklung

Am Straubinger Institutsteil des Fraunhofer IGB arbeiten wir an der Entwicklung von Prozessen zur Produktion synthetischer Kraftstoffe aus CO<sub>2</sub>. Zu diesem Zweck bauen wir aktuell das vom Freistaat Bayern geförderte Zentrum für Nachhaltige Kraftstoffe (ZENK) auf. Da Methanol das Schlüsselintermediat in dem von uns verfolgten Ansatz zur CO<sub>2</sub>-basierten Synthese von Kraftstoffen darstellt, ist die Forschung eng mit unseren Arbeiten zur Methanolsynthese verknüpft. Methanol, aus CO<sub>2</sub> und Wasserstoff hergestellt, wird anschließend zu leichten Alkenen (Olefinen) umgesetzt, aus denen wiederum durch Oligomerisierung und Hydrierung sogenannte Mitteldestillate gewonnen werden, also Kraftstoffe im Bereich von Diesel und Kerosin. Neben Methanol können auch andere Alkohole, etwa Ethanol oder Isobutanol, für die Produktion synthetischer Kraftstoffe genutzt werden. Unsere Forschung zum Thema synthetische Kraftstoffe reicht von der Entwicklung der einzelnen Prozessschritte über die Identifizierung der Herausforderungen an deren Schnittstellen bis zur Integration der Prozessschritte zu einem industriell einsetzbaren Verfahren. Die Skalierung dieser Verfahren bis in den Pilotmaßstab erfolgt hierbei dann am Institutsteil in Leuna, dem Fraunhofer CBP, wodurch eine integrierte Prozessentwicklung am Fraunhofer IGB ermöglicht wird.

### Vorteile und Technologiereife

Die Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus CO<sub>2</sub> ist besonders flächen- und ressourceneffizient. Die einzelnen Prozesstechnologien sind bereits recht weit entwickelt, allerdings noch nicht in einem integrierten Verfahren und mit synthetischen Kraftstoffen als Zielprodukt. Wichtige Forschungsfragen, denen wir am Fraunhofer IGB nachgehen, betreffen die Nutzung von CO<sub>2</sub> aus technisch relevanten Quellen, insbesondere aus industriellen Abgasen als sogenannte Punktquellen. Verunreinigungen aus den vorgelagerten industriellen Prozessen können hier die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Katalysatoren für die Methanolsynthese aus CO<sub>2</sub> erheblich beeinträchtigen. Daher beschäftigen wir uns in unseren Arbeiten besonders mit der Prozessintegration und dem Einsatz von CO<sub>2</sub> aus technischen Quellen. Hieraus ergeben sich auch Möglichkeiten, Biomasse-basierte Verfahren, bei denen oft CO<sub>2</sub>-reiche Prozessgase entstehen (z. B. bei Gärungsprozessen), mit der Nutzung von CO<sub>2</sub> zur Kraftstoffsynthese zu kombinieren. So können verschiedene Stoffströme im Sinne einer Bioraffinerie optimal genutzt werden.

### Zusammenarbeit

In unserer Forschung und Entwicklung zu synthetischen Kraftstoffen möchten wir mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie kooperieren, die in den Bereichen Rohstoffbereitstellung (CO<sub>2</sub>, erneuerbare Energie), Kraftstoffproduktion (Katalysatoren, Anlagenbau, Raffinerien) und Kraftstoffnutzung (Logistik, Motoren, Flugzeugbau, Airlines, Reedereien etc.) aktiv sind. Wichtige Fragestellungen betreffen u. a. die Relation von Prozessführung und Kraftstoffqualität und die Anforderungen seitens der Kraftstoffnutzung an die Kraftstoffqualität.



*Vielseitige Anlage zur Entwicklung von Prozessen zur Umsetzung gasförmiger Edukte, z. B. von CO<sub>2</sub> und Wasserstoff*

### Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/synthetische-kraftstoffe](http://www.igb.fraunhofer.de/synthetische-kraftstoffe)

#### Kontakt

Dr. Ulrike Junghans  
Telefon +49 3461 43-9128  
ulrike.junghans@igb.fraunhofer.de

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

## Neue Möglichkeiten CO<sub>2</sub>-basierter Wertschöpfungsketten Power-to-X-to-Y-Kaskadenprozesse: Kombination von Power-to-X und industrieller Biotechnologie

### Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/  
mikrobielle-katalyse](http://www.igb.fraunhofer.de/mikrobielle-katalyse)

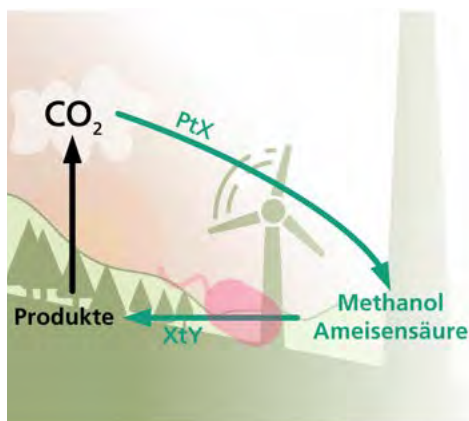
### Kontakt

Dr. Jonathan Fabarius  
Telefon +49 9421 9380-1022  
[jonathan.fabarius@  
igb.fraunhofer.de](mailto:jonathan.fabarius@igb.fraunhofer.de)

Die Verknüpfung von Power-to-X- und CCU-Prozessen und ihren Vorteilen hinsichtlich Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit mit den synthetischen Möglichkeiten der industriellen Biotechnologie – das ist das große Ziel unserer Forschung an Power-to-X-to-Y-Prozesskaskaden. Das Prinzip fußt auf einer chemischen oder elektrochemischen Konversion von CO<sub>2</sub> zu Methanol oder Ameisensäure und der anschließenden fermentativen Umsetzung dieser löslichen C<sub>1</sub>-Verbindungen durch methylo- bzw. formatotrophe Mikroorganismen. Die CO<sub>2</sub>-basierten Substrate Methanol und Ameisensäure ersetzen hierbei Zucker als konventionelles Substrat in der Biotechnologie und ermöglichen eine Fermentationsführung unabhängig von nahrungsmittelrelevanten Rohstoffen.

### Vorteile und Technologiereife

Durch die Kopplung von Power-to-X mit der industriellen Biotechnologie zu Power-to-X-to-Y-Prozesskaskaden bleibt die Rezyklierung von CO<sub>2</sub> in CCU-Anwendungen nicht mehr auf die Synthese einfacher Produkte (»X«) wie Methanol oder Formiat beschränkt. Vielmehr können diese als Rohstoffe zukünftiger (Bio-) Raffinerien dienen, in denen durch geeignete Prozesskaskaden komplexere und wertvollere Plattformchemikalien (»Y«) hergestellt werden. Der Vorteil der Nutzung von Methanol und Ameisensäure als Substrate liegt vor allem in deren Wasserlöslichkeit, die eine vergleichsweise einfache Fermentationsführung erlaubt. Die derzeitige technologische Reife dieses Ansatzes liegt noch im Forschungsbereich. Aktuell arbeiten wir speziell an der Entwicklung leistungsfähiger Produktionsstämme und effizienter Fermentationsprozesse, um Produktausbeuten und -konzentrationen von industrieller Relevanz zu erzielen.



*Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen zukünftig zu reduzieren, sind innovative Konzepte nötig. Eine mögliche Lösung sind Power-to-X-to-Y-Kaskadenprozesse (PtXtY), die die technische CO<sub>2</sub>-Reduktion mit der biotechnologischen Synthese wertvoller Produkte verbinden.*

### Unsere Entwicklung

Neben unseren Arbeiten zur chemischen und elektrochemischen CO<sub>2</sub>-Reduktion (s. o.) liegt der Forschungsfokus bei den Power-to-X-to-Y-Prozesskaskaden vor allem auf der Entwicklung geeigneter mikrobieller Produktionsstämme. Dank unserer Expertise schaffen wir mit Methoden des Metabolic Engineering und systembiotechnologischen Ansätzen maßgeschneiderte Zellfabriken, welche die C<sub>1</sub>-Substrate gezielt umwandeln, beispielsweise in organische Säuren, Aminosäuren oder Diamine. Diese können wiederum als Monomere für die Herstellung verschiedener und vielfältiger Kunststoffe eingesetzt werden. Weiterhin arbeiten wir an den Schnittstellen zwischen technischer CO<sub>2</sub>-Reduktion und fermentativem Folgeprozess und stimmen Prozessführung und Stoffströme so aufeinander ab, dass eine möglichst reibungslose und effiziente Prozessintegration gelingt.

### Zusammenarbeit

Auf dem Gebiet der mikrobiellen Stammentwicklung und Produktaufreinigung (Downstream Processing, DSP) kooperieren wir insbesondere mit Partnern aus der Wissenschaft. Mit Partnern aus der Industrie suchen wir die Zusammenarbeit zur Anwendung biotechnologischer Prozesse und zur Applikation der biotechnologisch synthetisierten Produkte. Von Interesse sind diese Produkte vor allem für Unternehmen der chemischen Industrie, etwa Firmen, die »grüne« Polymere oder Produkte aus nachhaltigen Plattformchemikalien herstellen.

## Wertstoffe aus Biomasse

# Biotechnologische Verwertung von CO<sub>2</sub> mit Mikroalgen

Mikroalgen bieten viele Vorteile und Möglichkeiten, wenn es um die Nutzung von Kohlendioxid als Rohstoff geht. Sie verbinden in weiten Teilen die Einfachheit der Kultivierung einzelliger Organismen mit der Fähigkeit, aus CO<sub>2</sub>, Licht und einigen wenigen Mineralien Biomasse und wertvolle Inhaltsstoffe zu bilden, was sonst im Wesentlichen nur noch Landpflanzen und Makroalgen vermögen. Außerdem bieten Mikroalgen einen großen Artenreichtum und sind damit auch natürliche Produzenten für eine Vielzahl von interessanten Inhaltsstoffen, wie Carotinoide, Proteine, Öle und andere.

### Unsere Entwicklung

Am Fraunhofer IGB erforschen wir, wie wir dieses unglaubliche Potenzial für die wirtschaftliche Herstellung von verschiedenen Produkten nutzen können, welche z. B. Anwendung in der Textil-, Pflanzenstärkungs- oder Nahrungsmittelindustrie finden können.

Hierfür haben wir uns auf die Erforschung der folgenden drei Aspekte spezialisiert:

1. Die Entwicklung innovativer Photobioreaktoren, welche eine kosteneffiziente Kultivierung von Mikroalgen unabhängig von fruchtbarem Land ermöglichen
2. Kultivierungsverfahren für eine Vielzahl von Mikroalgen für die Erzeugung unterschiedlichster Produkte
3. Effektive Ernte von und Produktisolierung aus Mikroalgenkulturen

### Vorteile und Technologiereife

Bei all unseren Entwicklungen bauen wir auf mehr als zwei Jahrzehnte Erfahrung, in denen wir mehrere Technologien, darunter Photobioreaktorsysteme und Kultivierungsprozesse, von der Idee bis zur industriellen

Reife entwickelt haben. Unser interdisziplinäres Team hat bereits mehr als 15 verschiedene Stämme von Mikroalgen erfolgreich kultiviert und ist besonders erfahren in der Nutzung von Abfallströmen als Stickstoff- und Phosphorquellen sowie in der Nutzung verschiedener CO<sub>2</sub>-Quellen. Unser Fokus auf künstlich beleuchtete Photobioreaktoren erlaubt es uns durch die Nutzung erneuerbarer Energie weiterhin, Mikroalgen und deren Inhaltsstoffe unabhängig von Klima- und Lichtverhältnissen sowie von fruchtbarem Boden herzustellen.

### Zusammenarbeit

Mit Partnern in Wissenschaft und Wirtschaft liegt unser Hauptaugenmerk hierbei auf der Entwicklung von Technologien und Wertschöpfungsketten, um das Potenzial von Mikroalgen einer wirtschaftlichen Nutzung nahezubringen.

### Weitere Informationen

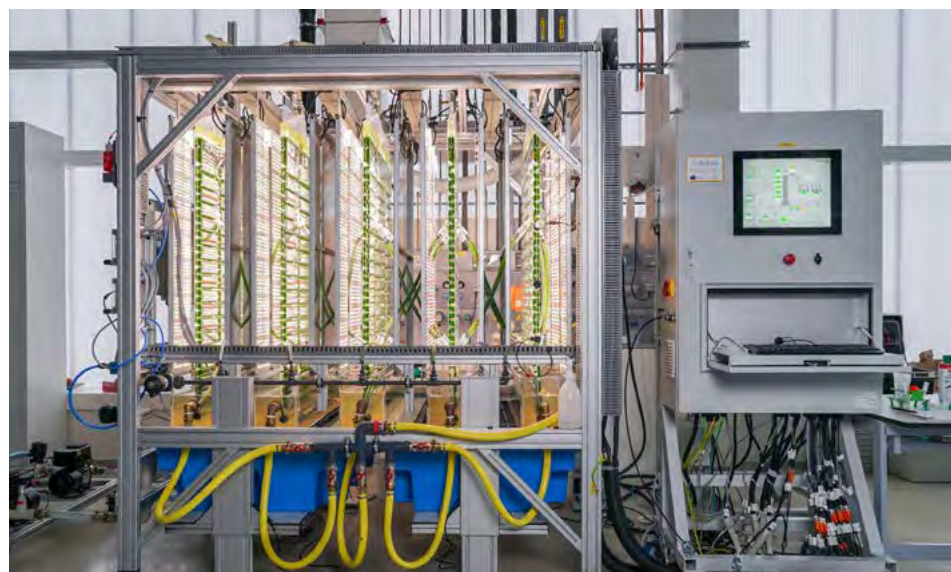


[www.igb.fraunhofer.de/algenbiotechnologie](http://www.igb.fraunhofer.de/algenbiotechnologie)

### Kontakt

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

*Durch kontinuierliche künstliche Beleuchtung der Algenkulturen mittels LED kann der Biomasse-Ertrag wesentlich erhöht werden.*



## Fein- und Spezialchemikalien über modulare Enzymkaskaden Elektrobiokatalytische Fixierung von CO<sub>2</sub>

### Weitere Informationen



[www.igb.fraunhofer.de/biohybride-materialien](http://www.igb.fraunhofer.de/biohybride-materialien)

### Kontakt

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

Auch energetisch unvorteilhafte Biosynthesen, wie die Reduktion von CO<sub>2</sub>, können durch das Zuführen von elektrischer Energie angetrieben werden. Elektrobiokatalytische Synthesemodule erlauben die kombinierte Nutzung von regenerativem Strom, von CO<sub>2</sub> als C<sub>1</sub>-Baustein und von einzelnen Enzymen oder Enzymkaskaden nach dem Vorbild der Natur. Die Ansätze erfordern ein interdisziplinäres Know-how der Material- und Polymerchemie, der Elektrochemie sowie der Biotechnologie.

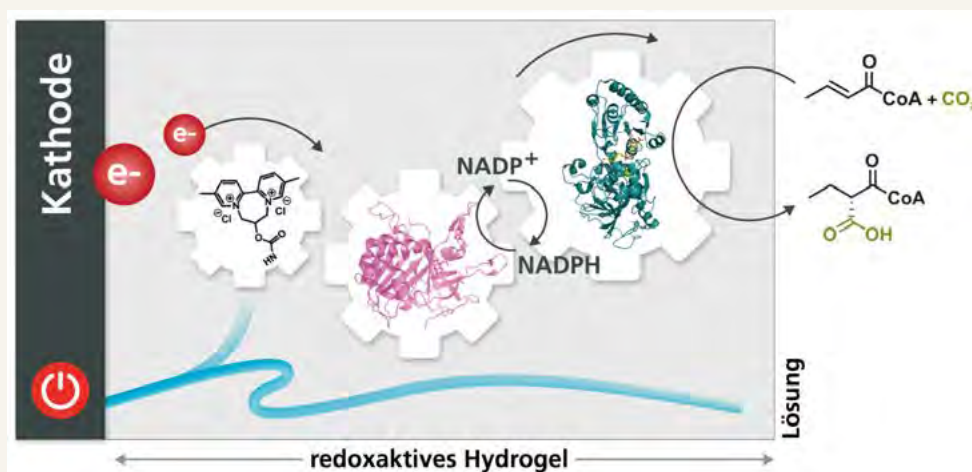
Die Herausforderung bei der Bioelektrokatalyse ist es, einen effizienten Elektronentransfer von der Elektrode zum Enzym zu realisieren. Dies kann im Wesentlichen über zwei Mechanismen erfolgen, den direkten Elektronentransfer von der Elektrodenoberfläche zum Enzym oder den vermittelten Elektronentransfer von der Elektrode über einen Redox-Mediator. Zudem muss die Stabilität der Enzyme auf den Elektrodenarchitekturen (direkt auf Materialoberflächen oder in redox-aktiven Hydrogelen) gesichert sein. Dann aber ist der Zugang zu neuen Reaktionswegen gegeben, die CO<sub>2</sub> im wässrigen Milieu bei niedrigen Konzentrationen ohne erhöhten Druck umsetzen können.

### Unsere Entwicklung

In Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Terrestrische Mikrobiologie in Marburg haben wir in den vergangenen Jahren ein neuartiges Synthesemodul zur elektrobiokatalytischen CO<sub>2</sub>-Fixierung im Labormaßstab etabliert. Darin finden zwei Syntheseschritte statt, die enzymatische Cofaktor-Regeneration von NADPH und eine selektive NADPH-abhängige CO<sub>2</sub>-Fixierung. Die Entwicklung im Bereich der Bioelektrokatalyse wird in laufenden Projekten fortgeführt und erweitert. So untersuchen wir aktuell Möglichkeiten der CO<sub>2</sub>-Nutzung zur Herstellung von Monomeren (Diamine) und zur diversitätsorientierten Synthese von Fein- und Spezialchemikalien über Enzymkaskaden.

### Vorteile und Technologiereife

Der neuartige Ansatz erlaubt es, CO<sub>2</sub> unter milden Reaktionsbedingungen an ein biochemisches Substrat zu fixieren und in fein aufeinander abgestimmten Enzymkaskaden zur Herstellung wertvoller Feinchemikalien zu nutzen. Damit eröffnen sich Wege zur Herstellung von Intermediaten für eine



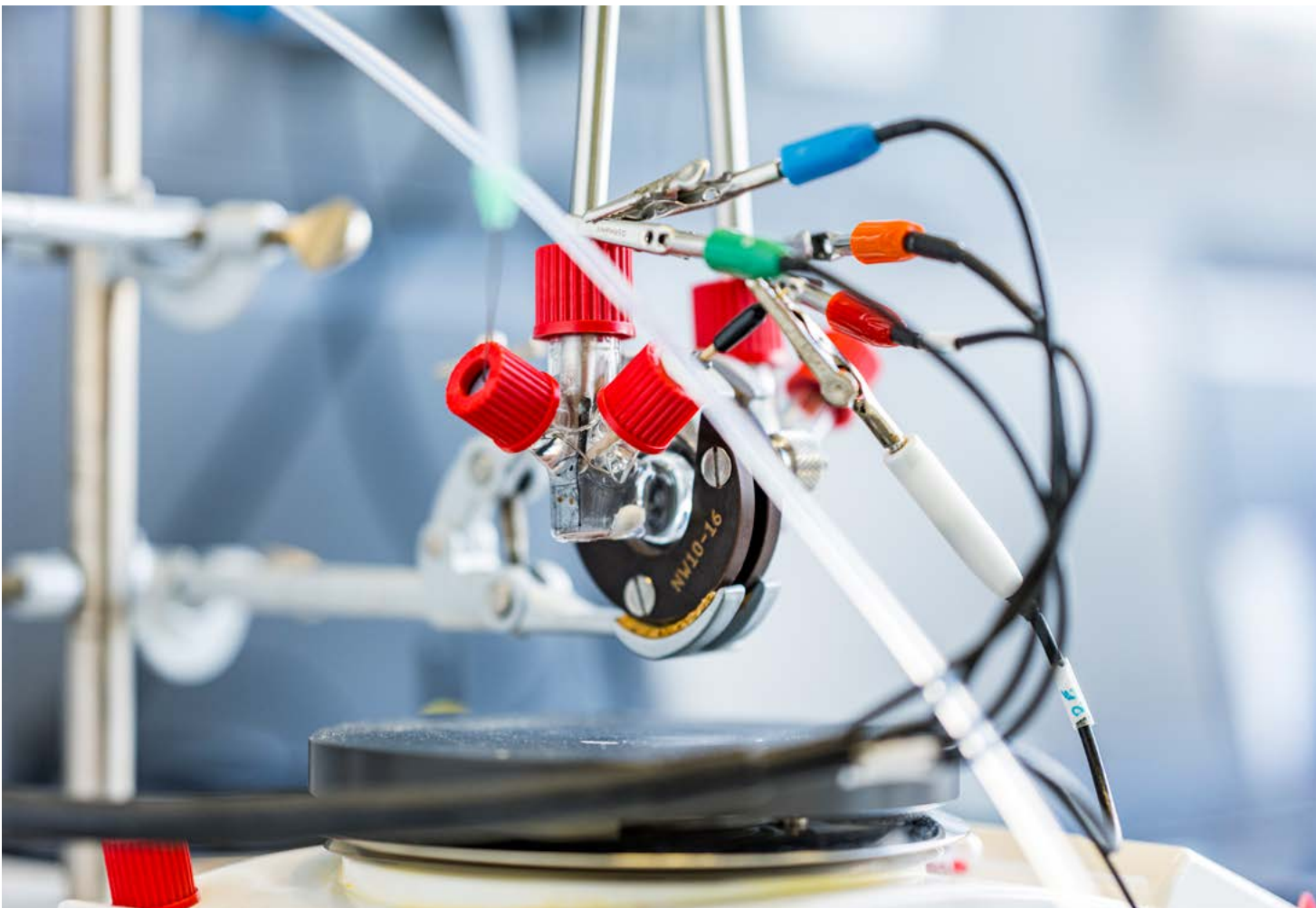
*eBioCO<sub>2</sub>n-Plattform für die elektrisch angetriebene Fixierung von CO<sub>2</sub> in Crotonyl-CoA zur Bildung von (2S)-Ethylmalonyl-CoA.*

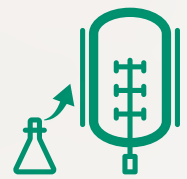
kaskadierende Weiterverwendung in biotechnologischen Prozessen zu Feinchemikalien oder auch Bulk-Materialien wie Monomeren (z. B. Diaminen). In all diesen Prozessen stellt die CO<sub>2</sub>-Nutzung quasi die Verkörperung eines grünen Prozesses im Sinne der grünen Chemie dar: aufgrund der Balance zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Selektivität des katalytischen Prozesses unter milden Bedingungen sowie der Nutzung von lediglich Elektronen, der Reinform eines Reduktionsmittels. Momentan befinden wir uns mit unserer Forschung im Bereich der Bioelektrokatalyse noch im Labormaßstab.

### Zusammenarbeit

Unser Ziel ist es, die nachhaltige Technologie in naher Zukunft in einen größeren Maßstab zu skalieren. Die Skalierung elektrobiokatalytischer Prozesse stellt, zusammen mit dem Downstream Processing, eine der Schlüsselherausforderungen für diese Zukunftstechnologie dar, die wir in Forschungsprojekten mit interessierten Partnern angehen wollen.

*Experimenteller Aufbau zur Entwicklung bioelektrokatalytischer CO<sub>2</sub>-Fixierungs-Verfahren.*





# Skalierung und Pilotierung neuer Verfahren für Chemie und Biotechnologie

Für den Weg neuer nachhaltiger Produkte auf den Markt ist die Übertragung des Herstellungsverfahrens in einen größeren Maßstab ein essenzieller Schritt. Mit seinem Know-how zur Skalierung verschiedenster Verfahren und eigenen Pilotanlagen unterstützt das Fraunhofer IGB Unternehmen bei der Markteinführung grüner Produkte.

Angesichts von Klimawandel und Ressourcenknappheit steht auch die Chemie- und Prozessindustrie vor einem grundlegenden Umbruch. Es gilt, fossile Rohstoffe durch regenerative Ressourcen wie nachwachsende Rohstoffe, biogene Reststoffe oder CO<sub>2</sub> zu ersetzen, damit Treibhausgasemissionen und internationale Abhängigkeiten vermindert werden können.

## Herausforderungen durch Rohstoffwende und Kreislaufwirtschaft

Für diese Rohstoffwende müssen bisherige Herstellungsverfahren auf die neuen Ausgangsstoffe entweder angepasst oder neu etabliert werden. Pflanzliche Biomasse beispielsweise muss aufgeschlossen und fraktioniert, Extraktionsmittel und Prozessparameter müssen angepasst, Anlagen neu ausgelegt werden. Parallel werden neue Methoden zur Qualitätskontrolle und Sicherheitsbewertung der entwickelten Verfahren und ihrer Produkte benötigt. Darüber hinaus sind Unternehmen gefordert, vermehrt Prinzipien der Kreislaufwirtschaft zu berücksichtigen.

## Skalierung und Pilotierung als Schlüssel zum Markt

Bei der Erschließung neuer Ressourcen für die Transformation zu einer grünen, bioökonomischen Wirtschaft spielt die Skalierung eine Schlüsselrolle. Denn neue Verfahren müssen nicht nur im kleinen Maßstab funktionieren, sondern auch auf industriellem Niveau. Pilotanlagen unterstützen Unternehmen bei der Skalierung ihrer Herstellungsprozesse und damit bei der Markteinführung neuer Produkte.



*Gemeinsam mit Partnern der Fraunhofer-Allianz Chemie lud das Fraunhofer CBP im November 2023 Firmen zum »Skalierungstag« nach Leuna ein. Anhand von Best-Practice-Beispielen zeigten Fraunhofer-Fachleute, wie Ideen schneller umgesetzt werden können.*

*Fermentationsanlage zur Kultivierung verschiedener Mikroorganismen (Kaskade von 10 L bis 10 000 L)*

## Vielfältige Gründe für Partnerschaften mit dem Fraunhofer CBP

- Skalierung von im Labor entwickelten Prozessen
- Bereitstellung von Daten zur Auslegung der nächsten Skalierungsstufe
- Integrierte Prozessentwicklung und -optimierung, inklusive der Integration von externem Equipment zum direkten Prozessvergleich
- Verfahrensverifizierung und Show Cases für bspw. Investorenrunden
- Bereitstellung von Daten zur techno-ökonomischen Bewertung und Lebenszyklusanalyse von Prozessen
- Synthese von Mustermengen für Applikationstests
- Gemeinsame IP-Entwicklung

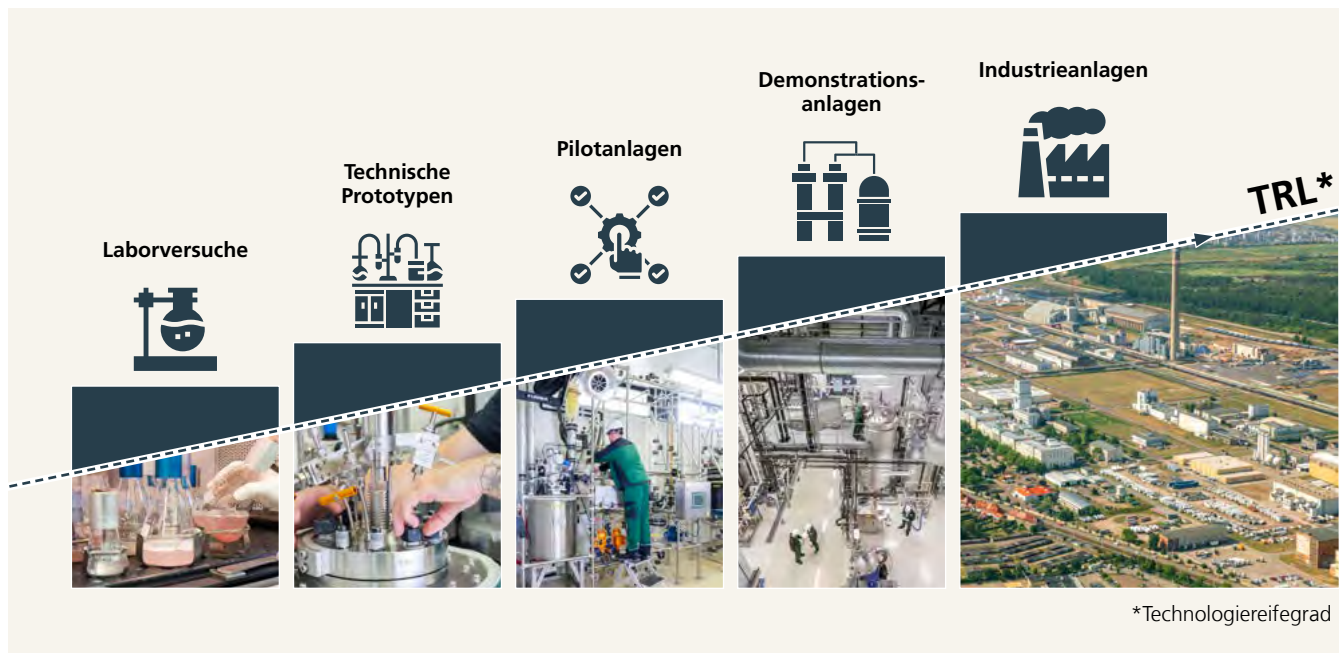
## Pilotanlagen: Musterherstellung, Verfahrensoptimierung, Auslegung der Industrieanlage

Die Herstellung von Mustermengen, größeren Produktmengen im Kilogramm-Maßstab für Anwendungstests, wird oft erst mit Pilotanlagen möglich.

Unerlässlich sind diese auch, um die Effizienz und damit die Wirtschaftlichkeit der entwickelten Verfahren zu erhöhen. Anhand der im Pilotbetrieb generierten Prozessdaten können apparatetechnische Schwachstellen identifiziert, Prozessführungen verbessert und Masse- und Energiebilanzen gewonnen werden. Optimierte Fahrweisen, etwa die Kreislaufführung von Lösungsmitteln oder die Rückgewinnung von Prozesswärme, helfen, Betriebsmittel einzusparen und Kosten zu senken. Auf Basis der Prozessdaten in der Pilotanlage können schließlich die Industrieanlage möglichst wirtschaftlich ausgelegt und Investitionskosten minimiert werden.

### Kontakt

Dr. Christine Rasche  
 Koordinatorin Geschäftsfeld Nachhaltige Chemie  
 Mobil +49 152 06384199  
 christine.rasche@igb.fraunhofer.de



Um größere Produktmengen herstellen zu können, werden neu entwickelte Verfahren stufenweise auf einen jeweils größeren Maßstab übertragen. Die Maßstabübertragung oder Skalierung resultiert dabei in unterschiedlich dimensionierten Anlagen mit jeweils steigenden Produktionskapazitäten. Nach der erfolgreichen Umsetzung einer Idee im Labormaßstab dienen erste technische Prototypen vor allem dazu, die Qualität und Funktionalität des Produkts zu überprüfen.



# Fraunhofer IGB – Ihr Partner für die Skalierung von Prozessen und Technologien

## Unterstützung bis zur Markteinführung

Das Fraunhofer IGB entwickelt neue Prozesse und unterstützt Unternehmen mit seiner Expertise und seiner technischen Ausstattung ebenso bei der Skalierung der Verfahren sowie der Auslegung und dem Bau von Pilotanlagen: von der technischen Realisierung und Inbetriebnahme bis hin zu Fragen der Prozesssicherheit, Regulierungsfragen, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit. Darüber hinaus stellen wir Ihnen modernste Infrastruktur und Apparatechnik mit unseren eigenen Pilotanlagen zur Verfügung. Damit sparen Sie nicht nur Kosten, sondern reduzieren auch Entwicklungsrisiken.

### Skalierungsplattform mit Pilotanlagen am Fraunhofer CBP, Leuna

Mit modular einsetzbarer Reaktor- und Anlagentechnik am Standort in Leuna besitzt das Fraunhofer IGB eine einzigartige Schnittstelle zur industriellen Anwendung von biotechnologischen und chemischen Prozessen. Dies ermöglicht uns, komplette Prozessketten abzubilden – von der Rohstoffaufbereitung über verschiedene Stoffkonversionsprozesse bis hin zur Produktabtrennung und -aufreinigung – und Verfahren im Kundenauftrag zu optimieren. Dies umfasst derzeit u. a. die Bereiche Lignocellulose-Bioraffinerie, Ölsaaten-Bioraffinerie, Fermentation, chemische Konversion sowie Stofftrennung und -aufarbeitung.

### Lignocellulose-Bioraffinerie: Milder Aufschluss für optimale Produkteigenschaften

Der Vorteil nachwachsender Rohstoffe im Vergleich zu fossilen Ressourcen ist die höhere Funktionalität ihrer Inhaltsstoffe. Um diese Funktionalitäten zu erhalten und in Produkten nutzbar machen zu können, muss die Aufarbeitung der chemisch komplexen Rohstoffe unter möglichst milden Bedingungen stattfinden, die verhindern, dass die Funktionalitäten während oder nach der Fraktionierung bzw. Abtrennung verändert werden.

Das Organosolv-Verfahren ist ein solches mildes Verfahren für den Aufschluss von lignocellulosehaltigen Roh- und Reststoffen. Um diese möglichst hochwertig stofflich nutzen und optimale Produkteigenschaften erhalten zu können, untersuchen wir am Fraunhofer CBP alternative Aufschlussverfahren, vor allem das Organosolv-Verfahren, im Pilotmaßstab. Die Pilotanlage (TRL 5–6) steht für Untersuchungen im Kundenauftrag oder in Projekten zur Verfügung, um beispielsweise den Einsatz neuer, innovativer und umweltfreundlicher flüssiger Phasen zu untersuchen, effiziente Waschschritte oder ein Verfahren zur Gewinnung von Ligninfraktionen mit enger Molekulargewichtsverteilung zu entwickeln und hinreichende Mengen an Probestoffen für Partner bereitzustellen. So können alle Bestandteile verholzter Biomasse genutzt und neben der Cellulose auch das Lignin und die Hemicellulose oder Zucker als Produkte gewonnen werden.



*Schneckenpresse zur Vorentwässerung der festen Phase nach einem Aufschluss*

#### Weitere Informationen



[www.cbp.fraunhofer.de/lignocellulose-bioraffinerie](http://www.cbp.fraunhofer.de/lignocellulose-bioraffinerie)

#### Kontakt

Dr. Robert Hartmann  
Telefon +49 3461 43-9111  
robert.hartmann@  
igb.fraunhofer.de

### Weitere Informationen



[www.cbp.fraunhofer.de/  
oelsaaten-bioraffinerie](http://www.cbp.fraunhofer.de/oelsaaten-bioraffinerie)

#### Kontakt

Dr. Robert Hartmann  
Telefon +49 3461 43-9111  
robert.hartmann@  
igb.fraunhofer.de

## Ölsaaten-Bioraffinerie: Vollständige Verwertung von Raps und Co.

Um das Öl aus der Saat zu gewinnen, werden Ölsaaten in der Industrie heute entweder bei hohen Temperaturen und Drücken verarbeitet oder mit Hexan extrahiert. Die restlichen 50 Prozent der Saat bleiben weitgehend ungenutzt. Am Fraunhofer CBP wurde das EthaN<sub>a</sub>-Verfahren als nachhaltige Alternative zur Ölabtrennung weiterentwickelt und eine Pilotanlage errichtet, in der Ölsaaten mittels milder, ethanolischer Extraktion verarbeitet werden können.

In der EthaN<sub>a</sub><sup>®</sup>-Pilotanlage (TRL 5–6) werden batchweise 100 Kilogramm Saat verarbeitet und damit größere Mustermengen an Produkten für eine weitere Charakterisierung im Direktauftrag oder in Konsortialprojekten hergestellt. Als Produkt wird nicht nur Öl gewonnen, sondern zusätzlich auch ein proteinreiches Rapskernkonzentrat, das in Nahrungs- oder Futtermitteln eingesetzt werden kann und damit eine Alternative zu tierischen Produkten darstellt. Weiterhin lassen sich aus der ethanolischen Phase Moleküle isolieren, die als Nahrungsergänzungsmittel oder in kosmetischen Produkten Anwendung finden. Der Einsatz von Ethanol als Lösemittel ermöglicht darüber hinaus auch eine »Bio«-Zertifizierung, während die Verwendung von Hexan zunehmend reglementiert wird.



*Dekanter für die Abtrennung der Feinst- und Schwebstoffe*

Bisher wurde das EthaN<sub>a</sub>-Verfahren für Rapssaat entwickelt, es kann aber auch auf andere Saat-Rohstoffe angewendet werden. Sprechen Sie uns bei Interesse an!

### Weitere Informationen



[www.cbp.fraunhofer.de/  
chemische-verfahren](http://www.cbp.fraunhofer.de/chemische-verfahren)

#### Kontakt

Dipl.-Ing. Jakob Köchermann  
Telefon +49 3461 43-9105  
jakob.koechermann@  
igb.fraunhofer.de

## Skalierung chemischer Verfahren zur Herstellung bio- und CO<sub>2</sub>-basierter Chemikalien

Mittels chemischer Verfahren erschließt das Fraunhofer CBP bio- und CO<sub>2</sub>-basierte Grund- und Feinchemikalien. Für die verfahrenstechnische Entwicklung und Skalierung steht eine herausragende technische Ausstattung zur Verfügung, darunter verschiedenste Standardreaktoren (Rührkessel- und Strömungsrohrreaktoren) vom Labor- bis zum Pilotmaßstab.

Unser Alleinstellungsmerkmal ist die Kombination dieser einzigartigen Ausstattung mit der Erfahrung unserer Mitarbeitenden in der Skalierung chemischer Verfahren im Kontext der Bioökonomie. In Zusammenarbeit mit dem integrierten Analytiklabor und dank vielfältiger Produktaufbereitungsmöglichkeiten (Destillation, Membranseparation, Extraktion etc.) können mit unseren Anlagen Verfahren von Kunden (z. B. Start-ups, andere Forschungseinrichtungen) schnell und effektiv über die gesamte Prozesskette an einem Standort skaliert, optimiert und/oder weiterentwickelt werden – bis zu einem Technologiereifegrad von 5 bis 6.

Dazu passen wir die flexibel einsetzbaren Anlagen den jeweiligen Kundenwünschen oder Projektbedürfnissen entsprechend an. Die Entwicklung kann sowohl in Form von Kundenaufträgen als auch im Rahmen von öffentlich geförderten Forschungsvorhaben gemeinsam durchgeführt werden.



Biotechnologiemodul bestehend aus Anlagen zur Mikroorganismenkultivierung und Produktaufarbeitung (DSP)

## Skalierung biotechnologischer Verfahren zur Herstellung nachhaltiger Chemikalien und Nahrungsmittel

Die Biotechnologie, insbesondere die Fermentation, bietet uns herausragende Möglichkeiten, Chemikalien sowie alternative Proteine auf effiziente und nachhaltige Art und Weise herzustellen. Genetisch veränderte Mikroorganismen ermöglichen es hierbei, Produktionsprozesse, welche üblicherweise einer Vielzahl von Herstellschritten oder der extensiven Nutzung von fruchtbarem Boden bedürfen, in einem verhältnismäßig einfachen Verfahren zusammenzufassen – und zwar auf kleinstem Raum.

Die industrielle Biotechnologie am Fraunhofer IGB und CBP unterstützt hierbei durch die Optimierung und Skalierung solcher Fermentationsprozesse die Implementierung innovativer biotechnologischer Verfahren in der Wirtschaft. Hierfür untersuchen wir in unseren Laboratorien und Technika Aspekte wie Medienzusammensetzung, Fütterungsstrategien und gängige Prozessparameter, z. B. pH, Temperatur, Durchmischung. Wir erforschen jedoch nicht nur die effektive Kultivierung unterschiedlicher Mikroorganismen, sondern legen auch ein besonderes Augenmerk auf die Aufarbeitung von Fermentationsbrühen, um die erzeugten Produkte effizient zu isolieren.

In Partnerschaft mit Hochschulen, Forschungseinrichtungen und insbesondere Unternehmen der freien Wirtschaft haben wir so im Laufe der vergangenen Jahre eine Vielzahl neuer Verfahren auf dem Weg zur industriellen Reife unterstützt.

Hierbei sind bei uns folgende Produktbereiche von besonderem Interesse:

- Bulk- und Spezialchemikalien, z. B. organische Säuren oder Farbstoffe für den Einsatz in der chemischen Industrie
- Alternative Proteine für den Einsatz in Nahrungsmitteln, z. B. rekombinante Milch- oder andere Tierproteine

### Weitere Informationen



[www.cbp.fraunhofer.de/biotechnologische-verfahren](http://www.cbp.fraunhofer.de/biotechnologische-verfahren)

### Kontakt

Sandra Torkler M. Sc.  
Telefon +49 3461 43-9123  
sandra.torkler@  
igb.fraunhofer.de

## Weitere Informationen



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

## Kontakt

Dipl.-Ing. Jakob Köchermann  
Telefon +49 3461 43-9105  
jakob.koechermann@  
igb.fraunhofer.de

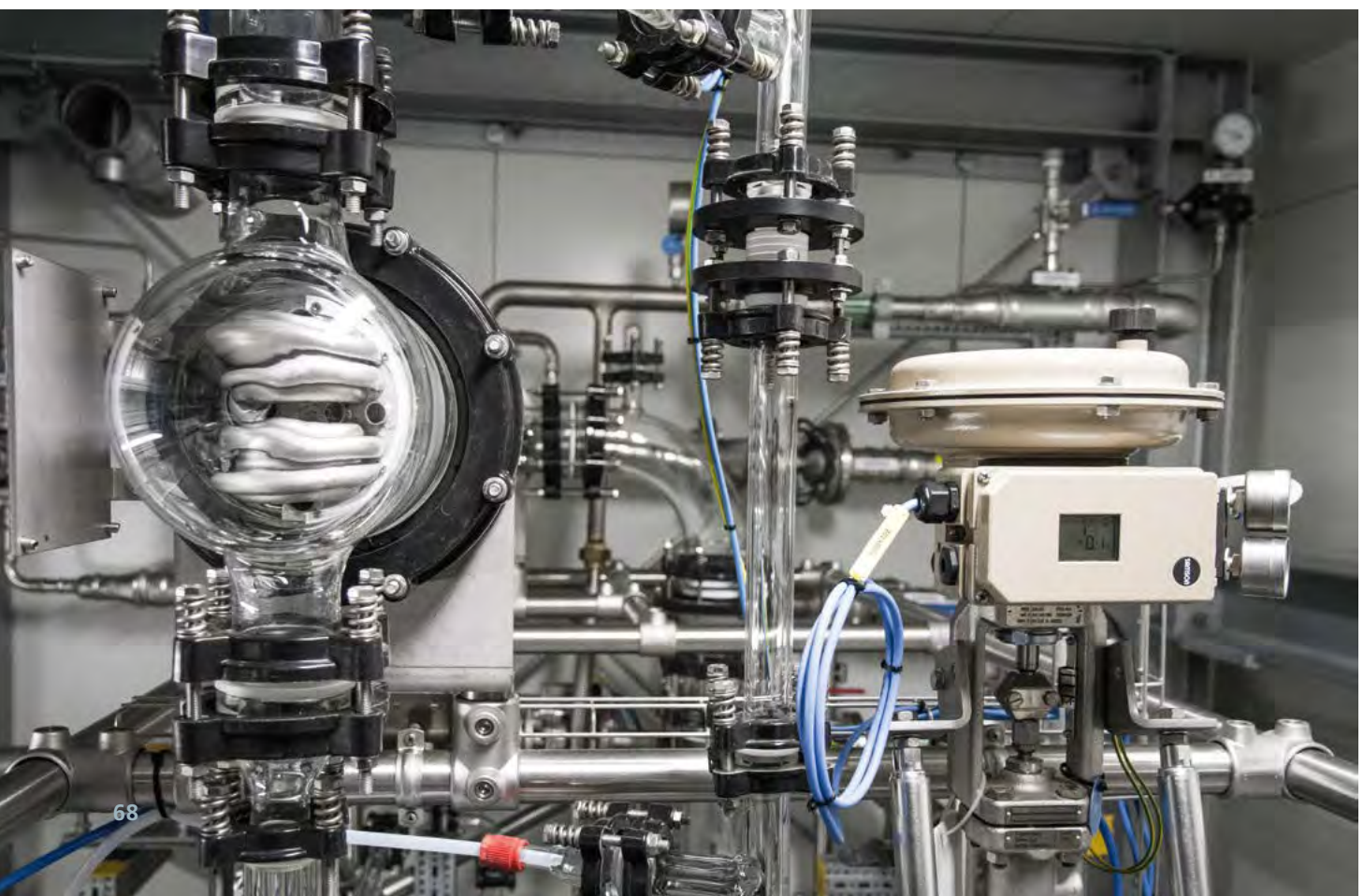
## Vielfältige Anlagen für ein optimales Downstream Processing

Damit ein Produkt in der erforderlichen Reinheit aus Produktmischungen der chemischen Umsetzung oder Kulturmedien bei der biotechnologischen Konversion aufgearbeitet und entsprechende Produktmuster für anwendungstechnische Charakterisierungen bereitgestellt werden können, entwickelt das Fraunhofer CBP die entsprechenden Downstream-Prozesse.

Für die kunden- und/oder projektspezifische Produktaufbereitung stehen am CBP vielfältige Anlagen im Labor- und Pilotmaßstab zur Verfügung. Unser Alleinstellungsmerkmal liegt dabei in der Fähigkeit, die gesamte Prozesskette vom Ausgangsstoff bis zum Produkt an einem Standort abzubilden.

Da die Produktaufarbeitung eine entscheidende Rolle für die Effizienz der Gesamtprozesskette spielt, ist das Downstream Processing integraler Bestandteil der Verfahrensentwicklung am Fraunhofer CBP. Unser systematischer Ansatz umfasst dabei die Entwicklung und Auswahl geeigneter Verfahren, die Simulation und Modellierung von Trennaufgaben sowie deren Umsetzung im Pilotmaßstab. Dabei wird die industrielle Machbarkeit bereits im Labormaßstab beurteilt und optimiert.

## Vakuumrektifikation



# So arbeiten Sie mit uns zusammen

Profitieren Sie von Know-how, Infrastruktur und geschultem Personal

## Entwicklung und Pilotierung im Kundenauftrag

**Wir übertragen Ihre Prozesse in den Pilotmaßstab – mit unseren bestehenden Anlagen oder unter Erweiterung um das notwendige dezidierte Equipment.**

- Auswahl des passenden Equipments
- Prozessauslegung für optimales Ineinandergreifen aller Schritte
- Optimierung im Hinblick auf Produktausbeute und -qualität, Material- und Energieeffizienz
- Unterstützung bis zur Übergabe an einen Lohnfertiger oder bis zur Anlagenauslegung

## XyloSolv – Pilotierung eines sequentiellen Extraktionsverfahrens zur Gewinnung hochwertiger Intermediate aus Buchenholz

Mithilfe eines hydrothermalen Verfahrens lässt sich hochreines Xylan aus Buchenholz extrahieren. Am Fraunhofer CBP wurde dieser Prozess in den 500-Liter-Maßstab überführt und mit einem ethanolischen Organosolv-Aufschluss gekoppelt, sodass auch Lignin- und Faserfraktionen gewonnen und damit alle Holzbestandteile vollständig stofflich genutzt werden können.

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



**Mit unserer Erfahrung, geschultem Personal und strategischen Kooperationen mit Firmen aus Anlagenbau und Engineering gewährleisten wir, dass die in der Pilotanlage erhaltenen Daten für die großtechnische Produktion übertragbar sind.«**

**Dr. Christine Rasche,**  
Koordinatorin Geschäftsfeld Nachhaltige Chemie

*In der Pilotanlage des Fraunhofer CBP können pro Charge bis zu 70 Kilogramm Holz verarbeitet und 8 Kilogramm Xylan gewonnen werden.*



## Geförderte Forschungs- und Entwicklungsprojekte

**Wir demonstrieren neue Prozesse in einem geförderten Projekt mit einer Pilotanlage.**

- Identifizierung geeigneter Fördermaßnahmen und notwendiger Partner
- Ausarbeiten von Projektstrukturen
- Mögliche Koordination von Verbundvorhaben
- Skalierung in bestehenden Anlagen des CBP oder Konzeptionierung und Neubau dezidierter Anlagen
- Gemeinsame Vermarktung und Lizenzierung bei geteilter IP

## Entwicklung und Pilotierung der Pektin-Extraktion aus Zuckerrübenresten – Pro-Pec

Die Zuckerrübe, eine heimische Nutzpflanze, wird zur Gewinnung von Zuckern angebaut. Bislang werden die nach der Zuckergewinnung anfallenden Zuckerrübenreste als minderwertiges Tierfuttermittel genutzt. Dabei enthalten sie bestimmte Pektine, die sich in der Pharmazie einsetzen ließen.

Um weitere Produkte aus Zuckerrüben zu gewinnen und damit deren stoffliche Wertschöpfung zu erhöhen, wird im Projekt Pro-Pec ein Verfahren entwickelt, mit dem pharmazeutisch relevante Pektine aus verarbeiteten Zuckerrüben extrahiert werden können. Diese dürfen ein bestimmtes Molekulargewicht nicht überschreiten und bestimmte funktionale Oberflächengruppen aufweisen. Am Fraunhofer CBP wurden hierzu zunächst Versuche im Labormaßstab durchgeführt und anschließend das vielversprechendste Verfahren auf der Pilotanlage der Lignocellulose-Bioraffinerie erprobt. Mit Erfolg: Auch im Pilotmaßstab konnten Pektine mit den gewünschten Eigenschaften gewonnen werden. In einem nächsten Schritt wird die Extraktion im Pilotmaßstab weiter optimiert und Energie- und Massenströme bilanziert.



*von links nach rechts:  
ausgefälltes Pektin; getrocknetes Pektin;  
gemahlenes Pektin; Ausgangsstoff –  
Zuckerrüben nach Zuckerextraktion*

Ermöglicht wurde diese anspruchsvolle Verfahrensentwicklung zur gezielten Extraktion von speziellen Pektinen durch einerseits die flexible Ausstattung am CBP, um Extraktionen unter unterschiedlichsten Bedingungen zu erproben, und andererseits durch eine von den Projektpartnern bereitgestellte Analytik, um die Extraktionsbedingungen mit den Pektineigenschaften zu korrelieren.

► [www.cbp.fraunhofer.de/pro-pec](http://www.cbp.fraunhofer.de/pro-pec)

### Kontakt

Dr. Robert Hartmann  
Telefon +49 3461 43-9111  
robert.hartmann@igb.fraunhofer.de

## Infrastruktur und Forschungsbetrieb von kundeneigenen Anlagen an unserem Zentrum

**Sie nutzen unser Know-how und unsere Begleit-Infrastruktur für den Bau Ihrer eigenen Demonstrationsanlage bei uns.**

Wenn unsere eigenen Pilotanlagen Ihre Bedarfe nicht abdecken, bieten wir unsere Expertise im Betrieb und in der Prozessoptimierung für Ihre eigenen spezifischen Anlagen, die unter Ihrer Federführung am Fraunhofer CBP errichtet werden.

## Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen – Plastic-to-oil

Im April 2022 startete am Fraunhofer CBP ein FuE-Projekt als Direktauftrag durch die Firma PRUVIA. Ziel war die Verfahrensdemonstration der von PRUVIA entwickelten MLM-R®-Pyrolysetechnologie zum Recycling von Kunststoffabfällen. Ende 2023 wurde die Demonstrationsanlage (TRL 7–8) am Fraunhofer CBP in Betrieb genommen, die sich aufgrund von innovativer Prozessführung und Energierückgewinnung durch hohe Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit auszeichnet.

Die patentierte MLM-R®-Pyrolysetechnologie erlaubt, das zur Plastikherstellung eingesetzte fossile Naphtha thermochemisch aus Kunststoffabfällen zurückzugewinnen, und ermöglicht damit eine vollständige Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen.

Im Projekt stellte das Fraunhofer CBP Infrastruktur für den Aufbau der neuartigen Demonstrationsanlage zur Verfügung. Die Anlage ist Eigentum des Kunden PRUVIA und auch die Errichtung der Anlage lag federführend im Aufgabenbereich des Kunden. In enger Kooperation mit PRUVIA wird das Fraunhofer CBP den Betrieb der Anlage als Forschungs- und Entwicklungsplattform sowie die Prozessanalytik für PRUVIA fortführen. Die hinsichtlich Feedstockanalyse, Energie- und Prozessoptimierung gewonnenen prozesstechnischen Daten und Ergebnisse können dann vom Kunden für Ökobilanzierungen und die Auslegung der industriellen Anlage genutzt werden.

### Kontakt

Dr. Ulrike Junghans  
Telefon +49 3461 43-9128  
[ulrike.junghans@igb.fraunhofer.de](mailto:ulrike.junghans@igb.fraunhofer.de)

*MLM-R®-Pyrolysetechnologie-Demonstrationsanlage*



# Publikationen





## Dissertationen

### **De Azpiazu Nadal, I.**

Proton-conducting (blend) membranes based on sulfonated/phosphonated and basic polymers,  
Universität Stuttgart

### **Michele, A.**

Vernetzung, Permeabilität, Wasser- und Hitzebeständigkeit Polyvinylalkohol-basierter Beschichtungen,  
Universität Stuttgart  
<http://dx.doi.org/10.18419/opus-13870>

### **Pangotra, D.**

Electrochemical water oxidation to hydrogen peroxide at carbon-based anodes: Basic development and optimization of process parameters,  
Technische Universität München (TUM)  
<https://mediatum.ub.tum.de/?id=1698562>

### **Seidler, J.**

Studien der elektrochemischen Konversion von Kohlenstoffdioxid zu Wertprodukten und der Optimierung von industriell relevanten Elektroreduktionen,  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
<http://doi.org/10.25358/openscience-9563>

### **Übele, S.**

Mixed-matrix filtration membranes with integrated adsorber particles for the removal of micropollutants from water,  
Universität Duisburg-Essen

### **Wegat, V.**

Engineering of FLS and RuMP pathway modules for synthetic methylotrophy in yeast,  
Technische Universität München (TUM)

### Auf einen Blick

---

6	Dissertationen
43	Hochschularbeiten
62	Lehrtätigkeiten
45	Artikel in Fachzeitschriften
45	Konferenzbeiträge
1	Buchbeitrag
20	neu erteilte Schutzrechte

# Impressum

---

## Redaktion und Lektorat

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Antje Hetebrüg,  
Lisa Kern M. A. (Bild),  
Dipl.-Betriebswirt (DHBW) Jan Müller M. A.,  
Dipl.-Des. Thaya Schroeder M. Sc. (Bild),  
Dr. Claudia Vorbeck,  
Sarah Zimmermann  
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

Adobe Stock: 38, 46, 50, 52, 53  
Brigola, Victor S.: 41  
Döring, Sven / Agentur Focus: 65  
Fogel, Walter: 34  
InfraLeuna GmbH: 64  
Kleinbach, Frank: 6  
Knopf's Sohn GmbH: 43  
Michalke, Norbert: 62, 67  
Müller, Bernd: 35, 37  
Müller, Marc: 61  
Pruvia: 71  
StMWi/E. Neureuther: 18  
Weiskopf, Tilo: 20

Alle anderen Abbildungen  
© Fraunhofer IGB/Fraunhofer-Gesellschaft

BioEcoSIM®, Caramid-R®, Caramid-S®, ePhos®, nanodyn®,  
Nawamere®, Morgenstadt®, POLO® und SYSWASSER® sind ein-  
getragene Marken der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung  
der angewandten Forschung e. V. in Deutschland.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.  
© Fraunhofer IGB, Stuttgart 2024

# 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



LinkedIn

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



Mastodon

[wiskomm.social/@fraunhoferigb](https://wiskomm.social/@fraunhoferigb)



YouTube

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



Instagram

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



Threads

[www.threads.net/@fraunhoferigb](https://www.threads.net/@fraunhoferigb)

## 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)

## Wir verbinden Biologie und Technik

---

Mikroalgen bilden aus CO<sub>2</sub>, Licht und einigen wenigen Mineralien Biomasse und wertvolle Inhaltsstoffe wie Carotinoide, Proteine und Öle. In diesem neu entwickelten kompakten Photobioreaktor werden Mikroalgen mit effizienter künstlicher Beleuchtung mittels LED kultiviert. Dadurch kann die Lichtenergie optimal zur Bildung von Biomasse genutzt und damit eine hohe Produktivität erreicht werden.

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

