

Jahresbericht 2021

Vorwort



Auch das Jahr 2021 war von der andauernden globalen Corona-Pandemie überschattet. Dabei wurden nicht nur die Wirtschaft und die Gesundheitssysteme vor enorm große Herausforderungen gestellt, auch von der Bevölkerung wurde ein Höchstmaß an Resilienz gefordert. Trotz der schwierigen Lage konnte das Fraunhofer IME durch die konsequente Einhaltung aller Vorsichtsmaßnahmen seine Forschungsaktivitäten und -projekte kontinuierlich weiterführen und wichtige Meilensteine setzen.

Das Highlight für das Fraunhofer IME war die Nominierung des Teams Löwenzahn am Standort Münster für den Deutschen Zukunftspreis 2021. Gemeinsam mit Carla Recker von Continental wurden die Kollegen Dirk Prüfer und Christian Schulze Gronover für das Projekt »Nachhaltige Reifen durch Löwenzahn – Innovationen aus Biologie, Technik und Landwirtschaft« ausgezeichnet. Auch wenn das Team den Deutschen Zukunftspreis nicht erhalten hat, sind sie sehr stolz darauf, für diesen Preis nominiert und in den Kreis der Besten aufgenommen worden zu sein. Die Glückwünsche gingen an das Team von BioNTech für die Entwicklung des COVID-19 mRNA-Impfstoffs.

Am Standort Aachen wurden mit den beiden Forschungsfeldern »Biohybride Technologie« und »Neue Agrarsysteme« die Aktivitäten im Bereich Bioökonomie verstärkt. Beide Themen sind auch Schwerpunkte der Leitprojekte »ShaPID« und »FutureProteins«, an denen auch die anderen Fraunhofer IME Standorte Münster, Gießen und Schmallenberg beteiligt sind. Das Leitprojekt »ShaPID« befasst sich mit der Defossilierung chemischer Produktionsprozesse sowie der Etablierung nachhaltiger und resilienter Stoff- und Energiekreisläufe. Das Leitprojekt »FutureProteins« wird vom Standort Aachen koordiniert und kombiniert die Produktion alternativer Proteinquellen wie Weizengras, Insekten, filamentöse Pilze und Mikroalgen in geschlossenen Agrarsystemen mit einer integrativen Nutzung aller Nebenströme zur Bereitstellung von Proteinrohstoffen für die Nahrungsmittelindustrie.

Am Institutsteil Bioressourcen in Gießen entsteht ein weltweit einzigartiges Zentrum für die Erschließung von Bioressourcen für die Anwendung in der Medizin, dem Pflanzenschutz und der Lebensmittelindustrie. Durch die LOEWE-Förderung des Landes Hessen, welche sich noch bis Ende 2022 in der Phase der Auslauffinanzierung befindet, konnte sich der Institutsteil zur führenden Einrichtung in der Insektenbiotechnologie entwickeln.

In Schmallenberg erreichten die Bauaktivitäten - ein Jahr vor dem geplanten Bezug des 6 000 Quadratmeter großen Laborneubaus und durch die Sanierungsarbeiten des Verwaltungsgebäudes - ihren Höhepunkt. Damit verbundene organisatorische Einschränkung, die durch das zweite Pandemiejahr verschärft wurden, konnten die seit 2010 stetige Steigerung von Betriebs- und Gesamthaushalt nicht aufhalten. Es wurden die nach 2020 zweithöchsten Industrie- und Gesamterträge erzielt.

Wichtige Themenfelder wie etwa Ressourcentechnologien und Bioökonomie bleiben auch in Zukunft ein Fokus unserer diversen Forschungsaktivitäten. Unser Ziel ist es, die Ergebnisse dieser Aktivitäten für die Industrie effizient nutzbar zu machen.


Frank Treppe


Prof. Dr. Christoph Schäfers


Prof. Dr. Stefan Schillberg

Inhalt

Vorwort	2
Das Institut	4
Das Fraunhofer IME im Profil	6
Das Fraunhofer IME in der Fraunhofer-Gesellschaft	8
Kuratorium	9
Geschäftsfelder und -bereiche	10
Institutsleitung und Standorte	16
Das Institut in Zahlen	20
Highlight 2021	22
Nominiert für den Deutschen Zukunftspreis – Team Löwenzahn im Kreis der Besten	22
Einblicke in unsere Forschung	28
LEDitSHAKE: Ein Beleuchtungssystem für Pflanzenzellkulturen	30
Herstellung geschmacksoptimierter Lebensmittel auf Basis von Insekten-Protein	32
Zielgerichtete Biosynthese von pharmazeutisch relevanten Terpenoiden	34
Molekulare Marker neurotoxischer Wirkmechanismen in aquatischen Modellorganismen	36
Neu auftretende Viren gefährden die kommerzielle Bienenzucht und Wildinsekten	38
Insect Farming 4.0 – Wettbewerbsfähiges Insektenprotein als nachhaltiges Futtermittel	40
Biotechnologische Pflanzenschutzmittel durch RNA-Wirkstoffe	42
Untersuchung der Biomagnifikation von Chemikalien im Nahrungsnetz eines Sees	44
Reduktion der Gewässerbelastung durch Pflanzenschutzmittel nach Starkregen	46
Ausgezeichnete Promotionsarbeit	48
Unbekannte Giftmischer: Den Molekülen in Spinnengiften auf der Spur	48
Ausgewählte Publikationen	50
Bewertung der Bioakkumulation von Nanomaterialien anhand von wirbellosen Süßwasserorganismen	53
Nachweis von Corona-Antikörpern mittels magnetischer Immunoassays	55
Bitte nicht abzweigen – Gradlinigkeit zahlt sich aus	57
Insektenbasierte Biokonversion durch Anpassung des Darmmikrobioms	59
Effekte synthetischer Steroidhormone auf die Lebensleistung von Fischen	61
Hochdurchsatz-Plattform für die Naturstoffforschung	63
Biotechnologische Produktion geruchsaktiver Fetaldehyde	65
Promotions- und Abschlussarbeiten	66
Im Gespräch mit Dr. Kerstin Hund-Rinke	68
Menschen und Ereignisse	74
Fakten 2021	82
Impressum	84

Das Institut

Das Fraunhofer IME im Profil

Das Fraunhofer IME in der Fraunhofer-Gesellschaft

Kuratorium

Geschäftsfelder und -bereiche:

 Geschäftsfelder Molekulare Biotechnologie

 Geschäftsbereiche Bioressourcen

 Geschäftsbereiche Angewandte Oekologie

Institutsleitung und Standorte

Das Institut in Zahlen

Das Fraunhofer IME im Profil

Das Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME umfasst seit Beginn des Jahres 2021 den Bereich »Molekulare Biotechnologie« und den dazugehörigen Institutsteil »Bioressourcen« sowie den Bereich »Angewandte Oekologie«. Im Jahr 2021 war Frank Treppe kommissarischer, geschäftsführender Institutsleiter. Prof. Dr. Stefan Schillberg und Prof. Dr. Christoph Schäfers waren kommissarische Mitglieder der Institutsleitung.

Das Fraunhofer IME ist ein starker Partner für Vertragsforschung in den Bereichen Landwirtschaft, Bioökonomie, Chemie sowie Umwelt- und Verbraucherschutz. Unser Forschungs- und Dienstleistungsangebot richtet sich an die Industrie, an kleine und mittelständische Unternehmen und die öffentliche Hand. Im Jahr 2021 bestanden Kooperationen mit etwa 110 nationalen und internationalen Kunden aus der Industrie sowie mit mehreren internationalen Industrieverbänden, für die vertrauliche Projekte realisiert wurden. Die interdisziplinäre Organisation des Instituts ermöglicht dabei das bereichs- und schwerpunktübergreifende Bearbeiten komplexer Projekte, bei Bedarf auch in Kooperation mit externen Instituten und Partnern. Wir arbeiten eng verzahnt mit der Grundlagenforschung und sind international vernetzt. Unsere Labore mit modernster Ausstattung und komplexen Umweltsimulationsanlagen ermöglichen ein breites Forschungs- und Dienstleistungsangebot sowie Studien nach guter Laborpraxis (GLP).

Ende 2021 hatte das Institut 430 Mitarbeitende an den Standorten Aachen, Münster, Schmallenberg und Gießen. Es ist personell und inhaltlich eng verknüpft mit dem Institut für Biologie und Biotechnologie der Pflanzen der Universität Münster, dem Institut für Angewandte Entomologie der Justus-Liebig-Universität Gießen und dem 2016 in Gießen eingerichteten, weltweit ersten Institut für Insektenbiotechnologie. Wir stehen in einem regen wissenschaftlichen Austausch mit weiteren Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen. Ziel der Zusammenarbeit ist es, Trends und Entwicklungen frühzeitig zu erkennen und neue Forschungsansätze und Technologien zu entwickeln und umzusetzen.

Molekulare Biotechnologie

Als Basis der Bioökonomie trägt die Biotechnologie nachhaltig zur wissensbasierten Erzeugung und Nutzung biogener Rohstoffe in der Industrie bei. Wir etablieren bedarfsoptimierte Pflanzen, tierische Zellen und Mikroorganismen für verschiedene Anwendungen: Für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie nachwachsenden Rohstoffen, für technische und pharmazeutische Proteine sowie für den Umgang mit anthropogen erzeugten Schadstoffen, wie klimaschädlichen Gasen, die wir zur Herstellung wertvoller Stoffe erschließen. Durch Synergien unserer Aktivitäten in der Grünen und Weißen Biotechnologie haben wir uns in der Forschungslandschaft und am Markt erfolgreich etabliert. Wir bieten unseren Partnern in Behörden, Akademia und Industrie ein umfassendes Forschungs- und Dienstleistungsangebot.

Kennzeichnung im Jahresbericht



Bioressourcen

Wir erschließen Organismengruppen mit großer Biodiversität wie Insekten, Bakterien und Pilze als Bioressourcen, indem wir mit innovativen Technologien und etablierten Plattformen Naturstoffe isolieren und charakterisieren. Diese evaluieren wir im Hinblick auf Anwendungspotenziale in der Medizin, im Pflanzenschutz und in der industriellen Biotechnologie. So werden neue Moleküle identifiziert, um Antibiotika oder Substanzen für die Lebens- und Futtermittelindustrie wie Aromastoffe, Konservierungsmittel und Enzyme zu entwickeln, neuartige Anwendungen zu eröffnen und die Basis für den Aufbau von Wertschöpfungsketten zu legen. Zudem entwickeln wir Insektenmodelle für toxikologische Studien und wenden biotechnologische Methoden zur Kontrolle von Schad- und Vektorinsekten an, beispielsweise RNA-Interferenz im Pflanzenschutz oder die sterile Insektentechnologie.

Kennzeichnung im Jahresbericht



Angewandte Oekologie

Unser Ziel ist Risikobewertung synthetischer und biogener Stoffe für Umwelt und Verbraucher. Wir entwickeln experimentelle und modellbasierte Methoden zur Analyse und Vorhersage der Umweltkonzentration und Gefährlichkeit dieser Stoffe für die Umwelt sowie zur Analyse der Exposition von Verbrauchern durch Stoffe in der Umwelt. Dabei agieren wir häufig als wissenschaftlicher Vermittler zwischen kommerzieller Produktion und gesetzlicher Regulation und sind an der Neu- und Weiterentwicklung von internationalen Testrichtlinien beteiligt. Wir betreiben Auftragsforschung für Industrie und Öffentlichkeit und nutzen unsere analytische Kompetenz zur Erhöhung von Lebensmittelsicherheit und -qualität.

Kennzeichnung im Jahresbericht



Das Fraunhofer IME in der Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft 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. Als Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz wirkt sie mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft. Die Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.

Die Fraunhofer-Institute sind in neun thematisch orientierten Verbänden gebündelt. Deren Ziele sind die fachliche Abstimmung innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft, die Bündelung von Kernkompetenzen und ein gemeinsames Auftreten am Markt. Das Fraunhofer IME ist im Fraunhofer-Verbund Ressourcentechnologien und Bioökonomie organisiert, einer Kooperation von vier Fraunhofer-Instituten mit dem Ziel, einen entscheidenden Beitrag zur Erfüllung der nationalen, europäischen und internationalen Nachhaltigkeitsziele zu leisten.

www.fraunhofer.de/de/institute/institute-einrichtungen-deutschland/fraunhofer-verbuende/ressourcentechnologien-und-biooekonomie.html

Institute oder Abteilungen von Instituten mit unterschiedlichen Kompetenzen kooperieren in Fraunhofer-Allianzen, um ein Geschäftsfeld gemeinsam zu bearbeiten und zu vermarkten. Das Fraunhofer IME engagiert sich in zwei Allianzen:

Chemische Industrie: www.chemie.fraunhofer.de
Ernährungswirtschaft: www.fcm.fraunhofer.de

Leistungszentren organisieren den Schulterschluss der universitären und außeruniversitären Forschung mit der Wirtschaft. Universitäten, Hochschulen, Fraunhofer-Institute und weitere Akteure arbeiten an einem Standort themenspezifisch zusammen, um Innovationen schnell in die Anwendung zu bringen. Am Standort Aachen engagiert sich das Fraunhofer IME im Leistungszentrum »Vernetzte, adaptive Produktion«.

www.vernetzte-adaptive-produktion.de

Mit den Leitprojekten setzt die Fraunhofer-Gesellschaft strategische Schwerpunkte, um konkrete Lösungen zum Nutzen für den Standort Deutschland zu entwickeln. Ziel ist es, wissenschaftlich originäre Ideen schnell in marktfähige Produkte umzusetzen. Das Fraunhofer IME koordiniert das Leitprojekt »FutureProteins« und ist am Leitprojekt »ShaPID« beteiligt.

www.ime.fraunhofer.de/trendthemen/futureproteins
www.fraunhofer.de/de/forschung/fraunhofer-initiativen/fraunhofer-leitprojekte/sha-pid.html

Das Fraunhofer-Netzwerk Nachhaltigkeit ist eine Initiativegemeinschaft von 20 Fraunhofer-Instituten mit dem Ziel, die Integration von nachhaltigkeitsrelevanten Themen in der Fraunhofer-Gesellschaft zu fördern.

www.fraunhofer.de/de/ueber-fraunhofer/corporate-responsibility/governance/nachhaltigkeit/fraunhofer-netzwerk-nachhaltigkeit.html

Kuratorium

Das Kuratorium berät die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung und fördert die Kontakte des Instituts zu Organisationen und Industrie.

Mitglieder des Kuratoriums im Berichtsjahr waren:

Dr. Harald Seulberger (Vorsitzender)

BASF SE, Limburgerhof

Dr. Friedrich Dechet

Industrieverband Agrar (IVA), Frankfurt am Main

Prof. Dr. Adolf Eisenträger

Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Stefan Lütke Entrup

Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovation e.V., Bonn

Prof. Dr. Annika Jahnke (Gästin)

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig

Prof. Dr. Joybrato Mukherjee

Präsident der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen

Ministerialrätin Andrea Noske

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin

Dr. Dr. h.c. Christian Patermann

Ehemals Direktor Generaldirektion Forschung der europäischen Kommission, Bonn

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Ulrich Rüdiger (Gast)

Rektor, RWTH Aachen University, Aachen

Dr. Karin Schlesier

Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

Prof. Dr. Johannes Wessels

Rektor der WWU Münster, Münster

Dr. Hans-Ulrich Wiese (ständiger Gast)

Ehemals Fraunhofer-Vorstand

Geschäftsfelder und -bereiche

Geschäftsfelder Molekulare Biotechnologie



Kontakt
Prof. Dr. Stefan Schillberg
stefan.schillberg@ime.fraunhofer.de



Kontakt
Prof. Dr. Dirk Prüfer
dirk.pruefer@ime.fraunhofer.de



Bioproduktion und Industrielle Biotechnologie

Das Geschäftsfeld »Bioproduktion und Industrielle Biotechnologie« konzentriert sich auf die Identifizierung, nachhaltige Produktion, Verarbeitung und Optimierung hochwertiger natürlicher Verbindungen. Dazu gehören chemische Bausteine, biobasierte Kraftstoffe, Feinchemikalien, Biomaterialien sowie Proteine für industrielle Anwendungen und Konsumgüter. Die entsprechenden Stoffe erzeugen wir mit einer Vielfalt an Organismen, von Mikroorganismen über Pflanzenzellen bis zu tierischen Zellen. Dabei betrachten wir das vollständige Wertschöpfungsnetzwerk, Target-Identifizierung und Screening, Entwicklung und Optimierung von Produktionsstämmen sowie die Skalierung von Prozessen aus dem Labormaßstab bis in Pilotanlagen für die künftige industrielle Herstellung und Downstream-Prozessen einschließlich der Evaluierung der ökonomischen Machbarkeit. Wir bieten somit umfassendes Know-how in der Entwicklung innovativer Biotechnologie-Plattformen und optimierter Prozesse. Verschiedene Produkttypen werden abgebildet: Basischemikalien und Brennstoffe wie Isopropanol, Isopren und Hexanol, pflanzenbasierte Metabolite und Polymere wie Naturkautschuk, Inulin, Cellulose, industrielle Stärken, hochveredelte Feinchemikalien, Proteine und industrielle Enzyme.



Agroscience für Lebens- und Futtermittel

Das Geschäftsfeld »Agroscience für Lebens- und Futtermittel« deckt die landwirtschaftliche Wertschöpfungskette von der »Farm bis auf den Teller« ab und konzentriert sich auf die Entwicklung neuer oder Verbesserung bestehender Pflanzeigenschaften, Nahrungspflanzen und Schlüsseltechnologien. Unser Ziel ist es, Qualität und Ausbeute landwirtschaftlicher Erzeugnisse zu steigern, ebenso wie die Fähigkeit von Pflanzen, in verschiedenen Umgebungen zu gedeihen und unterschiedlichen Schädlingen und Krankheiten zu widerstehen. Diese Eigenschaften entwickeln wir je nach Projekt mit oder auch ohne genetische Modifikation. Wir nutzen dabei Schlüsseltechnologien wie »Genome Editing« oder »TILLING«. Die in diesem Geschäftsfeld aktiven Abteilungen und Projektgruppen konzentrieren sich auf Präzisionszüchtungsverfahren und gentechnisch veränderte Pflanzen. Auf Basis dieses umfassenden Know-hows kann das Fraunhofer IME als bevorzugter Partner für akademische Labore, KMUs und große Agrobusiness-Unternehmen agieren.



Proteinproduktion

Das Fraunhofer IME bietet umfassende Expertise im Design, der Produktion, der Reinigung und Charakterisierung rekombinanter Proteine, vom Identifizieren eines geeigneten Kandidaten über die Prozessentwicklung bis hin zur Produktion im Kilogramm-Maßstab. Je nach Zielprotein und Produktionsmaßstab werden unterschiedliche Produktionssysteme genutzt: Mikroorganismen, pflanzliche und tierische Zellen oder Pflanzen, aber auch zellfreie Expressionssysteme. In jüngster Zeit ist der Bedarf an rekombinanten Proteinen in den Kilogramm-Maßstab gestiegen. Dies gilt für den Medizin-, Agro- und Kosmetikbereich sowie für technische Anwendungen. Zudem strebt das Institut an, neue Kandidaten für die eigene Produktpipeline, zur direkten Vermarktung oder Weiterentwicklung mit Industriepartnern zu etablieren. Im Fokus stehen technische Enzyme, Nahrungsmittelproteine sowie therapeutisch und diagnostisch nutzbare Proteine.

Geschäftsfelder und -bereiche

Geschäftsbereiche Bioressourcen



Bioressourcen für die Bioökonomie

Wir erschließen Organismengruppen mit großer Biodiversität wie Insekten, Bakterien und Pilze als Bioressourcen, indem wir mit innovativen Technologien und etablierten Plattformen Naturstoffe isolieren und charakterisieren. Diese evaluieren wir im Hinblick auf Anwendungspotenziale in der Medizin, im Pflanzenschutz und in der industriellen Biotechnologie. So werden neue Moleküle identifiziert, um Antibiotika oder Substanzen für die Lebens- und Futtermittelindustrie wie Aromastoffe, Konservierungsmittel und Enzyme zu entwickeln, neuartige Anwendungen zu eröffnen und die Basis für den Aufbau von Wertschöpfungsketten zu legen. Auch mit der von Sanofi übernommenen, weltweit größten industriellen Stammsammlung von Mikroorganismen stehen wir Projekten mit Industriepartnern offen.



Insektenbiotechnologie

Mit der Entwicklung und dem Einsatz biotechnologischer Methoden machen wir Insekten, von ihnen stammende Moleküle, Zellen, Organe oder assoziierte Mikroorganismen für Anwendungen nutzbar. Es resultieren Produkte oder Dienstleistungen für die Medizin, die industrielle Biotechnologie sowie die Lebens- und Futtermittelindustrie. Über die Verwendung von Molekülen hinaus, nutzen wir Insektenzellen als Expressionssysteme für Proteine oder Insektenantennen als Biosensoren für Drogen und Sprengstoffe. Zudem entwickeln wir Insektenmodelle für toxikologische Studien und wenden biotechnologische Methoden zur Kontrolle von Schad- und Vektorinsekten an, beispielsweise RNA-Interferenz im Pflanzenschutz oder die sterile Insektentechnologie. Wir nutzen Insekten auch für die Umwandlung von organischen Abfällen in Proteine und Fette für Futter- und Lebensmittel.



Kontakt

Prof. Dr. Andreas Vilcinskas
andreas.vilcinskas@ime.fraunhofer.de

Geschäftsfelder und -bereiche

Geschäftsbereiche Angewandte Oekologie



Umweltsicherheit von Stoffen

Wir nutzen unsere Kompetenzen in der Umweltanalytik, der experimentellen Umweltchemie und Ökotoxikologie sowie der Modellierung von Verbleib und Wirkung von Stoffen, um deren Risiken in der Umwelt zu analysieren. In Abstimmung mit den Regulationsbehörden identifizieren wir Fragestellungen und entwickeln Testrichtlinien, um diese zu adressieren. Wir sind Partner der Industrie für die Durchführung und Bewertung komplexer experimenteller und modellbasierter Studien mit wissenschaftlichem Anspruch. Die Analyse und Klassifizierung molekularer Wirkmechanismen nutzen wir als Screening Tools für Umweltwirkungen von Produktkandidaten. Wir beherbergen die Umweltprobenbank des Bundes und führen Umweltmonitoring-Projekte durch, um mögliche neue Umweltbelastungen identifizieren und prospektive Abschätzungen überprüfen zu können.



Lebensmittelsicherheit und -qualität

Die Lebensmittelqualität hängt von der Erzeugung, Primärprozessierung und Weiterverarbeitung der Agrarrohstoffe ab. Wir beschäftigen uns mit den Qualitätseigenschaften von Rohstoffen und Lebensmitteln und deren Belastungen durch Schadstoffe. Dabei adaptieren wir zum Beispiel bestehende Analyseverfahren zum Metabolismus von Pflanzenschutzmitteln in Nutzpflanzen und -tieren auf Tierarzneimittel und Futterzusatzstoffe. Wir entwickeln auch zellmetabolische Alternativen zu Tierversuchen. Ab- und Umbauprodukte verfolgen wir anhand radioaktiver Markierungen, auch während der Lebensmittelverarbeitung. Innerhalb der Fraunhofer-Allianz Ernährungswirtschaft werden Fragestellungen entlang der gesamten Lebensmittelkette mit Schwerpunkten wie Lebensmittelanalytik/-verarbeitung, Mikrosystemtechnik und Logistik in den Fokus gerückt. Die Forschung wird rund um FuE-Aktivitäten zu vor- und nachgelagerten Bereichen wie Landwirtschaft oder Verwertungsnetzwerke erweitert.



Nachhaltige landwirtschaftliche Stoffproduktion

Standortübergreifend erarbeiten wir Konzeptbeiträge für eine nachhaltige landwirtschaftliche Stoffproduktion für eine diverse Bioökonomie. Dazu nutzen wir u. a. die Fraunhofer-Technologien des Leitprojekts Cognitive Agriculture, um mit neuen Nutzpflanzen, verbessertem Saatgut und an die neuen Technologien angepassten Expositionsmodellen sozioökonomische und ökologische Anforderungen zu erfüllen. Dabei berücksichtigen wir differenzierte Eigenschaften von Böden und Kleinklima, die Nutzung und Optimierung von Pflanzen für die Produktion von Wert- und Wirkstoffen (Aachen und Münster), Abfälle und Insekten zur Proteingewinnung (Gießen) sowie aus der digitalen Landwirtschaft entstehende Regulationsbedarfe bei der Anwendung von Pflanzenschutz-, Tierarznei- und Düngemitteln sowie weiteren Agrarhilfsstoffen (Schmallenberg).



Kontakt

Prof. Dr. Christoph Schäfers
christoph.schaefers@ime.fraunhofer.de

Institutsleitung und Standorte

Institutsleiter (geschäftsführend, kommissarsich)

Frank Treppe
Telefon +49 241 6085-35144
frank.treppe@ime.fraunhofer.de



Mitglieder der Institutsleitung (kommissarsich)

Prof. Dr. Christoph Schäfers
Prof. Dr. Stefan Schillberg

Verwaltungsleitung und Innere Dienste

Dietmar Douven
Telefon +49 241 6085-11030
dietmar.douven@ime.fraunhofer.de



Bereich Molekulare Biotechnologie

Leitung: Prof. Dr. Stefan Schillberg



Aachen

Molekulare Biotechnologie

Prof. Dr. Stefan Schillberg
Telefon +49 241 6085-11050
stefan.schillberg@ime.fraunhofer.de



Münster

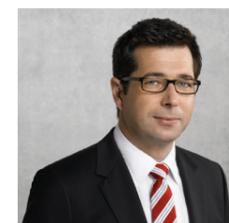
Funktionelle und Angewandte Genomik, Pflanzliche Biopolymere

Prof. Dr. Dirk Prüfer
Telefon +49 251 8322-302
dirk.pruefer@ime.fraunhofer.de



Bioprozessentwicklung

PD Dr. Dr.-Ing. Johannes Buyel
Telefon +49 241 6085-13162
johannes.buyel@ime.fraunhofer.de



Industrielle Biotechnologie

Dr. Stefan Jennewein
Telefon +49 241 6085-12120
stefan.jennewein@ime.fraunhofer.de



Pflanzenbiotechnologie

Dr. Stefan Rasche
Telefon +49 241 6085-12321
stefan.rasche@ime.fraunhofer.de



Pflanzenbiotechnologie

Holger Spiegel
Telefon +49 241 6085-12461
holger.spiegel@ime.fraunhofer.de

Institutsteil Bioressourcen

Leitung: Prof. Dr. Andreas Vilcinskas



Gießen

Bioressourcen

Prof. Dr. Andreas Vilcinskas
Telefon +49 641 97219-100
andreas.vilcinskas@ime.fraunhofer.de



Naturstoffforschung

Prof. Dr. Till Schäberle
Telefon +49 641 97219-140
till.schaeberle@ime.fraunhofer.de



Schad- und Vektor- Insektenkontrolle

Dr. Kwang-Zin Lee
Telefon +49 641 97219-150
kwang-zin.lee@ime.fraunhofer.de



Food- & Feed Improvement Agents

Prof. Dr. Holger Zorn
Telefon +49 641 97219-130
holger.zorn@ime.fraunhofer.de



Biodiversitätsforschung

Dr. André Billion
Telefon: +49 641 97219-292
andre.billion@ime.fraunhofer.de

Bereich Angewandte Oekologie

Leitung: Prof. Dr. Christoph Schäfers



Schmallenberg

Angewandte Oekologie

Prof. Dr. Christoph Schäfers
Telefon +49 2972 302-270
christoph.schaefers@ime.fraunhofer.de



Ökologische Chemie

Dr. Dieter Hennecke
Telefon + 49 2972 302-209
dieter.hennecke@ime.fraunhofer.de



Bioakkumulation und Tiermetabolismus

Prof. Dr. Christian Schlechtriem
Telefon +49 2972 302-186
christian.slechtriem@ime.fraunhofer.de



Ökotoxikologie

Dr. Elke Eilebrecht
Telefon +49 2972 302-144
elke.eilebrecht@ime.fraunhofer.de



Umweltprobenbank und Elementanalytik

Dr. Heinz Rüdel
Telefon +49 2972 302-301
heinz.ruedel@ime.fraunhofer.de



Ökotoxikologie

Dr. Matthias Teigeler
Telefon +49 2972 302-163
matthias.teigeler@ime.fraunhofer.de



Umweltmikrobiologie

Prof. Dr. Bodo Philipp
Telefon +49 251 83-39827
bodo.philipp@ime.fraunhofer.de



Umwelt- und Lebensmittel- analytik

Prof. Dr. Mark Bücking
Telefon +49 2972 302-304
mark.buecking@ime.fraunhofer.de



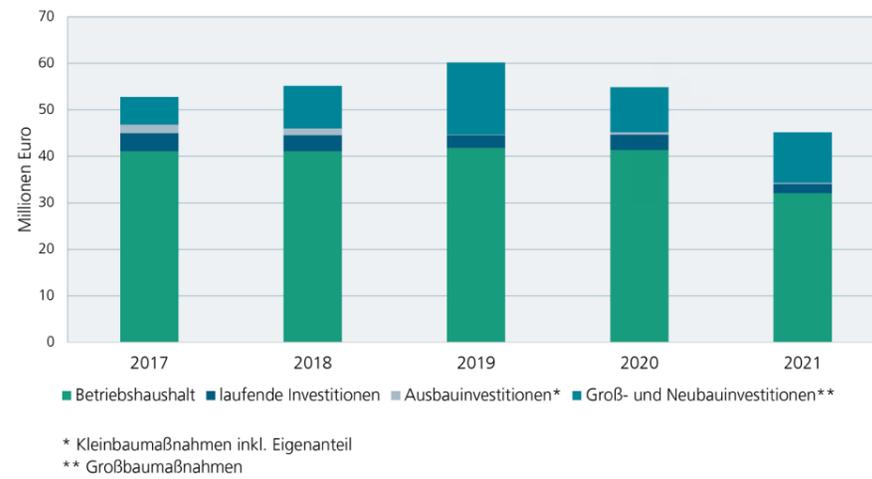
Qualitätssicherung

Dr. Cornelia Bernhardt
Telefon + 49 972 302-137
cornelia.bernhardt@ime.fraunhofer.de

Das Institut in Zahlen

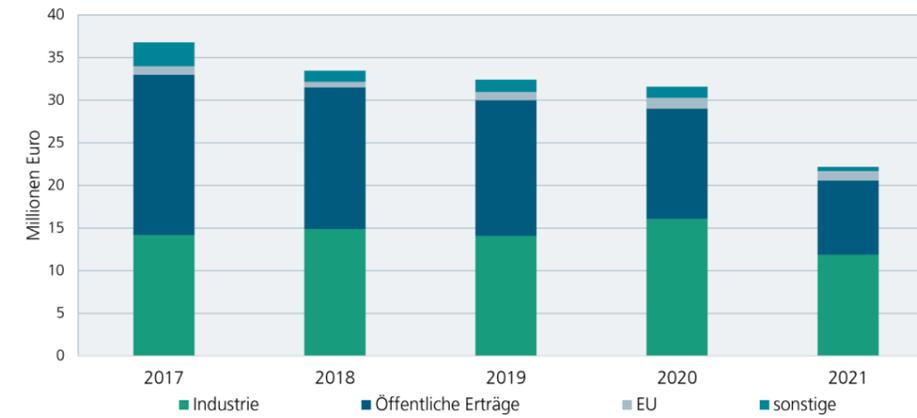
Das Fraunhofer IME umfasst seit dem 01.01.2021 die vier Standorte Aachen, Münster, Gießen und Schmallenberg. Zum Jahreswechsel 2020/21 wurde aus den ehemaligen Fraunhofer IME Standorten Frankfurt a.M., Hamburg und Göttingen das Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP gegründet. Dementsprechend sind die Haushalts- und Finanzzahlen ab 2021 des Fraunhofer IME geringer als in den Vorjahren.

Gesamthaushalt des Fraunhofer IME



Der Betriebshaushalt des Fraunhofer IME betrug im Jahr 2021 32,1 Millionen Euro. Zusätzlich wurden rund 2,0 Millionen Euro in Geräte investiert. Der Aufwand im Bereich der Bauaktivitäten – hauptsächlich durch die Errichtung der Institutsneubauten in Gießen und Schmallenberg – belief sich auf 11,0 Millionen Euro.

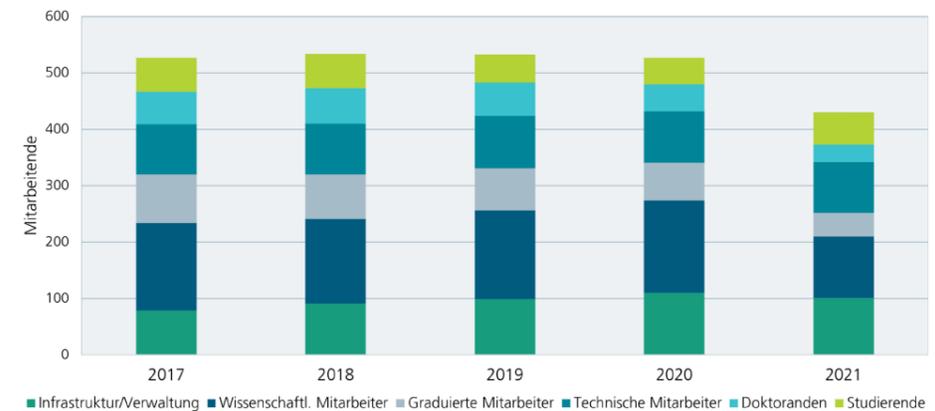
Externe Erträge des Fraunhofer IME



Die Finanzierung des Haushalts erfolgte zu 69,3 Prozent durch externe Erträge. Die Wirtschaftserträge liegen mit 11,9 Millionen Euro weiterhin konstant auf hohem Niveau. Das entspricht einem Wirtschaftsertragsanteil (Rho Wi) von 37,1 Prozent.

Das Fraunhofer IME erzielte im Jahr 2021 somit erneut sehr gute Werte in den entscheidenden Kennzahlen der Fraunhofer-Gesellschaft.

Mitarbeitende des Fraunhofer IME



Ende 2021 waren an den Fraunhofer IME Standorten Aachen, Schmallenberg, Münster und Gießen 430 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter angestellt. Der Frauenanteil am Fraunhofer IME betrug 53,5 Prozent.

Highlight 2021

Nominiert für den Deutschen Zukunftspreis –
Team Löwenzahn im Kreis der Besten



Das Team Löwenzahn Dirk Prüfer, Christian Schulze Gronover und Carla Recker mit Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier (v.l.) am 17. November 2021.

Seit 25 Jahren zeichnet der Bundespräsident mit dem Deutschen Zukunftspreis Einzelpersonen oder Teams für hervorragende technische, ingenieur- oder naturwissenschaftliche Innovationen aus. Am 15. September wurde das Team Dr. Carla Recker (Continental), Dr. Christian Schulze Gronover (Fraunhofer IME) und Prof. Dr. Dirk Prüfer (WWU Münster, Fraunhofer IME) mit dem Projekt »Nachhaltige Reifen durch Löwenzahn – Innovationen aus Biologie, Technik und Landwirtschaft« für den Deutschen Zukunftspreis 2021 nominiert. Das Team entwickelt den Russische Löwenzahn als Nutzpflanze der Zukunft entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Mit der Bereitstellung einer regionalen Alternative der weiteren Abholzung der tropischen Wälder in den Anbauländern entgegenzuwirken, ist ein vorrangiges Ziel.

Naturkautschuk – ein gefragter Rohstoff

Ohne Naturkautschuk rollt kein Reifen. Je größer die Belastung der Reifen, umso höher der Anteil an Naturkautschuk. In PKW Reifen stecken bis zu 20 Prozent, in LKW Reifen bis zu 30 Prozent und in Flugzeugreifen sogar bis zu 100 Prozent Naturkautschuk. Obwohl Synthetikautschuk seit Beginn des 20. Jahrhunderts produziert und stetig optimiert wird, können sich seine mechanischen Eigenschaften nicht mit den einzigartigen Charakteristika des natürlichen Gegenstücks messen – wir sind weiterhin auf Naturkautschuk angewiesen. Nicht nur in Reifen, sondern in ca. 50 000 weiteren Produkten wie zum Beispiel Dichtungen, Matratzen, Schuhsohlen oder Kondomen kann dieser eingesetzt werden.

Bislang wird fast ausschließlich eine einzige Pflanze für die Produktion von Naturkautschuk angebaut – der Kautschukbaum *Hevea brasiliensis*. Dieser wächst in tropischen Regionen, dem sogenannten Kautschukgürtel. Die Hauptanbauländer liegen in Südostasien: Indonesien, Malaysia und Thailand. Da Europa vollständig von Importen abhängig ist, nahm die Europäische Kommission 2017 Naturkautschuk als einzige biogene Substanz in die Liste der für die EU kritischer Rohstoffe auf.

Hauptzweck dieser 30 Materialien umfassenden Liste ist es, Rohstoffe mit hohem Versorgungsrisiko und großer wirtschaftlicher Bedeutung zu ermitteln. Zugleich soll sie auch einen Anreiz für die Erzeugung kritischer Rohstoffe in Europa schaffen.

Lag die weltweite Produktion von Naturkautschuk in den 1960er-Jahre noch bei zwei Millionen Tonnen pro Jahr, überstieg sie Anfang der 1990er-Jahre bereits sechs Millionen Tonnen und erreichte im Jahr 2020 knapp 14 Millionen Tonnen. Im Jahr 2000 wurde weltweit insgesamt auf rund 9,6 Millionen Hektar für Naturkautschuk angebaut, 2020 sind es bereits 14,8 Millionen Hektar. Um den Platz für die Hevea-Plantagen zu schaffen, wurden in den Anbauländern wie Thailand und Indonesien große Gebiete wertvollen tropischen Waldes gerodet. Der weltweite Bedarf an Naturkautschuk steigt weiter, bis 2030 schätzt man sogar eine Unterversorgung von etwa 400 000 Tonnen am Markt zu haben. Den Tropenwäldern drohen zusätzliche Rodungen für den Anbau des Kautschukbaums mit weiteren fatalen Auswirkungen auf Biodiversität und Klimawandel. Diesen Entwicklungen wollen die Forscherinnen und Forscher entgegenwirken.

Blüte und abgetrennte Wurzel von *Taraxacum koksaghyz*, aus der Wurzel tritt der weißliche Milchsaft aus.



Der Schutz unserer Tropenwälder hat im Kampf gegen den Klimawandel oberste Priorität. Deswegen bedarf es auch eines Umdenkens in der Naturkautschuk verarbeitenden Industrie. Unser Ansatz, Naturkautschuk aus Löwenzahn nachhaltig zu gewinnen, kann vielen sozio-ökonomischen und ökologischen Herausforderungen in diesen Regionen entgegenwirken.«

Dirk Prüfer

Damit dies gelingen kann, muss eine nachhaltige, alternative Rohstoffquelle her. Allerdings produzieren nur sehr wenige Pflanzen den gefragten Rohstoff in äquivalenter Qualität zum Kautschukbaum.

Löwenzahn – die Kautschukquelle der Zukunft

Am Fraunhofer IME in Münster setzen die Forscherinnen und Forscher seit vielen Jahren auf den Russischen Löwenzahn (*Taraxacum koksaghyz*) als Alternative. Der Russische Löwenzahn stammt ursprünglich aus Kasachstan, gedeiht auf anspruchslosen Böden und eignet sich besonders aufgrund der produzierten Qualität für die Gewinnung von Naturkautschuk. Diesen produziert und speichert er hauptsächlich in der Wurzel, wird diese verletzt, quillt der weißliche Milchsaft hervor.

Am Anfang wurde das Team häufig belächelt. Viele hielten den Anbau von Löwenzahn zur Kautschukgewinnung für eine verrückte Idee. Und tatsächlich, als das Team mit den Arbeiten begann, standen sie vor großen Herausforderungen. Noch war der Russische Löwenzahn eine Wildpflanze mit einer zwar erhöhten, aber für die industrielle Nutzung noch zu geringen Konzentration an Naturkautschuk. Zunächst wollten sie die Naturkautschuk-Biosynthese im Russischen Löwenzahn verstehen: Wie wird aus den einzelnen kleinen Bausteinen - Isopren

Proteine und Gene sind daran beteiligt und welche Schlüsselregulatoren beeinflussen maßgeblich den Stoffwechselweg?

Pflanzenwachstum und Ertrag der Wildpflanzen waren alles andere als stabil. Grundvoraussetzung für einen wirtschaftlichen und nachhaltigen Anbau von Biorohstoffen sind allerdings ertragreiche und widerstandsfähige Pflanzensorten. Hier leisteten die Molekularbiologinnen und Molekularbiologen des Fraunhofer IME und der Universität Münster im Team wegweisende und international anerkannte Pionierarbeit, die sich durch eine Vielzahl an Publikationen in peer-review Journalen belegen lässt.

Mit dem Wissen um die Biosynthese und deren Schlüsselregulatoren gelang es, gemeinsam mit dem Pflanzenzuchtexperten ESKUSA kräftige und robuste Pflanzen zu erhalten. Durch gezielte Züchtung verdoppelten die Forschenden den Kautschukgehalt in den Wurzeln innerhalb kurzer Zeit. Die Wissenschaftler*innen verzichteten auf gentechnische Eingriffe, sie analysierten stattdessen die Löwenzahn-DNA und definierten DNA-Marker, die das Vorhandensein einer gewünschten Eigenschaft anzeigen. So können sie bereits bei Keimlingen feststellen, ob diese solche Eigenschaften besitzen, die sich positiv auf die Kautschukproduktion auswirken. Was den Ertrag angeht, kann der optimierte Russische Löwenzahn mit einem Kautschukanteil in den Wurzeln von rund 10-15 Prozent nun fast mit dem Kautschukbaum konkurrieren. Züchtung ist ein Prozess, der nie abgeschlossen ist, auch moderne

Hochleistungssorten unserer Kulturpflanzen werden stetig weiterentwickelt. Züchtungsziele sind daher auch langfristig ausgerichtet: Zum Beispiel auf globale Herausforderungen, wie den Klimawandel. Auch die Züchtung des Russischen Löwenzahns schreitet kontinuierlich voran, im Fokus stehen neben der weiteren Ertragssteigerung wichtige agronomische Eigenschaften wie beispielsweise Resistenzen gegenüber Krankheiten und Fraßfeinden, effiziente Nährstoffaufnahme und damit schnelles Wachstum der Pflanze im Jugendstadium.

Die Gewinnung von Naturkautschuk aus der Pflanze war eine weitere Herausforderung. Zu diesem Zweck entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein inzwischen patentiertes, umweltfreundliches Verfahren, bei dem die geernteten Wurzeln zerkleinert werden, da die Blätter nur sehr wenig Kautschuk enthalten. Zur Extraktion des Naturkautschuks werden die Wurzeln zunächst vorgekocht.



In der Wurzel wird der begehrte Rohstoff produziert und gespeichert.

Anschließend kommen sie in eine speziell entwickelte Kugelmühle. Unter der Zugabe von Wasser zerstoßen die Kugeln die Wurzeln und die festen Kautschukpartikel werden anschließend mit Wasser ausgewaschen und weiterverarbeitet.

Im Zuge der Etablierung einer gänzlich neuen Wertschöpfungskette für den Russischen Löwenzahn von der Züchtung bis zum Produkt bedurfte es auch einer Vielzahl an technischen Innovation für die gute landwirtschaftliche Praxis des Anbaus. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickelten gemeinsam mit dem erweiterten Netzwerk beispielsweise eine spezielle Aussaat- und Erntetechnik sowie eine erste digitalisierte Unkrautkontrolle, die schnell und nachhaltig, die unerwünschten Kräuter in und zwischen den Löwenzahnreihen entfernt. Jedes Jahr fließen die Erfahrungen und Beobachtungen aus dem Feldanbau in die Weiterentwicklung der guten landwirtschaftlichen Praxis ein.

Das marktfähige Produkt - der Reifen

Der aus Löwenzahn gewonnene Kautschuk hat eine äquivalente Qualität wie jener aus dem Kautschukbaum. Das konnte durch Continental bereits früh in der Zusammenarbeit in umfangreichen Materialprüfungen belegt werden: chemisch und physikalisch gibt es keine nennenswerten Unterschiede zwischen Naturkautschuk aus Hevea und Löwenzahn. Spannend wurde es dann 2014 als die ersten Testungen zu den Fahreigenschaften des Reifens mit Löwenzahnkautschuk

anstanden. Continental entschied sich für die Erprobung mit PKW-Winterreifen, die – ähnlich wie Nutzfahrzeugreifen – einen besonders hohen Naturkautschukanteil haben und extremen Belastungen ausgesetzt sind. Die umfangreichen Fahrttests unter verschiedenen Bedingungen zeigten: Die Reifen mit Laufstreifen aus reinem Löwenzahnkautschuk waren äquivalent zu denen aus Hevea-Kautschuk. 2016 konnte auf der IAA ein erster LKW-Reifen mit Löwenzahn-Technologie präsentiert werden. Auch die Eignungsprüfungen mit diesen LKW-Reifen zeigten, dass die Löwenzahn-Alternative ideal tauglich für den Nutzfahrzeugsektor ist und die strengsten Anforderungen im anspruchsvollen Güterverkehr erfüllt.

Ende 2018 eröffnete Continental für die Weiterentwicklung der Innovation das Forschungs- und Versuchslabors »Taraxagum Lab Anklam«, ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zur Industrialisierung des Löwenzahn-Kautschuks. Mit dem Urban Taraxagum präsentierte Continental 2019 den ersten in Serie gefertigten Fahrradreifen aus Löwenzahnkautschuk. Der Löwenzahn für diese Reifen wird in Mecklenburg-Vorpommern angebaut. Gefertigt werden die Reifen im hessischen Korbach. Durch die wesentlich kürzeren Entfernungen zwischen Anbaugelände und Reifenwerk wird der Aufwand für Logistik und Transport drastisch reduziert und Ressourcen können nachhaltiger verwendet werden.

Entwickelt sich die innovative Etablierung des Russischen Löwenzahns als Industriepflanze weiterhin so erfolgreich, werden zukünftig auch Auto- und LKW-Reifen aus Löwenzahn-Kautschuk vom Band rollen. Continental präsentierte dazu das Conti GreenConcept Reifenkonzept auf der IAA Mobility 2021.

Auch wenn Carla Recker, Christian Schulze Gronover und Dirk Prüfer den Deutschen Zukunftspreis für das Taraxagum-Projekt nicht erhalten haben, sind sie sehr stolz darauf, für diesen Preis nominiert und in den Kreis der Besten aufgenommen worden zu sein, dies erleben nur wenige Forscherinnen und Forscher. Der Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier betont im Geleitwort: »Auch die Nominierten des Deutschen Zukunftspreises 2021 machen mit ihren Ideen unsere Welt zu einem besseren Ort. Sie machen uns Lust auf Zukunft! Dafür danke ich Ihnen«. Die Glückwünsche am 18. November gingen an den Gewinner: Das Team von BioNTech für die Entwicklung des COVID-19 mRNA-Impfstoffs.



Der Urban Taraxagum von Continental ist der erste in Serie gefertigte Fahrradreifen aus Löwenzahnkautschuk.



Ohne mutige, motivierte und innovativ denkende Menschen in allen Bereichen des Projekts wären wir nie so weit gekommen. Ich sehe uns als sehr gutes Beispiel, wie wir zukünftig in Deutschland verstärkt Innovationen mit und aus Pflanzen für ein nachhaltiges, biobasiertes Wirtschaften und Leben generieren können«.

Christian Schulze Gronover



Einblicke in unsere Forschung

LEDitSHAKE: Ein Beleuchtungssystem für Pflanzenzellkulturen

Herstellung geschmacksoptimierter Lebensmittel auf Basis von Insekten-Protein

Zielgerichtete Biosynthese von pharmazeutisch relevanten Terpenoiden

Molekulare Marker neurotoxischer Wirkmechanismen in aquatischen Modellorganismen

Neu auftretende Viren gefährden die kommerzielle Bienenzucht und Wildinsekten

Insect Farming 4.0 – Wettbewerbsfähiges Insektenprotein als nachhaltiges Futtermittel

Biotechnologische Pflanzenschutzmittel durch RNA-Wirkstoffe

Untersuchung der Biomagnifikation von Chemikalien im Nahrungsnetz eines Sees

Reduktion der Gewässerbelastung durch Pflanzenschutzmittel nach Starkregen

LEDitSHAKE: Ein Beleuchtungssystem für Pflanzenzellkulturen

Von Ann-Katrin Beuel

Pflanzen produzieren wertvolle Inhaltsstoffe, die Menschen bereits seit Jahrtausenden nutzen. Allerdings stellt die Gewinnung reiner Inhaltsstoffe eine große Herausforderung dar. Der Bereich Molekulare Biotechnologie des Fraunhofer IME am Standort Aachen setzt dazu auf pflanzliche Zellkulturen, die unter standardisierten Bedingungen angezogen werden. Mit einem neu entwickelten Beleuchtungssystem können die optimalen Bedingungen zur nachhaltigen Herstellung der Inhaltsstoffe gefunden werden – ganz ohne Gentechnik.

Ökologische Nachhaltigkeit und eine gesunde Ernährung bei wachsender Weltbevölkerung gehören zu den größten Herausforderungen, denen wir uns als Gesellschaft stellen müssen. Hierbei spielt auch der Konflikt zwischen dem Anbau von Nahrungsmittelpflanzen und Nutzpflanzen zur Gewinnung von technischen Roh- oder Wirkstoffen eine bedeutende Rolle, sodass auch die Versorgung mit diesen Stoffen kurz- bis mittelfristig gefährdet ist. Die UN hat daher 17 konkrete Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (SDGs) formuliert, wie beispielsweise Ziel 12: nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen. Im Rahmen der Pharmaentwicklung eingesetzte wertvolle pflanzliche Inhaltsstoffe z. B. zur Behandlung verschiedener Krankheiten wie Diabetes, können häufig gar nicht oder zu wirtschaftlich nicht-vertretbaren Kosten chemisch synthetisiert werden. Die Herstellung dieser Inhaltsstoffe mit Hilfe traditionell angebaute Pflanzen wird durch verschiedene Umweltfaktoren limitiert und benötigt viel Anbaufläche. Alternative mikrobielle Produktionssysteme basieren auf Gentechnik und »kämpfen« mit Akzeptanz und Zulassung.

Die Zukunft der Wirkstoff- und Lebensmittelversorgung durch Pflanzenzellkulturen sicherstellen

Pflanzenzellkulturen (PZK) können einen maßgeblichen Beitrag leisten, um die Versorgungslücke mit Wirkstoffen für die Pharma-, Kosmetik- und Pflanzenschutzindustrie, aber auch mit Lebensmitteln, auf nachhaltige Weise zu sichern. PZK stellen bereits jetzt eine wichtige Alternative zu konventionell angebauten Pflanzen bei der Herstellung von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen zum Einsatz primär in Kosmetika und Personal Care Produkten, aber auch als Lebensmittelzusatzstoffe und Wirkstoffe dar. Im Gegensatz zu ganzen Pflanzen können PZK unabhängig von saisonalen Begebenheiten, verfügbarer Anbaufläche sowie unter vollständigem Verzicht von Pestiziden in Bioreaktoren kultiviert werden, was eine hohe Qualität, Versorgungssicherheit sowie lokale Produktion der benötigten Stoffe ermöglicht.

Licht statt Gentechnik

Derzeit werden Verbesserungen bei der Kultivierung von PZK hauptsächlich über die Art der Prozessführung oder Medienzusammensetzung adressiert. Mittels Licht spezifischer Wellenlängen werden jedoch Rezeptoren in PZK angeregt, wodurch Einfluss auf das Wachstumsverhalten sowie den Stoffwechsel der Zellen genommen wird. So kann die Produktion von Biomasse wie auch gewünschter Inhaltsstoffe positiv beeinflusst werden.

Dabei handelt es sich um eine nicht invasive, nicht chemische und nicht gentechnische Einflussnahme, welche insbesondere bei Kosmetik und Lebensmitteln wichtige Faktoren für die Akzeptanz der Produkte bei den Endverbrauchern darstellen.

Daher wurde am Fraunhofer IME in Aachen ein Beleuchtungssystem für PZK entwickelt, mit dem der Einfluss von Licht mit spezifischen Wellenlängen auf die Kulturen untersucht wird,



Das LEDitSHAKE-System: 12 individuell beleuchtete Erlenmeyerkolben im Schüttelinkubator.

um optimale Lichtrezepte für die Herstellung von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen zu finden. LEDitSHAKE erlaubt den Einsatz von 12 Lichtbedingungen parallel in einem Schüttelinkubator, während in kommerziell erhältlichen Schüttelinkubatoren nur weißes Licht möglich ist. Mit LEDitSHAKE können die Intensität, die Photoperiode und das Spektrum des Lichts (rot, grün, blau, weiß, fernrot, UV) gesteuert und der jeweilige Einfluss untersucht werden.

Das zum Patent angemeldete Beleuchtungssystem erlaubt es somit, den Faktor Licht bei der Kultivierung von PZK unter Nutzung von Methoden zur statistischen Versuchsplanung (DoE, design of experiments) zu untersuchen. Mithilfe von DoE wird das Zusammenspiel von Licht- und Medienrezepturen mit allgemeinen Prozessparametern wie Temperatur, Schüttelgeschwindigkeit und Sauerstoffversorgung untersucht – mit diesem Ansatz können dann sowohl synergistische wie auch antagonistische Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Einflussgrößen aufgedeckt und der Prozess optimiert werden.

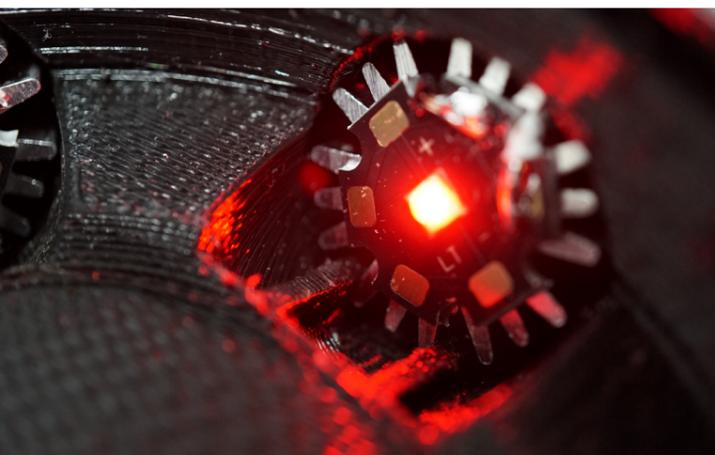
Das am IME etablierte Verfahren (Kombination von DoE und LEDitSHAKE) ist einzigartig und stellt den aktuellen Stand der Technik dar. Hierdurch kann eine systematische Identifizierung und Optimierung von Lichtbedingungen für PZK erfolgen. Das LEDitSHAKE-System ist modular aufgebaut und kann in jedem Standardschüttelinkubator für die Kultivierung pflanzlicher Zellkulturen installiert werden und ist somit universell einsetzbar.

Lichtoptimierte Pflanzenzellkulturen

Durch die Nutzung von LEDitSHAKE haben wir nicht nur den Anthocyanengehalt in Weintrauben-Zellkulturen positiv beeinflusst, sondern auch gezeigt, dass die Herstellung eines

Wirkstoffs gegen Diabetes in Pflanzenzellkulturen 10mal schneller möglich ist als im konventionellen Feldanbau. Die ganzjährige Verfügbarkeit des Wirkstoffs sowie die Kompatibilität mit den SDGs - da keine Konkurrenz zur Anbaufläche von Nahrungsmittelpflanzen besteht - sind weitere Vorteile. Zudem kann die Produktion lokal und unabhängig von saisonalen Einflüssen erfolgen. Dies führt zu kurzen Lieferketten und zu einer Versorgungssicherheit bei den Unternehmen, die die Wirkstoffe weiterverwenden.

Um das Potential der Nutzung von Pflanzenzellkulturen zur nachhaltigen Herstellung von Wirkstoffen für verschiedene Anwendungsbereiche (Kosmetik-, Pharma- und Pflanzenschutz-Industrie) und mittelfristig auch von Lebensmitteln weiter auszunutzen, soll LEDitSHAKE 2022 durch die Teilnahme am Fraunhofer AHEAD Programm in Richtung Ausgründung oder Lizenzierung weiterentwickelt werden. Im Rahmen des Programms durchgeführte intensive Marktrecherchen und systematische Befragungen potentieller Kunden sollen dazu dienen das Beleuchtungssystem ideal am Markt zu platzieren. Aber auch in regulären Forschungsprojekten kommt die LEDitSHAKE-Technologie weiter zum Einsatz, zum Beispiel bei der Untersuchung des Einflusses von Licht auf verschiedene Pflanzenzellen, aber auch Cyanobakterien.



Eine rote LED im LEDitSHAKE-System.

Kontakt

Ann-Katrin Beuel

ann.katrin.beuel@ime.fraunhofer.de



Herstellung geschmacksoptimierter Lebensmittel auf Basis von Insekten-Protein

Von Dr. Daniel Bakonyi

Die Weltbevölkerung wächst stetig und mit ihr der Bedarf nach Nahrungsmitteln. Gleichzeitig bedroht der Klimawandel in Verbindung mit einer stark begrenzten Verfügbarkeit an landwirtschaftlicher Fläche die stabile Versorgung der Menschheit mit Lebensmitteln. Die Lebensmittelbranche ist daher mit einer möglichst umfangreichen Verwertung der verfügbaren Ressourcen zur Lebensmittelherstellung konfrontiert. Gleichzeitig ist sie auf der Suche nach innovativen Ideen wie z. B. fleischähnlichen Produkten, da viele Konsumenten aus ethischen Gründen unwürdige Haltungsbedingungen der Tiere oder aufgrund von Fleischskandalen weniger Fleisch essen bzw. ganz darauf verzichten wollen.

Vorteile von Insekten

Mit mehr als einer Million beschriebenen Spezies stellen Insekten die artenreichste Tiergruppe weltweit dar. In vielen Teilen der Erde stehen traditionell schon seit langer Zeit diverse Insekten auf dem Speiseplan des Menschen. Insgesamt sind etwa 2000 genießbare Insekten bekannt; hierzu zählen vor allem Käfer, Ameisen, Wespen und Bienen. Ebenso stehen Insekten auf dem Speiseplan von Tieren. Dadurch, dass sie ubiquitär auf der Welt vertreten sind, stellen sie eine hervorragende alternative Proteinquelle für Mensch und auch Tier dar. Insekten weisen im Vergleich zu Nutztieren wie Rinder, Schweine oder Geflügel eine deutlich bessere Ökobilanz auf, benötigen weniger Ressourcen wie z. B. Futter oder Wasser und deutlich weniger Land. Schweine oder Hühner werden vielfach in Legebatterien oder Mastställen gehalten, Speiseinsekten werden dagegen in artgerechten und lebensmittelechten Behältnissen gezüchtet, die dem natürlichen Schwarmverhalten von Insekten entsprechen. Die Fleischproduktion verursacht außerdem Land- und Wasserverschmutzung, welche zu Klima- und anderen Umweltproblemen führen. 70 Prozent der für die Landwirtschaft genutzten Fläche inkl. der Fläche für den Anbau des Futters für die Nutztiere wird für die Zucht konventioneller Nutztiere verwendet. Ein weiterer Vorteil von Insekten ist die Futtermittelverwertungseffizienz, welche bei den konventionellen Nutztieren bei herkömmlichem Futter sehr gering ist. Insekten sind wechselwarme Tiere, sodass keine der durch das Futter bereitgestellten Energie zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur benötigt wird. Für den Verzehr ist der verwertbare Anteil bei Nutztieren in Relation zum Gesamtgewicht deutlich geringer als bei Speiseinsekten. Von Heuschrecken können über 80 Prozent und von Mehlwürmern 100 Prozent verzehrt werden. Eine aktuell (noch) nicht genutzte Ressource sind die Ausscheidungen der Insekten, die auch als *frass* bezeichnet werden. Aufgrund des hohen Stickstoffgehalts kann dieser als Bio-Dünger eingesetzt werden. Im Gegensatz zu mineralischen Düngemitteln ist das enthaltende Phosphat im *frass* weniger gut wasserlöslich und verbleibt somit länger im Boden. Studien

haben gezeigt, dass das Phosphat dennoch gleich gut von den Pflanzen aufgenommen wurde, es findet keine Auswaschung statt.

Notwendigkeit einer alternativen Proteinquelle basierend auf Insekten

Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Lebensmittelproteinen durch das Wachstum der Weltbevölkerung und dem zunehmenden Konsum von tierischen Lebensmitteln werden neue Proteinquellen benötigt. Erste Alternativen auf pflanzlicher Basis, wie z. B. Erbsen- oder Sojaprotein gibt es seit geraumer Zeit kommerziell zu erwerben. Ein nachteiliger Aspekt bei einer Versorgung mit pflanzlichen Proteinen ist deren im Vergleich zu tierischen Proteinen geringere biologische Wertigkeit.



Insektenwurst hergestellt aus den Larven des Mehlkäfers.

Außerdem führt eine einseitige Ernährung mit pflanzlichen Proteinen zu einer Vitaminunterversorgung, da nicht genügend Vitamin B12 und Vitamin D3 enthalten sind. Durch die Züchtung der Insekten werden neben den hochwertigen Proteinen auch essenzielle Vitamine und Fettsäuren in die innovativen Lebensmittel eingebracht. Dies führt dazu, dass das alternative Produkt reich an essenziellen Nahrungsbestandteilen ist und typische Mangelerscheinungen, wie sie beim ausschließlichen oder weit überwiegender Verzehr von derzeit auf dem Markt befindlichen fleischähnlichen Lebensmitteln eintreten können, vermieden werden.

Insekten sind größtenteils omnivor, sodass sie eine breite Vielfalt an Futter verwerten können. Die Verwendung industrieller Nebenströme der Lebensmittel- und Agrarindustrie als Futter ermöglicht eine ressourcenschonende Insektenzucht. So kann relativ leicht hochwertiges Protein aus wertlosen bzw. geringwertigen Strömen generiert werden. Die nachhaltige Entwicklung einer Insektenzucht im Projekt »InWu – Etablierung einer neuartigen Proteinquelle auf Basis von Insekten zur Herstellung von geschmacksoptimierten Lebensmitteln« erfolgte sowohl mit festen als auch flüssigen Nebenströmen der Lebensmittelindustrie. Als geeignete Kandidaten wurden die Larven des Mehlkäfers (*Tenebrio molitor*) sowie des glänzenschwarzen Getreideschimmelkäfers (*Alphitobius diaperinus*) ausgewählt. Für die innovative Produktentwicklung wurde vorrangig mit dem Mehlwurm gearbeitet, da dieser seit Juni 2021 von der European Food Safety Authority (EFSA) als neuartiges Lebensmittel zugelassen wurde. Im InWu-Projekt wurden regionale Nebenströme zur Kultivierung der Larven des Mehlwurms getestet. Im direkten Vergleich zur Referenzdiät konnte gezeigt werden, dass die Mehlwürmer auf einer Mixtur bestimmter Nebenströme sich gleich schnell entwickelten. Weiterhin wurde in dem Projekt zum ersten Mal gezeigt, dass flüssige Nebenströme nach einer einfachen Aufarbeitung erfolgreich als Nassfutter, welches als Feuchtigkeitsquelle dient, eingesetzt werden können. Durch diese Zufütterung können etwaige Limitierungen des Trockenfutters ausgeglichen werden.

Insektenwurst aus Larven des Mehlkäfers

Studien zeigten, dass die Bereitschaft westlicher Konsumenten, Insekten zu essen, steigt, wenn diese zum einen in bekannten Produkten wie Burgerpatties oder Proteinriegeln enthalten sind. Und zum anderen, wenn die Insekten in zermahlener Form zugegeben wurden bzw. diese im Produkt nicht mehr erkennbar waren. Durch die Anpassung an den europäischen/westlichen Geschmack mit Gewürzen und Schaffung einer vertrauten Konsistenz und Textur des Produktes soll die Bereitschaft, Insekten zu verzehren, gesteigert und so der »Ekel-Faktor« reduziert werden. Die Konsumenten können langsam an Insekten als Lebensmittel gewöhnt werden. Im Projekt wurde

eine streichfähige Wurst kreiert, die zu 60 Prozent aus den Larven des Mehlkäfers besteht. In Verkostungen zeigte sich, dass die überwiegende Mehrheit der Konsumenten dieses Produkt regelmäßig verzehren würde. Fleischersatzprodukte aus Insekten können somit eine attraktive Alternative für Konsumenten darstellen, die Wert auf eine nachhaltige Lebensmittelauswahl legen.



Larven des Mehlkäfers (*Tenebrio molitor*).

Kontakt

Dr. Daniel Bakonyi

daniel.bakonyi@ime.fraunhofer.de



Zielgerichtete Biosynthese von pharmazeutisch relevanten Terpenoiden

Von Dr. Christian Schulze Gronover, Dr. Boje Müller und Jos David Cox

Sekundäre Pflanzenstoffe finden zunehmend Einsatz in der grünen, roten und weißen Biotechnologie. Eine wissenschaftlich und insbesondere auch wirtschaftlich interessante Familie von Naturprodukten sind Terpenoide. Um die steigende Nachfrage dieser natürlichen Wertstoffe zu decken sowie die Produktvielfalt zu erhöhen, können Mikroorganismen als nachhaltige »Fabriken« für die Erzeugung maßgeschneiderter Molekülvarianten hoher Qualität genutzt werden.

Von der Heilpflanze zum Bioreaktor

Terpenoide stellen mit über 40 000 Verbindungen die größte Klasse der Naturstoffe dar und werden von allen bekannten Organismen synthetisiert. Besonders beeindruckend ist die Zahl verschiedener Terpenoide in Blütenpflanzen. In der Natur erfüllen sie vielfältige Funktionen: Als Pigmente färben sie z. B. Blüten und Früchte, als Duftstoffe locken sie Bestäuber an, als Bestandteile von Harzen oder Wachsen dienen sie der Fraßabwehr. Die ökonomische Bedeutung der Terpenoide ist enorm. Ihre Gewinnung aus Pflanzen birgt allerdings große Herausforderungen: Abhängig von den Umweltbedingungen können Zusammensetzung und Mengen variieren. Zusätzlich geht die Gewinnung aus der pflanzlichen Biomasse mit hohem Energie- und Ressourcenverbrauch einher und ist somit häufig nicht wirtschaftlich.



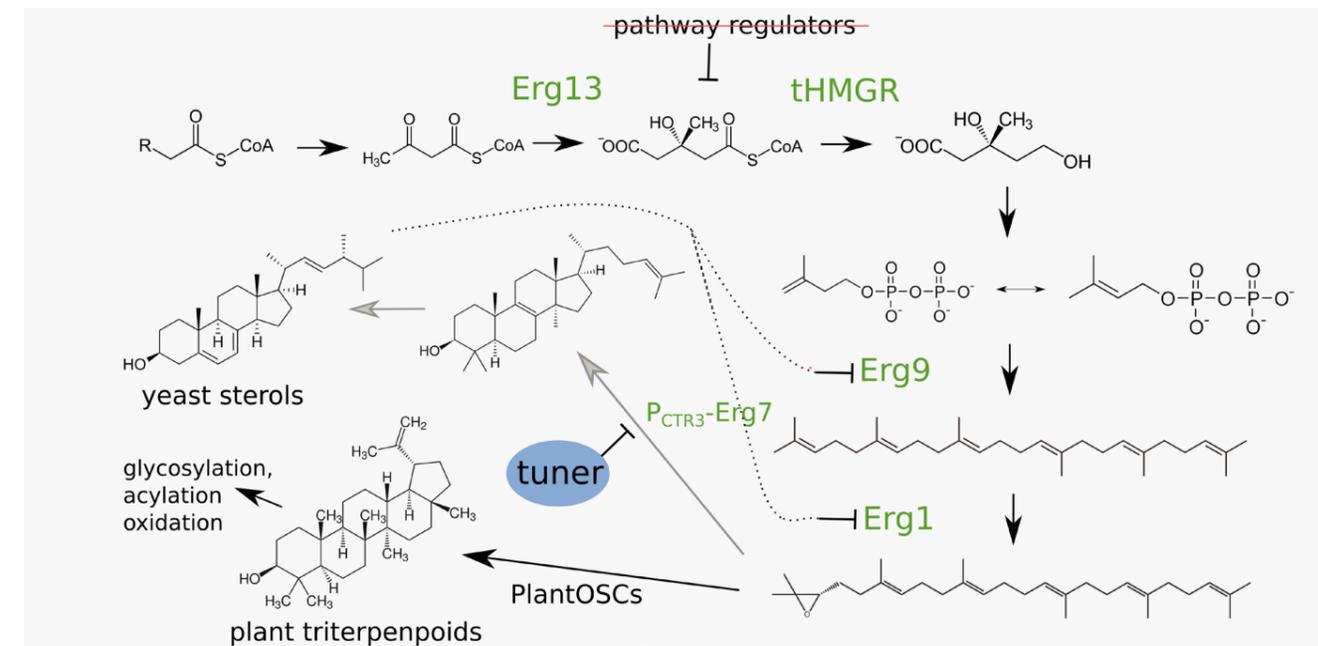
Die Samen der Roskastanie sind eine reichhaltige Quelle an Triterpenoide, die Extrakte werden in der Phytomedizin eingesetzt.

Die chemische Synthese aus petrochemischen Rohstoffen wiederum kämpft mit der enormen Komplexität der Naturprodukte. Alternative, nachhaltige Systeme zur Produktion und Aufreinigung werden benötigt, die im Einklang mit und zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen stehen. Daher rückte auch hier die Verwendung mikrobieller Organismen wie der Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* in den Fokus. Hefen sind einzellige Pilze, die in der Regel schnellwachsend und sehr anpassungsfähig in Bezug auf ihre Nahrung und Umweltbedingungen sind.

Als eukaryotische Vertreter unter den Mikroorganismen besitzen Hefen anders als *Escherichia coli* zudem den Mevalonsäure (MVA)-Biosyntheseweg, welcher zur Produktion des Terpenoid-Vorläufers Isopentenylpyrophosphat (IPP) führt. Zur Produktion geringer Mengen Terpenoide müssen lediglich die letzten Schritte der Biosynthese in Hefen überführt werden. Im Gegensatz zur Extraktion aus Pflanzen sind die Produkte von hoher Reinheit und konstanter Qualität. Dennoch müssen die Hefestämme optimiert werden, um Engpässe der Biosynthese zu überwinden und eine effiziente, kostengünstige und nachhaltige Herstellungsweise zu ermöglichen.

Große Vielfalt und breite Anwendung der Terpenoide

Die Struktur der Terpenoide leitet sich von ihrem Grundbaustein Isopren, einer verzweigten Kohlenwasserstoffkette mit fünf Kohlenstoffatomen (C_5), ab. Die Verknüpfung, Modifizierung durch funktionelle Gruppen und Zyklisierung dieser Einheiten führt zur hohen Diversität dieser Moleküle. Die bisher beschriebenen Terpenoide umfassen niedrig- bis hochmolekulare Strukturen. Die industrielle Nutzung niedermolekularer Strukturen wie Mono-, Di-, Sesqui- und Triterpenoiden reicht von Aroma- und Duftstoffen über Vitamine sowie Bestandteilen von Kosmetikprodukten oder Lebensmitteln bis hin zu Arzneimitteln. Zwei pharmazeutisch relevante Beispiele sind



Modifikationen des Biosynthesewegs pflanzlicher Triterpenoide in Hefe.

das Diterpenoid Paclitaxel (C_{20+27}), bekannt als das Krebsmittel Taxol®, und das Sesquiterpenoid Artemisinin (C_{15}), das als Antimalariamittel verwendet wird. Auch Verbindungen mit hohem Molekulargewicht ($C_{>25000}$), wie Naturkautschuk, werden in großem Umfang für die industrielle Produktion verschiedener Konsumgüter genutzt.

Von besonderem Interesse sind zyklische Triterpenoide (C_{30}). Für zahlreiche Pflanzenarten ist beschrieben, dass einige dieser Inhaltsstoffe sehr vielseitige bioaktive Funktionen aufweisen. Das Potential umfasst antimikrobielle, antioxidative, anti-karzinogene und antiallergische Wirkungen und macht sie daher attraktiv für landwirtschaftliche und pharmazeutische Anwendungen.

Interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Produktion maßgeschneiderter Triterpenoide in Hefe

Im Rahmenprogramm »Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030« hat sich für das Projekt »ASPIRANT« ein Konsortium aus KMUs und Forschungseinrichtungen mit dem Ziel der gerichteten Biosynthese von pharmazeutisch relevanten Triterpenoiden in Hefen zusammengeschlossen. Der Verbund, koordiniert durch das Fraunhofer IME, kombiniert Fachexpertise aus den Bereichen Chemie, Biologie, Verfahrenstechnik und Pharmazie und verfolgt systemorientiert die gesamte Wertschöpfungskette. Im Fokus stehen dabei unter anderem die Produktion und pharmazeutische Evaluation neuer Substanzen.

Nach einer wissenschaftlichen Auswahl geeigneter Triterpenoide, erfolgten die Identifizierung der für deren Biosynthese notwendigen Enzyme und das Einbringen in Hefen. Pflanzliche Oxidosqualenzyklasen (OSCs) bilden aus dem natürlich in Hefen vorkommenden 2,3-Oxidosqualen das gewünschte

Triterpenoid. Weitere enzymatische Modifikation wie Oxidationen oder der Einbau von Zuckerresten verändern dessen chemischen Eigenschaften und Bioaktivität. Hierfür wird ein Hefestamm mit einem am Fraunhofer IME in Münster optimiertem MVA-Weg genutzt. In diesem Stamm ist ein Schlüsselregulator ausgeschaltet, der im aktiven Zustand das Ablesen der MVA-Synthesegene hemmt und so die Bildung der notwendigen Enzyme unterbindet. In einem weiteren Schritt überexprimierten die Forschenden Gene, die essenziell für die Produktion der Vorläufermoleküle sind, um deren Menge zu erhöhen.

Des Weiteren modifizierten sie einen Seitenzweig, der in Hefe ebenfalls 2,3-Oxidosqualen umwandelt, sodass er kontrolliert an- und ausgeschaltet werden kann. Die Implementierung dieser Hefe-Plattform erhöhte die Produktivität des MVA-Wegs und leitete den Stoffwechselfluss in Richtung des gewünschten Triterpenoids um. Der Erfolg spiegelt sich in einer drastisch gesteigerten Ausbeute wider. Die aufgereinigten Triterpenoide weisen eine hohe Reinheit und konstante Qualität auf. In-vitro zeigten diese Substanzen positive Effekte auf inflammatorische Parameter. Die iterativen Optimierungen der Modifikation kompetitiver Stoffwechselwege ermöglicht eine Produktion in wirtschaftlich relevanten Mengen. Die Hefe-Plattform wird weiter ausgebaut und steht nun für die Synthese weiterer Terpenoide zur Verfügung.

Kontakt

Dr. Christian Schulze Gronover

christian.schulze.gronover@ime.fraunhofer.de



Molekulare Marker neurotoxischer Wirkmechanismen in aquatischen Modellorganismen

Von Dr. Sebastian Eilebrecht, Julia Pfaff und Hannes Reinwald

Toxische Wirkungen von Umweltchemikalien auf das Nervensystem können weitreichende Effekte auf die belebte Umwelt haben, mit möglichen letalen Folgen. Die Fraunhofer Attract-Gruppe Eco'n'OMICs am Standort Schmallenberg des Fraunhofer IME hat die Wirkungsweise verschiedener neurotoxischer Insektizide auf Wirbeltiere und wirbellose Modellorganismen untersucht und potenzielle Biomarker identifiziert, die zur Vorhersage spezifischer neurotoxischer Wirkungsweisen verwendet werden können.

Unterscheidung schädlicher Wirkweisen zur Vorhersage der Umweltsicherheit von Substanzen

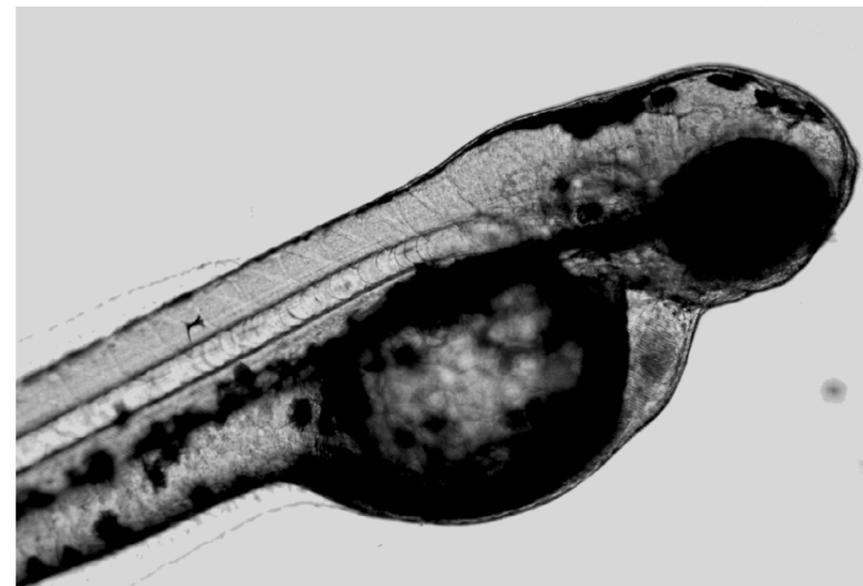
Chemikalien, die unbeabsichtigt oder durch ihre Nutzung in die Umwelt gelangen, können schädliche Wirkungen auf alle trophischen Ebenen des Ökosystems haben. Vor allem Nebenwirkungen, die Auswirkungen auf Populationen haben und durch sehr niedrige Substanzkonzentrationen hervorgerufen werden, sind von hoher Relevanz bei der vorgeschriebenen Umweltgefährdungs- und Risikobewertung von Substanzen. Besonders potente Wirkungen werden durch Substanzen ausgelöst, die spezifisch an zelluläre Rezeptoren binden und diese inhibieren, modulieren oder aktivieren. Ein prominentes Beispiel sind hormonaktive Substanzen, die über ihre spezifische Interaktion auf der molekularen Ebene höchstpotent Signalkaskaden aktivieren, welche die Fortpflanzungsfähigkeit des Organismus und damit den Bestand von Populationen beeinträchtigen können. Solche sogenannten endokrinen Disruptoren, welche den Hormonhaushalt des Organismus aus dem Gleichgewicht bringen, unterliegen aufgrund der Tatsache, dass niedrigste Belastungen sensitiver Lebensstadien und -leistungen nachhaltig schädigende Wirkung für das Ökosystem auslösen können, einer gesonderten Regulierung: wird eine Substanz als unerwünscht endokriner Disruptor identifiziert, so erfolgt für diese Substanz keine Marktzulassung.

Auch neurotoxische Substanzen erzeugen häufig bereits bei sehr niedrigen Konzentrationen Effekte in Organismen eines Ökosystems. Diese hohe Potenz rührt oftmals – ähnlich wie bei endokrinen Disruptoren – von einer spezifischen Interaktion mit zellulären Rezeptoren des Nervensystems. Eine Bindung an diese Rezeptoren kann eine eingeschränkte Bewegungsfähigkeit des Organismus bewirken, was das Fluchtverhalten etwa vor Fressfeinden oder die eigene Futtersuche beeinträchtigen kann. So können auch sehr geringe Konzentrationen neurotoxischer Substanzen indirekt letale Folgen haben und Populationen gefährden. Aufgrund dessen strebt die EU-Kommission

zukünftig eine Ausdehnung des generischen Ansatzes, der etwa für endokrine Disruptoren gilt, auf weitere schädliche Wirkweisen wie Neurotoxizität, Immunotoxizität oder respiratorische Toxizität an.

Bisher sind standardisierte Tests zur Erfassung und Bewertung und Unterscheidung dieser Wirkweisen noch nicht etabliert oder umfassen zeit- und kostenaufwändige Studien mit z. T. erheblichen Zahlen an Versuchstieren. In der Fraunhofer Attract-Gruppe Eco'n'OMICs erforschen wir mit einer Kombination aus ökotoxikologischen, molekular- und systembiologischen Methoden spezifische umweltschädliche Wirkmechanismen, wie Neurotoxizität, in einer Reihe von Modellorganismen.

Ziel ist die Identifizierung von Biomarkern für diese Wirkweisen, welche dann als Indikatoren in Screening-Verfahren eingesetzt werden können, um schnell und im hohen Durchsatz besonders schädliche Umweltwirkungen von unschädlichen Wirkungen zu unterscheiden.



Molekulare Marker für Neurotoxizität im Zebrafisch-Embryo und im Wasserfloh

Neurotoxische Wirkungen können durch eine Vielzahl molekularer Schlüsselereignisse ausgelöst werden, etwa durch eine Beeinträchtigung der Produktion von Botenstoffen, eine Aktivierung oder eine Blockierung von Nervenzellrezeptoren. Zu den besonders gut charakterisierten Substanzen mit neurotoxischer Wirkung zählen auf Nerven und Muskeln abzielende Insektizide. Die Klassifizierung der spezifischen Wirkungen dieser Insektizide durch das *Insecticide Resistance Action Committee* dient eigentlich der Vermeidung von Resistenzbildung, bildet aber auch einen umfassenden Überblick über Wirkmechanismen und die dazugehörigen Modellsubstanzen.

Im Rahmen einer Doktor- und einer Masterarbeit haben wir molekulare Fingerabdrücke der Wirkweisen einer Auswahl an neurotoxischen Insektiziden im Zebrafisch-Embryo (*Danio rerio*) und im großen Wasserfloh (*Daphnia magna*) untersucht. Der Zebrafisch-Embryo ist ein in der Ökotoxikologie häufig verwendeter Modellorganismus für aquatische Wirbeltiere, welcher bis zum Zeitpunkt seiner selbständigen Ernährung nicht unter die Tierversuchsregulation fällt.

Rechts: Der Zebrafisch-Embryo (*Danio rerio*) als Modellorganismus für aquatische Wirbeltiere.

Links: Der große Wasserfloh (*Daphnia magna*) ist ein Modellorganismus für Wirbellose.



Da er auch in der entwicklungsbiologischen und medizinischen Grundlagenforschung eine große Rolle spielt, ist sein Genom entsprechend gut charakterisiert und so für systembiologische Fragestellungen besonders gut geeignet. Der große Wasserfloh wird als Modellorganismus zur Erfassung von Toxizität in aquatischen Wirbellosen genutzt. Sein Genom ist weit weniger untersucht als das des Zebrafisches, was für die Identifizierung von Biomarkern eine Herausforderung bedeutet.

Durch die Anwendung molekularbiologischer High-Content-Methoden auf ökotoxikologische Richtlinientests konnten wir im Zebrafisch-Embryo und im großen Wasserfloh Biomarker für eine Reihe neurotoxischer Wirkmechanismen identifizieren, darunter die Hemmung der Acetylcholinesterase, den Antagonismus des GABA-gesteuerten Chloridkanals, die Modulation des Natriumkanals, die Modulation des nikotinischen Acetylcholinrezeptors oder die Modulation des Glutamat-gesteuerten Chloridkanals. Die Untersuchung dieser Marker in verkürzten Testansätzen wird in Zukunft die Identifizierung und Differenzierung neurotoxischer Wirkweisen von Chemikalien im hohen Durchsatz erlauben und so zur Entwicklung umweltsicherer Substanzen beitragen.

Weitere Literatur

Reinwald, Hannes, et al. Toxicogenomic profiling after sublethal exposure to nerve-and muscle-targeting insecticides reveals cardiac and neuronal developmental effects in zebrafish embryos. *Chemosphere* 291 (2022): 132746. DOI: 2021.132746

Pfaff, Julia, et al. Toxicogenomic differentiation of functional responses to fipronil and imidacloprid in *Daphnia magna*. *Aquatic Toxicology* 238 (2021): 105927. DOI: 2021.105927

Kontakt

Dr. Sebastian Eilebrecht

sebastian.eilebrecht@ime.fraunhofer.de



Neu auftretende Viren gefährden die kommerzielle Bienenzucht und Wildinsekten

Von Kateřina Vočadlová

Die zunehmenden Indizien für die Übertragung von Krankheitserregern zwischen verschiedenen Arten deuten darauf hin, dass neu auftretende Krankheiten eine der möglichen Ursachen für den Rückgang der Bienenpopulation sein könnten. Artenarme Gemeinschaften wie bewirtschaftete Bienenkolonien, die in hoher Dichte gehalten werden, dienen als ideales Reservoir für Krankheitserreger einschließlich Viren, deren Ausbreitung fatale Folgen für den Bestand an Wildinsekten und die biologische Vielfalt haben kann. Zum Schutz sowohl der bewirtschafteten Bienenvölker als auch der Wildinsekten ist eine gezielte Strategie zur Kontrolle des Übergreifens von Krankheitserregern erforderlich.

Globales Insektensterben

Die ersten Berichte über den weltweiten Rückgang von Insekten wurden zu Beginn der 2000er-Jahre veröffentlicht. Große Aufmerksamkeit wurde diesem Thema jedoch zuteil, als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die tatsächlichen Zahlen vorlegten. Nach Angaben von Entomologen sind in den letzten Jahrzehnten mehr als 75 Prozent der Insektenbestände verloren gegangen und mehr als 40 Prozent der Insektenarten sind vom Aussterben bedroht. Der Rückgang wird auf eine Vielzahl von Faktoren zurückgeführt, z. B. Parasiten und Krankheitserreger, chemische Pestizide, die Zerstörung von Lebensräumen einschließlich der Ausdehnung der Landwirtschaft und der Verstädterung sowie den Klimawandel. Insekten spielen bei vielen Umweltprozessen eine Schlüsselrolle, z. B. tragen sie zum Nährstoffkreislauf und zur biologischen Bekämpfung von Unkräutern und Schädlingen bei und ermöglichen die Fortpflanzung entomophiler Pflanzen. Die Bestäubung steigert sowohl den Ertrag als auch die Qualität der landwirtschaftlichen Kulturen erheblich. Angesichts des Bevölkerungswachstums und der Nachfrage nach landwirtschaftlichen Nutzpflanzen für den Lebensmittelkonsum gibt der Mangel an Bestäubung Anlass zur Sorge. Der Verlust dieser Leistungen würde sich nachteilig auf die biologische Vielfalt von Pflanzen und Tieren sowie auf die weltweite Nahrungsmittelversorgung auswirken.

Neu auftretende Viren im Zusammenhang mit der Ausbreitung der Varroamilben

Unter den Bestäubern sind die Honigbienen die am umfangreichsten untersuchte Insektengruppe. Die großen Verluste an Honigbienenvölkern in den letzten Jahrzehnten wurden vor

allem mit der Ausbreitung der ektoparasitischen Milbe *Varroa destructor* und mit der Anwendung einiger Pestizidgruppen in Verbindung gebracht. Varroamilben ernähren sich von den Fettkörpern der Bienen und können die Gesundheit der Bienen erheblich beeinträchtigen. Noch entscheidender ist jedoch, dass die *V. destructor* ein effektiver Vektor von Viren ist, die in der Milbe replikationsfähig sind.

Die durch Varroamilben vermittelte Übertragung hat die Prävalenz und Virulenz einiger Viren wie DWV (Deformed wing virus), ABPV (Acute bee paralysis virus) und KBV (Kashmir bee virus) beträchtlich erhöht. Virusinfektionen wurden dementsprechend zu einer ernststen Bedrohung für Bienenvölker. Somit konzentriert sich die Verhinderung ihrer Ausbreitung, z. B. durch die Bekämpfung der Varroamilbe. Dennoch haben sich einige natürliche Substanzen als potenzielle antivirale Wirkstoffe erwiesen, z. B. Thymol, Propolis oder einige Pilzextrakte.

Eine antivirale Wirkung gegen die Honigbienenviren DWV (Deformed wing virus) und LSV (Lake Sinai virus) wurde für Pilzextrakte der Gattungen *Fomes* und *Ganoderma* (*Basidiomycota*) nachgewiesen. Die Zugabe der Extrakte zum Futter verringerte sowohl im Labor als auch im Freien die Konzentration beider Viren im Körper der Honigbienen.

In unserer Studie testeten wir die Effekte der Zugabe von organischen Extrakten aus *Talaromyces* (*Ascomyceten*), die aus Bienenbrot isoliert wurden, auf die experimentelle Infektion von Honigbienen mit dem Virus der Chronischen Bienenparalyse (CBPV). Obwohl in jeder mit dem Virus infizierten Gruppe innerhalb von 3 bis 4 Tagen nach der Injektion ein starker Rückgang der Überlebensrate zu beobachten war, verlängerten einige Extrakte die Lebensdauer der infizierten Bienen erheblich.



Oben: Honigbienen (*Apis mellifera*) am Eingang des Bienenstocks.

Unten: Vorbereitung des CBPV-Inokulums aus einer infizierten Bienenpuppe.

Wir vermuten, dass die Extrakte die angeborene Immunantwort der Bienen stimulieren könnten. Weitere Tests haben jedoch ergeben, dass einige der Extrakte auch die Viruspartikel inaktivieren können. Die Entdeckung und Charakterisierung von Pilzverbindungen mit antiviraler Wirkung hat sich in den letzten zehn Jahren zu einem neuen Forschungsgebiet entwickelt. Die aktuellen Ergebnisse können eine Grundlage für die Untersuchung ihres potenziellen Einsatzes in der Bienenzucht bilden.

Die kommerzielle Imkerei als Bedrohung für Wildbestäuber

Der Schutz der Honigbienen als Erzeuger wertvoller Bienenprodukte und als wirksamer Bestäuber von etwa 96 Prozent der von Tieren bestäubten Pflanzen ist nach wie vor von großem Interesse. Allerdings können bewirtschaftete Honigbienen die Leistungen von Wildbestäubern sowohl bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen als auch bei Wildpflanzen nicht ersetzen, sondern nur ergänzen. In immer mehr Veröffentlichungen wird darauf hingewiesen, dass die kommerzielle Imkerei eine Bedrohung für Wildbestäuber darstellt. Der internationale Handel mit Honigbienen und ihren Erzeugnissen ist ein wichtiger Faktor, der zur Einschleppung invasiver Krankheitserreger einschließlich neuer Viren beiträgt. Der Nachweis und die Diagnose von Virusinfektionen ist schwierig, da es sich häufig um verdeckte Infektionen handelt und die Symptome und die Pathogenität vieler Viren unbekannt sind. Darüber hinaus werden die bewirtschafteten Bienenvölker in der Regel in hoher Dichte gehalten und können daher ein Hotspot für die Vermehrung von Krankheitserregern sein, insbesondere für unterdiagnostizierte virale Infektionserreger, die effektiv auf andere Bestäuber innerhalb der gemeinsam genutzten Blütenressourcen übertragen werden können. Kommen andere Umweltstressoren wie Pestizide hinzu, können selbst weniger virulente Viren tödliche Auswirkungen auf die Insektenpopulationen haben. Um sowohl die Imkerei als auch die Wildinsekten zu schützen, ist eine gezielte Strategie zur Kontrolle des Auftretens von Krankheitserregern in den bewirtschafteten Bienenvölkern und dem für den internationalen Handel bestimmten Bienenmaterial erforderlich.

Kontakt

Kateřina Vočadlová

katerina.vocadlova@ime.fraunhofer.de



Insect Farming 4.0 – Wettbewerbsfähiges Insektenprotein als nachhaltiges Futtermittel

Von Marius Wenning

Die Futtermittelproduktion zerstört Ökosysteme weltweit. Insekten stellen eine hochwertige Alternative zu klassischen Futtermitteln dar. Durch die Verwertung von industriellen Reststoffen ermöglichen die Insekten eine Kreislaufwirtschaft und schließen so die entstehende Proteinlücke. Das Fraunhofer IME entwickelt automatisierte Produktionssysteme, um die Produktionsvolumina zu skalieren und ermöglicht so wettbewerbsfähige Kosten.

Die voranschreitende Entwaldung des Amazonas-Regenwaldes ist auf die globale Soja-Nachfrage der Viehzucht zurückzuführen. In Aquakulturen kommt zudem Fischmehl zum Einsatz – einer der Gründe für die Überfischung der Meere. Angesichts der steigenden Weltbevölkerung und der global steigenden Nachfrage nach Fleisch und Fisch werden neue Futtermittel benötigt, um die aufkommende Proteinlücke zu schließen und den Flächenbedarf für Bioressourcen zu vermindern.

Insekten als Futtermittel

Insekten zeichnen sich durch ihre hohe Ressourceneffizienz aus. Verglichen mit Säugetieren kommen sie mit einem Bruchteil an Wasser und Fläche aus. Da sie mit Nahrungsmittelresten gefüttert werden können, wird dabei keinerlei zusätzliches Futtermittel für die Insekten benötigt. So könnten mithilfe der Larve der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) die EU-weit 88 Millionen Tonnen Lebensmittelreste zu einem hochwertigen Futtermittel verarbeitet werden. Das anspruchslose Insekt könnte sogar Nährstoffe aus Gülle und Klärschlamm zurückgewinnen.

Das aus den Larven der Soldatenfliege gewonnene Proteinmehl besitzt ein ausgewogenes Aminosäureprofil, was es zu einem attraktiven Ersatz für Fischmehl macht. Durch die Verwendung von Insektenproteinen an Stelle von Fischmehl wird in Aquakulturen zusätzlich das Risiko für den Befall von marinen Krankheitserregern reduziert.

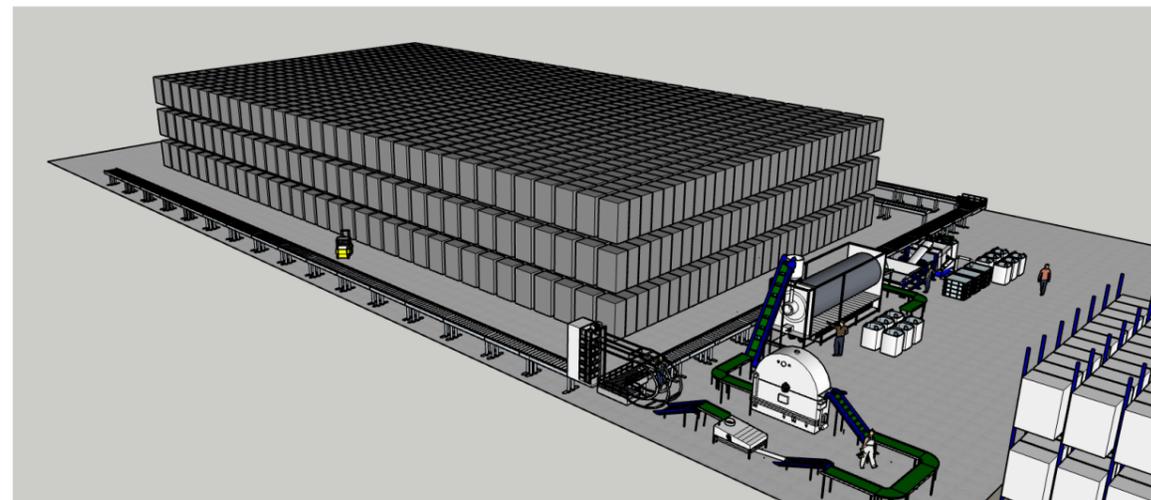
Wirtschaftlichkeit entscheidend für Marktdurchdringung

Der weltweit produzierte Fisch stammt inzwischen zu etwa der Hälfte aus Aquakulturen. Der hohe Kostenanteil der

Futtermittel (etwa 50 Prozent) macht die Fischzucht besonders sensibel für steigende Futtermittelpreise. So muss der Preis der Insekten mit einem Fischmehlpriß von etwa 1 500 Euro pro Tonne konkurrieren.

Die kleinskalige Insektenproduktion wird durch die Kosten des verwendeten Futtersubstrats und die Lohnkosten bestimmt. Dabei lassen sich die Kosten für das Futtersubstrat durch Verwendung von Reststoffen auf ein Minimum reduzieren. Das Gesetz der Massenproduktion und die damit verbundenen Skaleneffekte sind schließlich ein Mittel, um die verbleibenden Gesamtkosten auf eine hohe Produktionsmenge zu verteilen.

Die großskalige Insektenproduktion in zentralisierten Fabriken benötigt jedoch hochautomatisierte Produktionstechnik, die einhergeht mit millionenschweren Investitionen, die bislang nicht getätigt werden. Zudem fallen die organischen Nebenströme wie Siedlungsabfälle verteilt an. Der Transport zu wenigen, zentralisierten Fabriken belastet die Umwelt und erhöht die Kosten.



Produktionstechnologie zur Kostensenkung

Am Institutsteil Bioressourcen des Fraunhofer IME zielt die Entwicklung neuer Produktionstechnik für die Insektenzucht daher auf mittelständische Anwender ab. Diese umfassen landwirtschaftliche Betriebe, Unternehmen der Lebensmittelindustrie und regionale Entsorgungsbetriebe. Damit diese Anwender lokal Reststoffe verwerten können, erfordert es investitionsarme Anlagen mit geringem Personalbedarf.

Fachwissen zum Lebenszyklus der Insekten, das bei Entomologen und in wissenschaftlicher Literatur vorhanden ist, muss dem Anwender vereinfacht und kostengünstig zur Verfügung gestellt werden.



Oben: Überfischung der Meere durch die Produktion von Fischmehl als Futtermittel in Aquakulturen.

Unten: Produktionssystem zur Larvenmast mit einer täglichen Kapazität von 60 Tonnen Reststoffen und einem Invest von 5,8 Millionen Euro.

Zur Verringerung der Komplexität wird die Insektenproduktion zunächst in die Reproduktion neuer Fliegenlarven und die Mast dieser Larven geteilt. Der Anwender bezieht die Junglarve, sodass er sich auf die Verwertung seiner Nebenströme im Mastprozess fokussieren kann. Eine Produktionssteuerung, die die Luftparameter wie Temperatur, Feuchtigkeit und Sauerstoffanteil kontrolliert, sorgt für optimale Lebensbedingungen der Fliegenlarven. Die Überwachung der Larvenmast mittels Computer Vision-Algorithmen erlaubt ein voll automatisiertes Monitoring. Das Zusammenführen der Sensordaten in einer Cloud-Software und die Auswertung mittels maschinellem Lernen ermöglicht eine optimierte Prozessführung für jedes Substrat.

Die Anwendenden bekommen spezifische Anweisungen von der Expertensoftware über eine Weboberfläche. Durch das digitale Abbild des Insektenlebenszyklus kann der Protein- und Fettanteil sowie das Aminosäureprofil vorhergesagt werden. Durch die Steuerung der Zusammensetzung der Insektenlarven hat das Futtermittel schließlich positive Auswirkungen auf die Gesundheit der Tiere, an die sie verfüttert werden. Die Insekten reduzieren so neben dem Bedarf an Bioressourcen auch den Bedarf an Antibiotika.

Kontakt

Marius Wenning

marius.wenning@ime.fraunhofer.de



Biotechnologische Pflanzenschutzmittel durch RNA-Wirkstoffe

Von Dr. Christoph Hellmann

Ribonukleinsäure (RNA) als essenzieller Baustein allen Lebens kann gezielt zum Schutz von Kulturpflanzen gegenüber landwirtschaftlichen Schadinsekten eingesetzt werden. Dieser Ansatz für die Entwicklung ökologisch-verträglicher Pflanzenschutzmittel basiert auf dem natürlichen Prozess der RNA-Interferenz (RNAi). Dabei bewirken doppelsträngige RNA (dsRNA) Moleküle eine höchst selektive und zielgerichtete Regulation von Genen im Zielorganismus. Durch diesen beabsichtigten Eingriff in grundlegende biochemische Prozesse lassen sich z. B. letale Wirkungen im Zielorganismus auslösen. Nach jetzigem Kenntnisstand können dabei unerwünschte Nebenwirkungen auf artfremde Spezies und insbesondere auf zahlreiche Nützlinge minimiert oder sogar vollständig vermieden werden.

Formulierungsschemie als Schlüssel für RNA-basierte Pflanzenschutzmittel

Schadinsekten verursachen jährlich landwirtschaftliche Schäden in Milliardenhöhe. Zur Erhaltung der Biodiversität unseres globalen Ökosystems sowie zur Gewährleistung der Nahrungsmittelproduktion werden auch die landwirtschaftlichen Prozesse der Zukunft einen entscheidenden Beitrag leisten müssen. Um den hiermit verbundenen Herausforderungen gerecht zu werden, bedarf es der Entwicklung von ökologischen Pflanzenschutzsystemen, die selektiv auf einen Zielschädling zugeschnitten sind und artfremde Organismen schützen. Ein Ansatz, der diese beiden Anforderungen vereint, beruht auf der Verwendung von RNA-basierten Pflanzenschutzmitteln.

Notwendig für einen agrarindustriellen Einsatz solcher RNA-basierter Pflanzenschutztechnik ist die geeignete Formulierung der aktiven RNA-Wirkstoffe. Solche Formulierungen schützen die Wirkstoffmoleküle gegen äußere Einflüsse auf Pflanzenoberflächen sowie während der Nahrungsaufnahme und im Verdauungstrakt des Zielschädling. An vorhergesehener Stelle im Zielorganismus muss die Formulierung eine zelluläre Wirkstoffaufnahme und -freisetzung ermöglichen, damit sich dort seine Wirksamkeit entfalten kann. Derzeitige Entwicklungsansätze basieren auf verschiedenen Mikro- und Nanopartikeln, deren Wirkstoffverkapselung u. a. durch ionische Wechselwirkungen von kationisch-geladenen Substanzen und anionisch-geladener RNA beruhen. Amphiphile Substanzen wie Fettamine oder Phosphocholine weisen einen lipophilen (fettliebenden) und einen hydrophilen (wasserliebenden) Teil innerhalb der Molekülstruktur auf und können dazu dienen,

RNA Wirkstoffe durch Selbstorganisation in Form sog. Liposome zu verpacken. Trägermaterialien für pharmazeutische Wirkstoffe auf Basis solcher Liposome werden ca. seit den 1990er-Jahren eingesetzt und erlangen derzeit große Aufmerksamkeit aufgrund exzellenter Eigenschaftsprofile als Trägermaterialien für RNA-Impfstoffe.

Unsere Forschungsarbeiten haben zum Ziel, RNA-Wirkstoff-trägersysteme durch Liposombausteine zu entwickeln, um die Wirksamkeit dieser neuartigen Pflanzenschutzformulierungen in Labor-, Gewächshaus- und Feldversuchen zu ergründen.

Blattläuse im Zuckerrübenanbau

Landwirtschaftliche Schäden durch Insekten resultieren oft nicht nur durch den direkten Fraß, sondern können auch durch Insekten übertragbare Krankheitserreger entstehen. Blattläusen kommt in diesem Zusammenhang eine Sonderstellung zu, da bis zu ein Viertel aller bekannten Pflanzenviren von ihnen auf zahlreiche Pflanzenarten übertragen werden können. Während der Nahrungsaufnahme werden die Viren auf die Pflanze übertragen, indem die Blattlaus Pflanzensaft durch ihren Saugrüssel aufnimmt und dabei verschiedene Speichelsekrete mit Viruslast in die Pflanze injiziert.

Für den Zuckerrübenanbau in Deutschland ist insbesondere die grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Die größte Schädigung, die zur Vergilbung der Zuckerrübenpflanze und einer geringeren Fruchtkörperbildung führt, entfalten Pflanzenviren. Pflanzenschutzmittel auf



Oben links: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer liposombasierten RNA Pflanzenschutzformulierung (eingetrocknet auf Siliziumoberfläche).

Grüne Pfirsichblattläuse bei der Nahrungsaufnahme auf Blattoberfläche.

Oben rechts: Schematische Darstellung eines Liposompartikels, der dsRNA durch eine Doppellipidschicht umschließt.

Basis von Neonikotinoid-Wirkstoffen stellen derzeit den einzigen effektiven Schutz gegen diese Schadinsekten bzw. deren Schaderreger dar. Bei Nichtbehandlung dieser Schädlinge kann im deutschen Zuckerrübenanbau der jährliche Schaden mehrere Hundert Millionen Euro betragen. Die Pfirsichblattlaus befällt auch zahlreiche weitere Nutzpflanzen und stellt daher einen der ökonomisch bedeutsamsten Schädlinge weltweit dar.

Ziel des aktuellen, vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Vorhabens »ViVe_Beet« ist es, ein biotechnologisches Verfahren auf Basis von RNA-Pflanzenschutzmitteln zu entwickeln, um die im Zuckerrübenanbau auftretenden Blattläuse durch ökologische Wirkprinzipien zu regulieren und damit auch die Verbreitung von Pflanzenviren zu verhindern. Die Umsetzung dieses Vorhabens erfordert die Entschlüsselung komplexer Wirkmechanismen sowie Materialabstimmungen für die Entwicklung von dsRNA-basierten Pflanzenschutzformulierungen. Gemeinsam mit dem Julius Kühn-Institut (JKI) und dem Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ) werden hierzu bis Ende 2024 verschiedene Ansätze verfolgt und im Rahmen von anwendungsnahen Versuchsreihen auf ihre Wirksamkeit getestet.

Vergleich konventioneller Insektizide und RNA-basierter Pflanzenschutztechnik

Der weltweite Einsatz von konventionellen Pflanzenschutzmitteln ist in den vergangenen Jahren stark angestiegen. Aus dem Pestizidatlas 2022 geht hervor, dass sich Rückstände dieser zum Teil langlebigen Substanzen mittlerweile in allen Bereichen des täglichen Lebens nachweisen lassen, insbesondere in

Böden, Gewässern und letzten Endes Nahrungsmitteln.

Der intensive Gebrauch und die Akkumulation dieser Pestizide steht vermutlich im direkten Zusammenhang mit dem global zu beobachtenden Rückgang der Insektenvielfalt sowie zahlreichen Vogelarten, die auf Insekten als Nahrungsquelle angewiesen sind.

In natürlichen Verwertungskreisläufen wird RNA als Bestandteil aller Pflanzen und Tiere von allen Lebewesen über die Nahrung aufgenommen und verwertet. In der Umwelt wird ungeschützte RNA innerhalb weniger Stunden oder Tagen biologisch abgebaut. Eine Akkumulation von RNA-Molekülen, die als aktiver Wirkstoff im RNAi-basierten Pflanzenschutz eingesetzt werden, gilt daher als unwahrscheinlich. Unsere Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet haben das ausdrückliche Ziel, spezifische Wirkmechanismen auf Schädlinge zu entwickeln und im gleichem Maße die Sicherheit von Nichtzielorganismen zu belegen. Unsere Arbeiten schließen dabei biologische Stabilitätsuntersuchungen der entwickelten Pflanzenschutzformulierungen mit ein, um die Rate des biologischen Abbaus aller Inhaltsstoffe aufzuzeigen.

Kontakt

Dr. Christoph Hellmann

christoph.hellmann@ime.fraunhofer.de



Untersuchung der Biomagnifikation von Chemikalien im Nahrungsnetz eines Sees

Von Verena Kosfeld und Dr. Heinz Rüdell

Im Rahmen der behördlichen Stoffbewertung von Chemikalien stellt das aquatische Bioakkumulationspotenzial eine kritische Eigenschaft für die Bewertung dar. Derzeit werden die Parameter hauptsächlich auf der Grundlage ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften abgeleitet oder in Labortests bestimmt. Ein relativ neuer Ansatz ist die Bestimmung von trophischen Magnifikationsfaktoren (TMFs), die Anreicherungsprozesse in einem Nahrungsnetz integrieren. Forschende des Fraunhofer IME führten die »Nahrungsnetz auf Eis«-Studie am Templiner See bei Potsdam durch. Es ist die erste Untersuchung dieser Art an einem Binnengewässer in Deutschland.

Die Biomagnifikation von Chemikalien in Nahrungsnetzen realistisch bewerten

Verschiedene Parameter wie Biokonzentrationsfaktoren, Bioakkumulationsfaktoren und Biomagnifikationsfaktoren werden experimentell bestimmt, um das Bioakkumulationspotenzial von Chemikalien für die Bewertung im Rahmen verschiedener gesetzlicher Regelungen zu charakterisieren. In den letzten Jahren wurde die Verwendung von TMFs als Alternative für die Bewertung in Gebrauch befindlicher Chemikalien diskutiert. TMFs beschreiben die durchschnittliche trophische Anreicherung einer Chemikalie im untersuchten Nahrungsnetz unter realistischen Umweltbedingungen. Bisher sind TMFs, die in einer Vielzahl verschiedener aquatischer Ökosysteme weltweit bestimmt wurden, hauptsächlich für Altchemikalien verfügbar. Für derzeit gebräuchliche Verbindungen wurden dagegen nur einige wenige TMFs abgeleitet, obwohl sie ein gewisses Potenzial aufweisen. Sie sind einerseits für Fragen im Zusammenhang mit der Bewertung von Chemikalien interessant, beispielsweise die Bewertung von Stoffen, die potenziell persistent, bioakkumulierend und toxisch (PBT), oder sehr persistent sowie sehr bioakkumulierend (vPvB) sind. Sie können aber auch bei der Auswertung von Daten aus dem Biotamonitoring genutzt werden, das im Kontext der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) durchgeführt wird.

Zu diesem Zweck initiierte das Umweltbundesamt eine Feldstudie zum Sammeln, Einfrieren und Lagern von Nahrungsnetzproben bei ultratiefen Temperaturen, um so ein »Nahrungsnetz auf Eis« zu erhalten. Die gesammelten Nahrungsnetzproben sollten für die Untersuchung der Bioakkumulation und Biomagnifikation von Chemikalien im beprobten Süßwasserökosystem verwendet werden. Da es auch an ausreichender praktischer Erfahrung mit der Standardisierung von Protokollen und der Verwendung abgeleiteter TMFs für behördliche Stoffbewertungen mangelt, sollten diese Aspekte entsprechend

berücksichtigt werden. Die Bearbeitung des Projekts wurde an das Fraunhofer IME vergeben und lief im Zeitraum von 2017 bis 2021.

Die »Nahrungsnetz auf Eis«-Studie am Templiner See

Nachdem wir mehrere Gewässer auf ihre Eignung geprüft hatten, entschieden wir, das »Nahrungsnetz auf Eis«-Projekt am Templiner See bei Potsdam durchzuführen. Zunächst sammelten wir so viele Informationen wie möglich über den See, sein Ökosystem und mögliche chemische Belastungen. Die Entnahme von Biotaprobe wurde von einem lokalen Partner durchgeführt. Wie beabsichtigt, erbrachte unsere Probenahmekampagne große Mengen von 15 Probenarten, die Plankton, Muscheln und sieben Fischarten abdeckten. Wir charakterisierten die Bestandteile des Nahrungsnetzes anhand von Parametern wie Lipid- und Proteingehalt sowie den Verhältnissen stabiler Kohlenstoff- und Stickstoffisotope. Die beprobten Biotas umfassen drei trophische Ebenen. Soweit möglich haben wir Methoden verwendet, die bereits für die Umweltprobenbank des Bundes, einem Umweltbeobachtungsprogramm, das die langfristige Lagerung von homogenisierten Biotaprobe bei sehr niedrigen Temperaturen vorsieht, etabliert wurden. Die gesammelten großen Probenmengen aus dem Nahrungsnetz des Templiner Sees stehen damit für eine Vielzahl von Analysen zur Verfügung.

Für ausgewählte Referenzchemikalien wurde die Biomagnifikation im beprobten Nahrungsnetz untersucht. Das Vorgehen folgte bestehenden Leitlinien und ermöglichte die Ableitung zuverlässiger TMFs. Wir analysierten die Nahrungsnetzproben auf polychlorierte Biphenyle (PCBs), polybromierte Diphenylether (PBDEs), Quecksilber und Methylquecksilber. Die Bewertung des trophischen Transfers war für 35 Substanzen



Bestimmung der Länge eines Flussbarsches.

möglich. Dabei konnten wir zeigen, dass 32 der analysierten Verbindungen TMFs deutlich über 1 aufwiesen - ein Beleg, dass diese Stoffe entlang der Nahrungskette bioakkumulieren. Im Falle von PCBs wurden für das Nahrungsnetz des Sees beispielsweise TMFs zwischen 1,7 und 2,5 ermittelt. In den übrigen drei Fällen waren die Korrelationen statistisch nicht signifikant. Vergleiche mit TMFs aus der Literatur, die in anderen Süßwasserökosystemen ermittelt wurden, bestätigten, dass die im Nahrungsnetz des Templiner Sees ermittelten TMFs plausibel sind.

Das Potenzial des »Nahrungsnetzes auf Eis«-Probensatzes

In der nächsten Projektphase nutzen wir die Proben zur Charakterisierung des trophischen Transfers einer Reihe von weniger gut charakterisierten Chemikalien wie cyclische flüchtige Methylsiloxane und Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS). Während für einige dieser Chemikalien eine trophische Magnifikation bestätigt werden konnte, wurde in einem Fall auch eine signifikante Verdünnung der Stoffgehalte mit niedrigeren Konzentrationen in Fischen höherer trophischer Ebenen beobachtet. Dieses Ergebnis ist wahrscheinlich auf die höhere Stoffwechselkapazität der Raubfische zurückzuführen.

Insgesamt erlauben die Projektdaten eine Bewertung des getesteten TMF-Studienansatzes. Da nicht nur lipophile Altchemikalien, sondern auch Stoffe mit nicht-lipophilen Akkumulationseigenschaften zu den untersuchten Verbindungen gehörten, kommen wir zu dem Schluss, dass das »Nahrungsnetz auf Eis«-Projekt einen Probensatz bietet, der in Zukunft zur Charakterisierung des trophischen Magnifikationspotentials von Stoffen mit unbekanntem Bioakkumulationseigenschaften verwendet werden kann. Darüber hinaus können die Ergebnisse für eine Vielzahl von Chemikalien zu einer Datenbank

mit TMFs zusammengestellt werden, die ausgewertet werden kann, um die Biomagnifikation weiterer Verbindungen abzuschätzen.

Im Rahmen eines zweitägigen Online-Workshops wurde das »Nahrungsnetz auf Eis«-Projekt im März 2021 von Wissenschaftler*innen des Fraunhofer IME, des Umweltbundesamts und der Projektpartner umfassend der wissenschaftlichen Gemeinschaft vorgestellt. Ein eingeladener Hauptvortrag zur TMF-Forschung bildete die Grundlage für den wissenschaftlichen Austausch. Beispiele anderer Studien zur trophischen Magnifikation, die von Forschenden aus Italien und Frankreich vorgestellt wurden, vermittelten ein breiteres Bild. Etwa 75 Wissenschaftler*innen, die Regierungsbehörden, Forschungsinstitute und Industrieunternehmen repräsentierten, nahmen an dem Workshop teil. Die Teilnehmenden kamen aus 12 Staaten, darunter auch Kanada und die USA.

Von allen »Nahrungsnetz auf Eis«-Proben stehen Teilmengen für zukünftige Analysen zur Verfügung. Sie sind sofort verwendbar und ermöglichen bei Bedarf die Analyse zahlreicher zusätzlicher Parameter. Teilmengen der Nahrungsnetzproben wurden bereits Forschungspartnern zur Verfügung gestellt, um die mögliche trophische Magnifikation weiterer Chemikalien (z. B. chlorierte Paraffine) zu untersuchen und neue Analysemethoden anzuwenden (Verdachts- und Nichtziel-Analysen polarer Verbindungen).

Kontakt

Verena Kosfeld

verena.kosfeld@ime.fraunhofer.de



Reduktion der Gewässerbelastung durch Pflanzenschutzmittel nach Starkregen

Von Dr. Michael Klein

Fällt Starkregen auf landwirtschaftliche Flächen, führt dies im Anschluss häufig zu einem hohen Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in benachbarte Gewässer. Um diese Belastung zu reduzieren, stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung. Wir haben zunächst die grundsätzliche Wirksamkeit dieser Methoden überprüft und anschließend untersucht, ob ihre Wirkung quantifizierbar ist. Zwei Maßnahmen konnten dem Umweltbundesamt als prinzipiell geeignet empfohlen werden: Bewachsene Pufferstreifen am Ackerrand und Mikrodämme.

Nach Starkregenereignissen kommt es häufig zu Gewässerbelastungen durch Pflanzenschutzmittel

Wenn in Deutschland Pflanzenschutzmittel zum Einsatz kommen, werden von den Behörden im Zulassungsverfahren oft spezielle Minderungsmaßnahmen festgelegt, um den Eintrag dieser Stoffe in angrenzende Gewässer auf ein vertretbares Maß zu reduzieren. Hohe Einträge beobachtet man vor allem nach Starkregenereignissen. Für die Behörden ist die Reduktionsleistung einer Maßnahme (zum Beispiel eines Ackerrandstreifens) ein entscheidender Faktor im Zulassungsverfahren. Eine falsche Einschätzung der Reduktionsleistung einer Maßnahme in der Umweltrisikobewertung kann bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt führen.

Fachleute haben die besten Minderungsmaßnahmen bewertet

Eine Literaturrecherche zu Beginn der Untersuchung ergab insgesamt 42 verschiedene Reduktionsmaßnahmen. Für eine erste grobe Vorauswahl wurden diese Maßnahmen durch das Projektteam systematisch nach eingeschätzter Wirksamkeit und Praxishöhe eingestuft. Die Priorisierung führte zu drei Maßnahmen, die in den nachfolgenden Schritten weiter betrachtet wurden:

- bewachsene Filterstreifen (Talwegpuffer innerhalb und außerhalb des Feldes, Uferstreifen, Filterstreifen am Feldrand und im Feld)
- bodenkonservierende Maßnahmen im Feld (Direktsaat, Streifensaat, geringe Bodenbehandlungsintensität, Konturbearbeitung, Planung und Ausrichtung von Fahrgassen, tiefwurzelnde Zwischenkulturen, Zwischenfrucht, Mulchsaat, Streifenanbau, Untersaat)
- Anlage von Querdämmen in Dammkulturen auf dem Feld

Die Anlage von Querdämmen ist beispielhaft auf dem Foto dargestellt. Im nächsten Schritt wurden fünf anerkannte Fachleute aus Wissenschaft und landwirtschaftlicher Beratung mit verschiedenen Perspektiven auf die Thematik (wie Schadstoffdynamik, Erosionsschutz, Abfluss-Verminderung, konservierende Bodenbearbeitung, Gewässerschutz, Pflanzenschutz) ausgewählt und befragt, ob und wie die Maßnahmen genauer definiert werden müssten, um die erwünschte Wirksamkeit gewährleisten zu können.

Bewachsene Randstreifen und Mikrodämme stellen besonders geeignete Minderungsmaßnahmen dar

Anschließend wurde aus den sehr heterogenen Daten der Zusammenhang zwischen Einflussfaktoren und Reduktionsleistung der Maßnahmen mit Hilfe verschiedener multipler statistischer Verfahren analysiert. Die Auswertung zeigte, dass eine Korrelation besteht, aber eine reine statistische Analyse nur begrenzt anwendbar ist. Das bedeutet, ohne eine an den Prozessen orientierte Computersimulation ist eine quantitative Aussage nur begrenzt möglich. Es wird deutlich, dass eine Korrelation besteht, aber eine reine statistische Analyse nur begrenzt anwendbar ist. Das bedeutet, ohne eine an den Prozessen orientierte Computersimulation ist eine quantitative Aussage nur begrenzt möglich.

Die Auswertung mittels verschiedener statistischer Methoden zeigte, dass die Anlage von grasbewachsenen Filterstreifen, eine traditionelle Maßnahme, zur Risikominderung grundsätzlich sehr wirksam ist. Aber es gelingt nicht, die gemessene Reduktionseffizienz allein auf Basis von statistischen Methoden zu beschreiben. Die Ursache dafür liegt in der Komplexität und Nichtlinearität der beteiligten Prozesse. Daher ist auch ein einheitlicher Reduktionsfaktor für den Oberflächenabfluss, die Fracht des erodierten Bodenmaterials oder den Wirkstoffaustrag nicht sinnvoll.



Erstellung von Mikrodämmen im Maisanbau.

Stattdessen sollte eine mechanistische Modellierung erfolgen, die die Reduktion in Abhängigkeit der Charakteristiken des Feldes, des Regenereignisses und des Filterstreifens berechnen kann. Bei diesen Berechnungen ist die mechanistische Modellierung von Infiltration und Sedimentation entscheidend.

Aus den vorliegenden Studien ist abzuleiten, dass auch eine andere, modernere Maßnahme, nämlich die Anlage von Querdämmen auf dem Feld, sehr wirkungsvoll ist. Allerdings hängt deren Reduktion stark vom Bodenfeuchtezustand zu Beginn des Niederschlagsereignisses ab. Die Verwendung eines einheitlichen Reduktionsfaktors in der Expositionsbewertung ist daher ebenso wie bei den Filterstreifen nicht sinnvoll. Stattdessen wäre es auch hier ratsam, die Reduktionswirkung für eine bestimmte Situation mit einem Computermodell zu berechnen. Es ist zu außerdem zu beachten, dass eine fachlich korrekte Anlage der Querdämme entscheidend für ihre Wirksamkeit ist. Die Korrektheit der Querdämme sollte stichprobenartig mittels Ortsbegehung überprüft werden, da eine Kontrolle über Fernerkundung bisher nicht möglich ist.

Schließlich zeigte die Analyse der vorhandenen Arbeiten zu den anderen Maßnahmen auf dem Feld, zum Beispiel der Mulchsaat, dass es schwierig ist, die Wirkung zu quantifizieren. Allgemein gilt aber, dass von einem synergetischen Effekt ausgegangen werden kann, wenn Maßnahmen auf dem Feld mit einem grasbewachsenen Filterstreifen kombiniert werden.

Insofern wird prinzipiell eine Kombination verschiedener Risikominderungsmaßnahmen empfohlen. Allerdings sollte auch die Wirksamkeit der Kombinationsmaßnahme durch eine mechanistische Modellierung überprüft werden, anstatt konstante Reduktionsfaktoren für einzelne Maßnahmen zu verwenden.

Kontakt

Dr. Michael Klein

michael.klein@ime.fraunhofer.de



Ausgezeichnete Promotionsarbeit

Dr. Tim Lüddecke
Biochemiker und Zoologe
am Fraunhofer IME in Gießen

»
Spinnen sind die erfolgreichsten Gifttiere unseres Planeten. Ihre Toxine versprechen die Heilung gefährlicher Krankheiten und dennoch wissen wir nur wenig über sie.«



Unbekannte Giftmischer: Den Molekülen in Spinnengiften auf der Spur

Spinnen jagen vielen Menschen einen Schauer über den Rücken. Nicht jedoch Dr. Tim Lüddecke vom Institutsteil Bioressourcen des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME in Gießen. In seiner Doktorarbeit widmete er sich diesen Tieren und ihrem Waffenarsenal.

Spinnen nutzen Gifte, um ihre Beute zu überwältigen. Die evolutionär optimierten Toxine haben jedoch auch ein großes Potenzial für den Menschen, denn sie wirken aufs Nervensystem. Spinnengifte könnten daher Schlüsselkomponenten für die Entwicklung neuer Therapeutika gegen neuronale Erkrankungen darstellen. »Spinnen sind die erfolgreichsten Gifttiere unseres Planeten. Ihre Toxine versprechen die Heilung gefährlicher Krankheiten und dennoch wissen wir nur wenig über sie«, sagt Lüddecke. »Dies liegt vorwiegend daran, dass die Auswahl von Arten für Giftstudien bislang unkoordiniert verlief. Man hat sich schlichtweg auf die großen oder gefährlichen Arten fokussiert und die überwiegende Mehrheit der Spinnen ignoriert«. In seiner Doktorarbeit entwickelte Lüddecke eine Strategie, um die Artauswahl zu optimieren. »Anstatt mich auf Größe oder Toxizität als Entscheidungsgrundlage zu verlassen, habe ich einen Ansatz abgeleitet, der die Evolution als Hauptkriterium nutzt. Ich suche gezielt nach Positionen im Spinnenstammbaum, der in Sachen Gift noch unangetastet ist«. Bei der Anwendung dieser Strategie stieß er auf die Wespenspinne, deren Gift er mithilfe modernster Methoden der Systembiologie entschlüsseln konnte. Dabei offenbarte sich, dass sich auch in heimischen Gifttieren noch viel Neues finden lässt. Im Gift der Wespenspinne konnten mehrere neuartige Toxinklassen identifiziert werden. »Das Gift der Wespenspinne ist auch deswegen etwas Besonderes, weil es uns zeigt, dass nicht jedes Spinnengift wie aus dem Lehrbuch aufgebaut ist. Normalerweise sind Gifte sehr komplex und dominiert von kleinen Peptiden. Das Wespenspinnengift hingegen ist eher simpel und hochmolekular. In ihrer Evolution hat sich die Spinne dahin entwickelt, dass das Spinnennetz eine immer größere Rolle bei der Jagd übernimmt. Vermutlich hat dies zu einer starken Veränderung des Giftes geführt«.

Die Promotion wurde durch das LOEWE-Zentrum für Translationale Biodiversitätsgenomik gefördert und von Prof. Dr. Andreas Vilcinskis betreut. Für seine mit »summa cum laude« ausgezeichnete Arbeit wurde Dr. Lüddecke mit dem Dissertationspreis der Justus-Liebig-Universität Gießen ausgezeichnet.



Lüddecke, Tim
How the integration of phylogenetics and venomics resolves persistent challenges in evolutionary systemics and toxinology (2021)
Justus-Liebig-Universität Gießen



Ausgewählte Publikationen

Bewertung der Bioakkumulation von Nanomaterialien anhand von wirbellosen Süßwasserorganismen

Bitte nicht abzweigen – Gradlinigkeit zahlt sich aus

Insektenbasierte Biokonversion durch Anpassung des Darmmikrobioms

Effekte synthetischer Steroidhormone auf die Lebensleistung von Fischen

Hochdurchsatz-Plattform für die Naturstoffforschung

Biotechnologische Produktion geruchsaktiver Fetaldehyde



Wir haben gezeigt, dass Muscheln, wenn sie technisch hergestellten Nanomaterialien ausgesetzt sind, diese Partikel auf andere benthische Arten übertragen können.«

Dr. Sebastian Kühr hat seine Dissertation am Fraunhofer IME in Schmallenberg in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Christian Schlechtriem durchgeführt. Er forscht aktuell als Postdoc am NIVA in Oslo, Norwegen. Seine Dissertation wurde mit dem «Forschungspreis des Kreises Olpe 2022» für die beste Promotionsarbeit ausgezeichnet.



Süßwassermuscheln (*Corbicula fluminea*).

Bewertung der Bioakkumulation von Nanomaterialien anhand von wirbellosen Süßwasserorganismen

Das hohe Produktionsvolumen von technisch hergestellten Nanomaterialien (ENM) kann zu einer hohen Umweltbelastung führen und bedarf einer wissenschaftlichen Bewertung von ENM, die sich in Organismen bioakkumulieren und im Nahrungsnetz biomagnifizieren. Im Rahmen der Regulierung von Chemikalien in verschiedenen Rechtssystemen, wie der europäischen REACH-Verordnung, ist der Biokonzentrationsfaktor der Standardendpunkt und wird meist im Durchfluss-Test mit Fischen bestimmt. Mehrere Risikobewertungsvorschriften erlauben die Verwendung von Daten, die in Tests mit wirbellosen Tieren gewonnen wurden und einen Verzicht auf weitere Tests mit Wirbeltieren ermöglichen können. In einem ersten Schritt unserer Studien wurde die vorhandene Literatur zur Prüfung der Bioakkumulation von Nanomaterialien mit wirbellosen Süßwasserorganismen gesichtet und überprüft, um geeignete Testarten im Hinblick auf ihre Ökologie und Physiologie sowie Labortestsysteme zu finden, mit denen die Bioverfügbarkeit und -akkumulation von Nanomaterialien mit den jeweiligen Arten untersucht werden kann. Man kam zu dem Schluss, dass Amphipoden und Muscheln eindeutige Vorteile bei der Verwendung als Testorganismen aufweisen.

Anschließend wurden mehrere Laborstudien mit dem Süßwasseramphipoden *Hyaella azteca* und der Süßwassermuschel *Corbicula fluminea* mit verschiedenen Nanomaterialien (z. B. Silber- und Goldnanopartikeln) durchgeführt, die die Bioverfügbarkeit und Bioakkumulation dieser Testobjekte zeigten. In einem weiteren Laboransatz wurden dann beide Testsysteme miteinander gekoppelt, um zu untersuchen, ob die Aufnahme von Muschelkot durch benthische Wirbellose zu einer

Übertragung von Nanomaterialien in die aquatische Nahrungskette führen kann. Wir setzten Muscheln (*Corbicula* sp.) Silber- (Ag) und Gold- (Au) Nanopartikeln aus. Der Metallgehalt des Kots der Muscheln wurde mittels induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) analysiert und zeigte eine hohe Anreicherung der exponierten ENMs. Die Untersuchung der Fäkalien mittels Transmissionselektronenmikroskopie bestätigte den nanopartikulären Charakter der Metalle in den untersuchten Fäkalien. Juvenile Flohkrebse (*H. azteca*) wurden 21 Tage lang Kot ausgesetzt, der mit Ag- und Au-ENMs angereichert war. Die Übertragung der beiden Metalle aus den Fäkalien auf die Amphipoden wurde durch Gesamtmetallmessungen bestätigt. In Anbetracht der Umweltbedingungen geben die hohen Konzentrationen von ENMs in den Muschelkotproben Anlass zur Besorgnis über die potenzielle Anreicherung und Übertragung der Materialien und die damit verbundenen ökotoxikologischen Auswirkungen auf wirbellose Tiere wie benthische Amphipoden.

AE

Kuehr, S., Diehle, N., Kaegi, R., Schlechtriem, C.

Ingestion of bivalve droppings by benthic invertebrates may lead to the transfer of nanomaterials in the aquatic food chain (2021) Environmental Sciences Europe 33 (9). DOI: [10.1186/s12302-021-00473-3](https://doi.org/10.1186/s12302-021-00473-3)

Kuehr, S., Kosfeld, V., Schlechtriem, C.

Bioaccumulation assessment of nanomaterials using freshwater invertebrate species (2021) Environmental Sciences Europe, 33 (9). DOI: [10.1186/s12302-020-00442-2](https://doi.org/10.1186/s12302-020-00442-2)



Die neue Methode kann innerhalb von 20 Minuten sowohl qualitative als auch semi-quantitative Ergebnisse in Bezug auf Corona-spezifische Antikörper in Patientenblut liefern.«

Jan Pietschmann und Nadja Voepel, wissenschaftliche Mitarbeitende am Fraunhofer IME in Aachen.

Antikörper aus Patientenserum innerhalb einer Immunfiltrationssäule.



Nachweis von Corona-Antikörpern mittels magnetischer Immunoassays

Seit seinem erstmaligen Auftreten im chinesischen Wuhan im Dezember 2019 hat sich das Coronavirus-2 (SARS-CoV-2) zum Auslöser einer andauernden, globalen Pandemie, mit vielen Todesopfern entwickelt. Vor allem zu Pandemiebeginn war wenig über das Virus bekannt und die Krankheit verlief bei Patienten verschiedener Alters- und Risikogruppen unterschiedlich schwer und teilweise asymptomatisch. Als primäre Maßnahme im Kampf zur Eindämmung der Corona-Pandemie dient die Entwicklung von Impfstoffen, die das Immunsystem zur Bildung schützender Antikörper anregen sollen. In diesem Zusammenhang ist die Verfügbarkeit von Verfahren zur qualitativen sowie quantitativen Analyse des Antikörperstatus von großer Bedeutung.

Bislang können nur aufwändige Laboruntersuchungen Aufschluss über die Qualität und Stärke von Antikörperantworten im Blut von Patienten geben. Um dies dezentral und in größerem Maßstab zu ermöglichen, wurde am Fraunhofer IME ein, auf der Magnetischen Immunodetektion (MID) basierender, neuer Point-of-Care (PoC)-Assay entwickelt. Hierbei werden Antikörper aus Patientenserum innerhalb einer Immunfiltrationssäule durch Bindung an ein Coronavirus-Oberflächenmolekül angereichert und anschließend mit magnetischen

Nanopartikeln markiert. Diese lassen sich dann mittels eines speziellen Auslegegeräts quantifizieren.

Die neue Methode kann innerhalb von 20 Minuten sowohl qualitative als auch semi-quantitative Ergebnisse in Bezug auf Corona-spezifische Antikörper in Patientenblut liefern. In einer Studie mit Seren von 170 Patienten konnte für das Verfahren eine Sensitivität von 97 Prozent und eine Genauigkeit von 92 Prozent gezeigt werden.

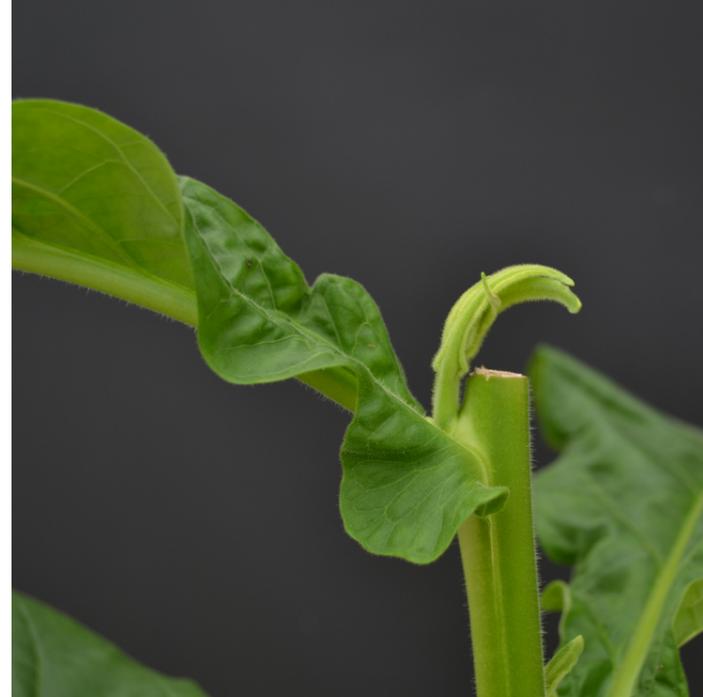


Pietschmann, J., Voepel, N., Voß, L., Rasche, S., Schubert, M., Kleines, M., Krause, H.-J., Shaw, T.M., Spiegel, H., Schroeper, F. Development of fast and portable frequency magnetic mixing-based serological SARS-CoV-2-specific antibody detection assay (2021) *Frontiers in Microbiology*. DOI: [10.3389/fmicb.2021.643275](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.643275)



Die präzise Regulation des pflanzlichen Wachstums gibt uns die Möglichkeit, Nutzpflanzen im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit in Anbau und Ernte zu optimieren.«

Dr. Lena Grundmann, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer IME in Münster.



Wachstum des axillaren Triebs in der Kontrollpflanze.



Ausbleibendes Wachstum in der modifizierten Pflanze.

Bitte nicht abzweigen – Gradlinigkeit zahlt sich aus

Beim Tabakanbau ist das sogenannte Topping – also das Entfernen des Sprossapikalmeristems – gängige, agronomische Praxis. Dadurch wird jedoch das unerwünschte Auswachsen von Trieben aus den axillaren Anlagen angeregt. Wachsen solche Geiztriebe, fließen wertvolle pflanzliche Ressourcen in deren Bildung und verringern den Ertrag und die Qualität der Blätter des Haupttriebs. Daher werden die axillaren Anlagen nach dem Topping chemisch behandelt, um deren Auswachsen zu hemmen. Diese chemische Kontrolle wird händisch durchgeführt und ist somit zeitaufwändig und teuer und die schädlichen Chemikalien können nach der Verarbeitung der Blätter die Produktqualität mindern. Pflanzen mit einem inhibierten oder verzögerten Wachstum der axillaren Triebe würden also Anbau und Ernte deutlich erleichtern sowie die Produktqualität verbessern.

Im Rahmen unserer Arbeiten identifizierten wir mittels moderner molekularbiologischer Methoden ein regulatorisches, axillar-spezifisches Element, die zielgerichtete Modifikation steigerte dessen Aktivität nach dem Topping. Basierend darauf exprimierten wir für unsere Machbarkeitsstudie ein wachstumshemmendes Gen – eine bakterielle RNAse – gewebespezifisch in den axillaren Anlagen der Tabakpflanzen. Hierdurch verzögerte sich die Anlage der axillaren Triebe vor sowie deren

Auswachsen nach dem Topping erheblich. Die Anzahl der axillaren Triebe nach dem Topping konnte auf diese Weise nicht nur im Gewächshaus, sondern auch unter natürlichen Bedingungen im Feld deutlich reduziert werden. Unsere Ergebnisse erweitern das Wissen über die Kontrolle der axillären Verzweigung bei Pflanzen um einen wichtigen Baustein und tragen zukünftig dazu bei, den Arbeitsaufwand sowie den Einsatz von Chemikalien zur Beseitigung von axillaren Trieben im Feldanbau zu verringern.



Grundmann, L., Känel, A., Muth, J., Beinecke, F., Jekat, M., Shen, Y., Kudithipudi, C., Xu, D., Yang, J., Warek, U., Strickland, J., Prüfer, D., Noll, G.A.

Tissue-specific expression of barnase in tobacco delays axillary shoot development after topping (2021), *Plant Biotechnology Journal*. DOI: [10.1111/pbi.13759](https://doi.org/10.1111/pbi.13759)



Baumwollsaatpresskuchen als potenzielles Futter für industriell gezüchtete Larven der Schwarzen Soldatenfliege vermittelt Anpassungen ihres Darmmikrobioms.«

Dr. Dorothee Tegtmeier, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer IME in Gießen.



Aufnahmen der Schwarzen Soldatenfliege (adulte Fliege (A) und Larven (B)) sowie Mikroorganismen aus dem Darm der Larven (C).

Insektenbasierte Biokonversion durch Anpassung des Darmmikrobioms

Insekten spielen als alternative Proteinquelle für die nachhaltige Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln eine zunehmend wichtige Rolle. Die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit gezüchteter Insekten hängt jedoch von der Verfügbarkeit großer Mengen an preiswertem Insektenfutter ab. Baumwollsaatpresskuchen (BPK) ist ein Nebenstrom der Baumwollproduktion, der reich an Proteinen und Lipiden ist. Dieser wird jedoch von vielen Nutztieren nicht vertragen, da er den antinutritiven und insektiziden Stoff Gossypol enthält. Unsere Ergebnisse zeigten, dass die Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) BPK gut verstoffwechseln und damit über mehrere Generationen ertragreich gezüchtet werden können. Besonders vorteilhaft für die industrielle Insektenzucht ist der verkürzte Entwicklungszyklus im Vergleich zu Kontrolllarven, die Hühnerfutter erhalten haben.

Eine Schlüsselrolle bei der Biokonversion von Rest- und Nebenströmen in hochwertige Insektenproteine spielen Mikroorganismen im Verdauungstrakt der Larven. Dieses sog. Darmmikrobiom ist sehr artenreich und anpassungsfähig und hilft bei der Verdauung und Entgiftung von verschiedenen Stoffen. Wir haben das Mikrobiom von Larven beider Diätgruppen (BPK und Hühnerfutter) mittels Amplikon-Sequenzierung analysiert, um Bakterien und Pilze zu identifizieren. Im Darm der

BPK-Diätgruppe sind *Actinomycetaceae* und *Aspergillaceae* signifikant angereichert, die beim Abbau wie z. B. Gossypol helfen können. Weiterhin haben wir potenziell probiotische Hefen und *Enterobacteriaceae*, die zum Kernmikrobiom gehören, in hoher relativer Abundanz gefunden. Aufgrund der schnellen Entwicklung der Larven und der Anpassung des Darmmikrobioms eignet sich BPK gut als preiswertes und nachhaltiges Futter für die industrielle Soldatenfliegenzucht.

BR

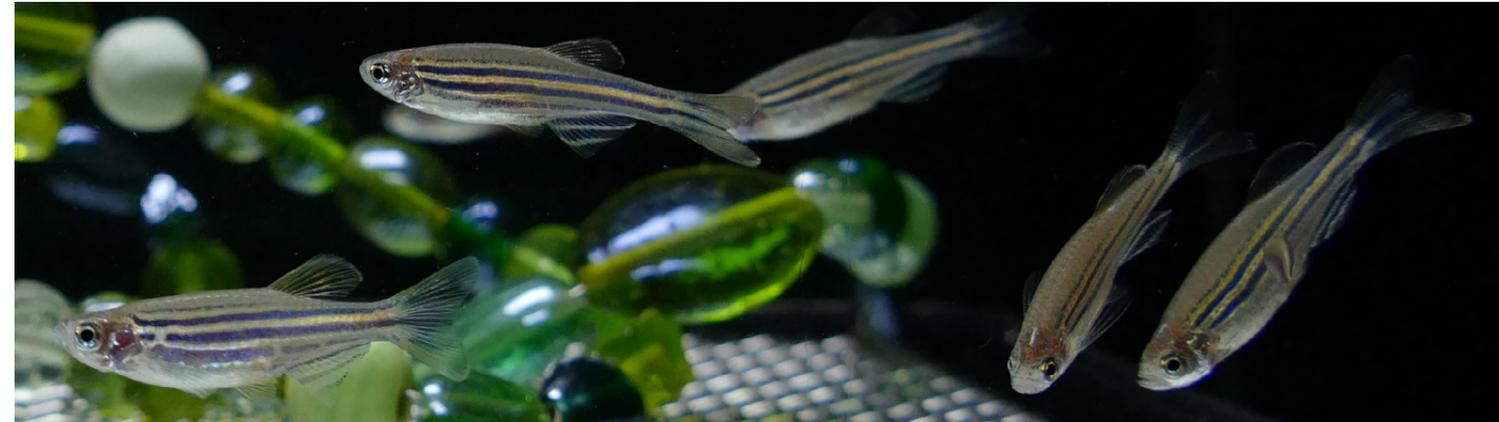
Tegtmeier, D., Hurka, S., Klüber, P., Brinkrolf, K., Heise, P., Vilcinskas, A.

Cottonseed press cake as a potential diet for industrially farmed black soldier fly larvae triggers adaptations of their bacterial and fungal gut microbiota (2021) *Frontiers in Microbiology*. DOI: [10.3389/fmicb.2021.634503](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.634503)



Die Untersuchung der hormonartigen Wirkung von Arzneimitteln im regulatorischen Kontext ist die ökotoxikologische Herausforderung der kommenden Jahre.«

Dr. Matthias Teigeler, Abteilungsleiter Ökotoxikologie am Fraunhofer IME in Schmallenberg.



Untersuchung der Fortpflanzungsleistung von Zebraabrlingen mit Hilfe von Laichschalen.

Effekte synthetischer Steroidhormone auf die Lebensleistung von Fischen

Die Menge an Arzneimitteln, die über kommunale und Krankenhausabwässer in die aquatische Umwelt gelangen, nimmt stetig zu. Der Fortschritt in der medizinischen Forschung hat zur Herstellung von Wirkstoffen mit erhöhter Stabilität, Spezifität und Wirksamkeit geführt, die bei Wasserorganismen unerwünschte Nebenwirkungen auslösen können. Darüber hinaus ermöglichen technisch fortschrittliche Analytikmethoden den Nachweis von Arzneimitteln in den verschiedenen Umweltmedien in sehr niedrigen Konzentrationen, was in der Summe die Anzahl der regulatorisch zu bewertenden Substanzen erhöht.

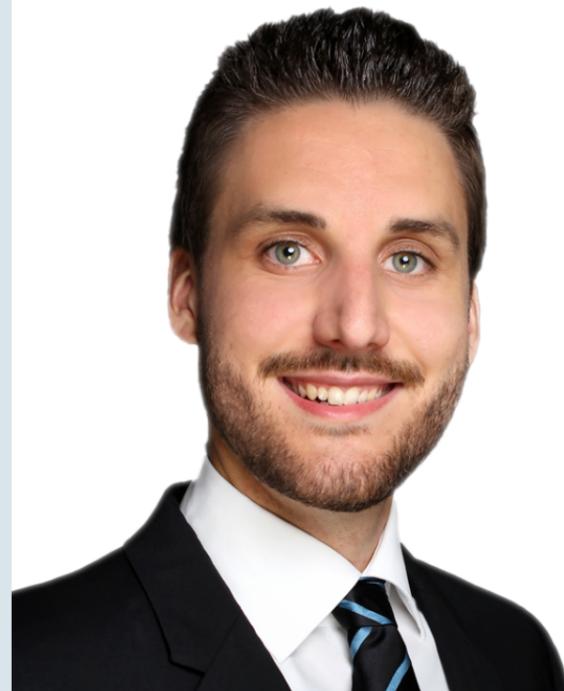
Levonorgestrel ist ein synthetisches Gestagen, das häufig in Arzneimitteln zur Empfängnisverhütung verwendet wird. Vertreter dieser Substanzklasse stehen im Verdacht, die sexuelle Ausreifung sowie die Fortpflanzungsfähigkeit von Fischen negativ zu beeinflussen. In diesem Fall werden Lebenszyklustests durchgeführt, um die entsprechenden Lebensleistungen unter exponierten Bedingungen zu erfassen.

Die Herausforderung in unserer Studie bestand darin, die sehr niedrigen Konzentrationen von Levonorgestrel von 0,05 bis 5,0 ng/L im Wasser konstant zu halten und analytisch zu verifizieren – dabei lag die Bestimmungsgrenze bei 25 pg/L. Neben der Erfassung der Lebensleistungen und einer

Biomarkeranalyse wurde die Studie durch die histopathologische Untersuchung durch das Fraunhofer ITEM bereichert. Die Resultate erfüllten schließlich die hohen Erwartungen. Erste Hinweise, dass die Substanz in diesem niedrigen Konzentrationsbereich wirkt, wurden bestätigt: die exponierten Fischgruppen zeigten eine Verschiebung der Geschlechter in Richtung der Männchen. In den Gruppen, die noch fortpflanzungsfähig waren, war die Befruchtungsfähigkeit der männlichen Tiere deutlich reduziert. Die Blutkonzentration des spezifisch männlichen Geschlechtshormons 11-keto Testosteron war signifikant niedriger. Das Testdesign erlaubt die sichere Erfassung der charakteristischen Bewertungsendpunkte und ergänzt die zugeschnittene Umweltrisikobewertung von Humanarzneimitteln.

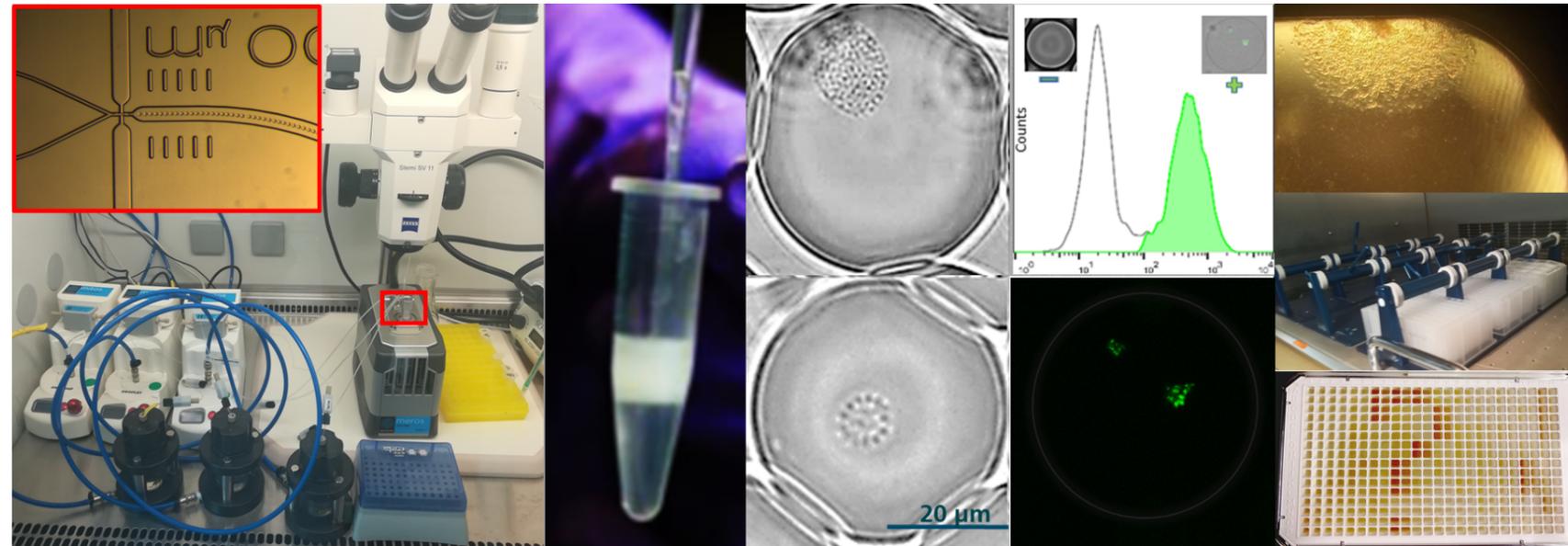
AE

Teigeler, M., Schaudien, D., Böhmer, W., Länge, R., Schäfers, C. Effects of the gestagen levonorgestrel in a life cycle test with zebrafish (*Danio rerio*) (2021) Environmental Toxicology and Chemistry, 1-12. DOI: [10.1002/etc.5008](https://doi.org/10.1002/etc.5008)



Durch kombinierte Mikrofluidik/FACS-Hochdurchsatzmethoden und analytischer Chemie erschließen wir die »microbial dark matter« für die Naturstoffforschung.»

Markus Oberpaul, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IME in Gießen.



Mikrofluidik/FACS & Bioaktivitätsscreening-Plattform zur Entdeckung neuer Naturstoffe aus Umweltbakterien.

Hochdurchsatz-Plattform für die Naturstoffforschung

Mikroorganismen repräsentieren eine wertvolle Quelle für die Entdeckung neuartiger Antibiotika. Allerdings schlummern noch viele talentierte Naturstoffproduzenten im Dornröschenschlaf – die Organismen sind bisher nicht kultiviert und ihr großes biosynthetisches Potenzial bleibt ungenutzt.

Die tief hängenden Früchte sind bereits geerntet, daher wird die Naturstoffforschung immer mehr zu einem »numbers game«. Eine Lösung dafür bietet die Miniaturisierung von Prozessen, welche einen enorm hohen Durchsatz durch massive Parallelisierung im Mikrometermaßstab ermöglicht. Fortgeschrittene Tröpfchen-Mikrofluidik-Technologie ermöglicht es sowohl biotische als auch abiotische Faktoren flexibel an die spezifischen Umwelt- & Stoffwechselbedürfnisse der Mikroorganismen anzupassen.

Wir nutzen diese Technologie, um rund 500 000 Einzelzellen pro Stunde in Agarose-verfestigte Tröpfchen ($d = 40 \mu\text{M}$) in unterschiedlichen Bedingungen zu verkapseln. Koloniewachstum wurde mittels Durchflusszytometrie detektiert und sortierte Tröpfchen in Mikrotiterplatten separiert. Es gelang uns darauffolgend insgesamt 1071 axenische Kulturen im Millilitermaßstab zu skalieren (57 Gattungen, 5 Phyla).

Die gesamte gewonnene mikrobielle Diversität wurde in unsere Plattform zur Entdeckung neuer Naturstoffe eingespeist. Priorisiert wurden interessante Kandidaten hinsichtlich chemischer Neuheiten anhand eines Abgleichs mit unserer Referenzdatenbank durch kombinierte, automatisierte sowie UHPLC-QTOF-MS/MS-geleitete Fraktionierung. Dadurch konnte wir schnell neue Naturstoffderivate mit Bioaktivitäten gegen den Erreger der Tuberkulose (*Mycobacterium tuberculosis*) und der Septoria-Blattdürre des Weizens (*Zymoseptoria tritici*) identifizieren.

Unsere Mikrofluidik/FACS Plattform ermöglicht die Isolierung, Kultivierung und Analyse axenischer Kulturen sowie eine schnelle Identifikation von neuartigen biosynthetisierten Naturstoffen.

BR

Oberpaul, M., Brinkmann, S., Marner, M., Mihajlovic, S., Leis, B., Patras, M. A., Hartwig, C., Vilcinskas, A., Hammann, P. E., Schäberle, T. F., Spohn, M., Glaeser, J.

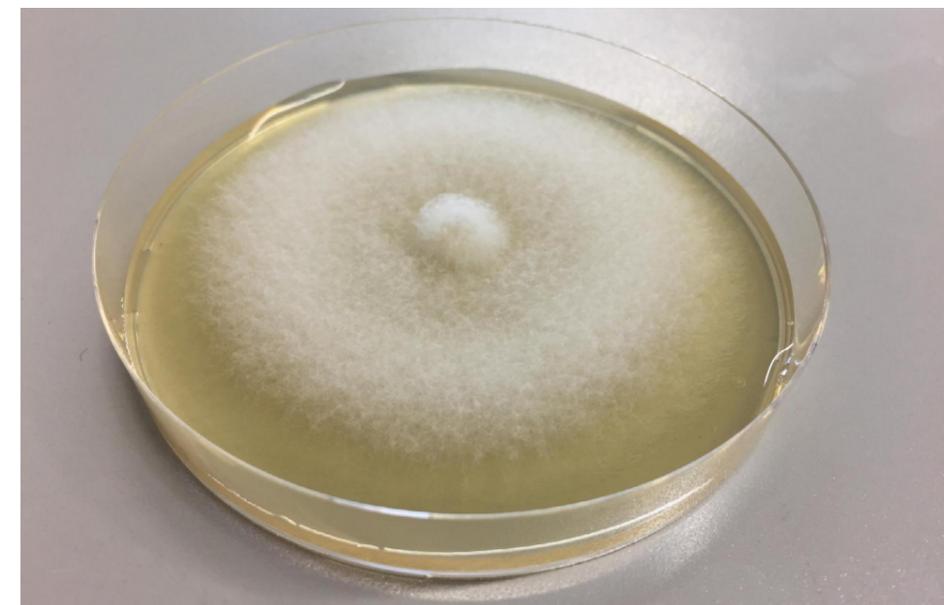
Combination of high-throughput microfluidics and FACS technologies to leverage the numbers game in natural product discovery (2021) *Microbial Biotechnology*, 15(2), 415–430. DOI: [10.1111/1751-7915.13872](https://doi.org/10.1111/1751-7915.13872)



Pilzlipide enthalten mitunter seltene Fettsäuren, die enzymatisch zu Aldehyden reduziert werden können. Dies ermöglichte uns die Charakterisierung bis dato unbekannter Aromastoffe.«

Andreas Hammer, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IME in Gießen.

Der Gemeine Samtfußbrübling bildet Dodec-11-ensäure, die als Präkursor für Dodec-11-enal genutzt werden kann.



Biotechnologische Produktion geruchsaktiver Fettaldehyde

Aldehyde spielen eine bedeutende Rolle als Aroma- und Duftstoffe, sind allerdings nicht ohne Weiteres über klassisch-chemische Ansätze zugänglich. Die industrielle Produktion ist teuer und aufwendig. Demgegenüber steht eine wachsende Verbrauchererwartung nach nachhaltig und natürlich gewonnenen Aromastoffen. Die moderne Biotechnologie bietet dafür einen vielversprechenden Lösungsansatz.

In unseren Arbeiten beschäftigen wir uns mit verschiedenen Enzymen zur Produktion natürlicher Aromastoffe. Zur Generierung von Aldehyden sind Carbonsäure-Reduktasen (CAR) besonders populär. Sie reduzieren Carbonsäuren selektiv zu den entsprechenden Aldehyden. Mithilfe einer solchen heterolog in *E. coli* exprimierten CAR aus *M. marinum* transformierten wir hydrolysierte Pilzlipide. Dies ist insofern ein interessanter Rohstoff, als dass es sich um eine nachwachsende Ressource handelt, die zum Teil äußerst selten vorkommende Fettsäuren enthält. Im vorliegenden Fall kamen Lipide des Gemeinen Samtfußbrüblings (*Flammulina velutipes*) zum Einsatz, der u. a. größere Mengen einer terminal ungesättigten Dodecensäure bildet. Die Reaktionsprodukte wurden gaschromatographisch-olfaktorisch (GC-MS-O) untersucht und das entsprechende Dodec-11-enal identifiziert.

In der Literatur finden sich kaum Hinweise auf die sensorischen Eigenschaften endständig desaturierter Aldehyde. Daher untersuchten wir diese Verbindungen bezüglich ihrer Geruchsqualitäten und -schwellen in Luft und Wasser. Dabei ließen sich für die kurzkettigen Vertreter grün-grasige Gerüche nach Gurke feststellen. Non-8-enal wies mit einem metallisch-medizinischen Geruch eine eindrucksvoll niedrige Schwelle von 0,039 ng/L Luft auf. Mit steigender Kettenlänge traten angenehme Gerüche nach Koriander mit krautig-wächsernen Nuancen in den Vordergrund.

BR

Hammer A.K., Emrich N.O., Ott J., Birk F., Fraatz M.A., Ley J.P., Geissler T., Bornscheuer U.T., Zorn H. Biotechnological production and sensory evaluation of ω 1-unsaturated aldehydes (2021) J Agric Food Chem 69,345–353. DOI: [10.1021/acs.jafc.0c06872](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c06872)



Promotions- und Abschlussarbeiten

Promotionsarbeiten

Daniel Amsel

Elucidating the potential of microRNAs - towards a functional landscape of microRNAs in the model organisms *Tribolium castaneum* and *Galleria mellonella*.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Catherine Rose Bernau

Rational and model-based design of purification processes for recombinant proteins.

RWTH Aachen University

Mona-Katharina Bill

Isolation and characterization of new antibacterial active secondary metabolites from microorganisms as potential starting points for drug discovery.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Michael Czieborowski

Bacterial biofilm formation on plastic surfaces: molecular ecophysiology and antimicrobial strategies.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Tessa Carrau Garreta

Characterization and in vivo-studies of entomopathogenic viruses for biocontrol of the invasive pest *Drosophila suzukii*.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Benjamin Gengenbach

Rational and model-based characterization of heterologous gene expression in biological systems.

RWTH Aachen University

Andreas Klaus Hammer

Biotechnologische Darstellung und analytische Charakterisierung aromaaktiver Fettaldehyde.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Nils Hiebert

Entwicklung neuer biologischer Bakterien-basierter Insektizide gegen den invasiven Schädling *Drosophila suzukii*.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Lukas Käber

Entwicklung und Intensivierung eines Bioprozesses für die Produktion eines antimikrobiellen Peptides in einer stabilen Sf - 9 Zelllinie.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Phillipp Peter Kirfel

From epigenetics to bacterial symbionts – towards sustainable targets of aphid pest management.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Yolanda Kleiner

Chemische und biologische Evaluierung neuartiger Epoxychinon-Naturstoffe und -Naturstoffhybride.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Sven Kroesen

Dependency of toxicity on time and dose in fish life-cycle tests – effects and effect thresholds of tamoxifen citrate to different life-stages of zebrafish in variable exposure scenarios.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Julia Kronenberg

Deciphering the role of phosphatidylethanolamine-binding proteins from *Nicotiana tabacum* and *Drosophila melanogaster* in human tumor cell survival and proliferation.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Sebastian Kühn

Regulatory bioaccumulation assessment of nanomaterials. Development of new concepts and testing procedures.

Universität Siegen

Tim Lüddecke

How the integration of phylogenetics and venomics resolves persistent challenges in evolutionary systematics and toxinology.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Christopher McElroy

Metabolic engineering of isoprenoids.

RWTH Aachen University

Franziska Maria Müller

Biochemical, genetic and ecological investigations on the bacterial degradation of steroid compounds.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Rabia Özbek

Proteo-transcriptomic analysis of the venom of the endoparasitoid wasp *Pimpla turionellae* and its impact on host epigenetic mechanisms.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Judith Rose

Identification and molecular characterisation of protein motifs involved in forisome assembly and function.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Matthias Teigeler

Wirkmuster hormonaktiver Substanzen im Zebraabbling (*Danio rerio*) – Neue methodische Bewertungsansätze unter Berücksichtigung unterschiedlicher Belastungsszenarien.

RWTH Aachen University

Anton Georg Windfelder

High-throughput screening of insect larvae as a replacement for mammalian models of gut inflammation.

Justus-Liebig-Universität Gießen

Tassilo Erik Wollenweber

Synergistic approaches to elucidate potential factors involved in the reproductive system of *Taraxacum koksaughyz*.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Marius Max Zimmermann

Molecular analysis of flowering time control in *Nicotiana tabacum* with special emphasis on the role of NtFT5.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Abschlussarbeiten, deren experimenteller Teil am Fraunhofer IME durchgeführt wurde:

- 36 Bachelorarbeiten
- 36 Masterarbeiten
- 1 Diplomarbeit
- 1 Staatsexamensarbeit



Im Gespräch

Mit Dr. Kerstin Hund-Rinke



Um beruflich vor eine neue Herausforderung gestellt zu werden, musste ich nie den Arbeitgeber wechseln.«

Kerstin Hund-Rinke studierte an der Universität München (LMU) Diplombiologie mit dem Schwerpunkt Mikrobiologie und promovierte an der TU München und bei der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, dem heutigen Helmholtz Zentrum, zu bodenmikrobiologischen Fragestellungen in der Ökotoxikologie. Nach ihrem Einstieg im Schmallenberger Fraunhofer-Institut 1988 als Laborleiterin für Mikrobiologie und Bodenorganismen übernahm Frau Dr. Hund-Rinke verschiedene Leitungspositionen in der Ökotoxikologie von der Gruppen- bis zur kommissarischen Abteilungsleitung. In der Phase der Entwicklung der Bodenschutzgesetzgebung hatte sie die Leitung der vorübergehend eigenständigen Abteilung Terrestrische Ökotoxikologie inne. Fachwissenschaftlich machte sich Kerstin Hund-Rinke in der Umweltrisikobewertung von Nanomaterialien international einen Namen.

Dr. Kerstin Hund-Rinke: »Immer wieder neue Herausforderungen – mein Berufsleben bei Fraunhofer«

»Seit 34 Jahren bin ich am Fraunhofer IME in Schmallenberg und es wurde nie langweilig. Um beruflich vor eine neue Herausforderung gestellt zu werden, musste ich nie den Arbeitgeber wechseln. Bei mir wechselte mehrfach das Schwerpunktthema. Angewandte Fraunhofer-Forschung bedeutet, dass man sich den aktuellen Problemen widmen muss, die sich naturgemäß wandeln. Dabei gab es jedoch einen roten Faden. Alle Themen und die erarbeiteten Antworten bauten aufeinander auf. Mit der Promotion bei der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung in Neuherberg über Methoden zur Erfassung der mikrobiellen Aktivität in Böden begann bereits das Thema, das mich meine ganze berufliche Zeit begleitet hat: Einfluss von Chemikalien auf die Lebensraumfunktion von Böden und die (Bio-)Verfügbarkeit von Schadstoffen.«

Frau Dr. Hund-Rinke, mit welchem großen Themenschwerpunkt sind Sie bei Fraunhofer gestartet?

In den 90er Jahren war die Sanierung kontaminierter Böden ein großes Thema. Es wurde bewusst, dass Substanzen wie Mineralölkohlenwasserstoffe, polyaromatische Kohlenwasserstoffe und Rüstungsaltslasten die Bodenfunktionen massiv beeinträchtigen können. Die Entwicklung von Sanierungstechniken und die Beurteilung des Sanierungserfolgs waren eine Herausforderung. Bei der Entwicklung von ökotoxikologischer Analytik zur Erfassung des bioverfügbaren Schadstoffanteils waren wir führend und prägend aktiv. Die Ergebnisse fließen in DECHEMA-Leitfäden und ISO-Normen ein, die national und international weite Verbreitung fanden. Nicht die Gesamtgehalte, sondern die bioverfügbaren Schadstoffanteile sind das Entscheidende bei der Beurteilung der Bodenfunktionen. Die gesammelten Erfahrungen ließen sich nahtlos in ein neues Umweltthema einbringen: Es drehte sich alles um den Gedanken der Kreislaufwirtschaft.

Dies mündete in das Kreislaufwirtschaftsgesetz, was hat Fraunhofer dazu beigesteuert?

Mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz stellte sich die Frage, was mit den Schadstoffen geschieht, die über die Kompostierung und die Verwendung des Kompostes wieder in den Boden gelangen. Kann beispielsweise durch die Kompostierung eine Gefahr von behandelten Orangenschalen ausgehen? Werden die Pflanzenschutzmittel abgebaut oder schaffen wir uns eine chemische Zeitbombe? Hierfür entwickelten wir eine Entsorgungssimulationsanlage, die auch patentiert wurde. In sechs Inkubationsreaktoren mit einem Volumen von jeweils zwei Kubikmetern, in denen auch radioaktiv markierte Substanzen eingesetzt werden konnten, waren wir in der Lage, wichtige Bereiche des Abfallsektors abzudecken. Die Größe war notwendig, um die Gefahr von Fehlansagen aufgrund kleiner, optimiert durchgeführter Laborexperimente zu minimieren.

Zumindest der Pilotmaßstab war gefragt. Das Besondere im Rahmen der Kompostierungsversuche war, dass der Reaktor, gesteuert von der mikrobiellen Aktivität im Zentrum, die Wandungen automatisch aufheizte, so dass die Selbsterhitzung mit der natürlichen mikrobiellen Fluktuation im großen Maßstab simuliert werden konnte. Dies sollte zu realistischen Aussagen hinsichtlich Schadstoffabbau und -festlegung führen. Neben der Kompostierung war die Deponierung der Reststoffe eine aktuelle Fragestellung. Zur Reduktion der Gasbildung in den Reststoffdeponien sollte nur noch stabiler Abfall eingelagert werden. Eine Kenngröße war der C-Gehalt. Der leicht abbaubare Kohlenstoff von organischen Resten oder von Papier ist jedoch nicht zu vergleichen mit der stabilen Fraktion anderer Abfälle. Hier wollten wir die Entwicklung von alternativen Abfallvorbehandlungen unterstützen. Es sollte vermieden werden, allen Abfall vor der Deponierung zu verbrennen, um den Schwellenwert zu unterschreiten. Kohlenstoff musste differenziert betrachtet werden. Wir konnten mit der Simulationsanlage die Vorgänge in einer Reststoffdeponie in zehn Metern Tiefe durch entsprechende Druckdeckel simulieren, sich bildendes Sickerwasser mit chemischer und ökotoxikologischer Analytik beurteilen und entstehende Gase analysieren. Die Simulation von relevanten biologischen Bodensanierungsverfahren in Kooperation mit den dahinterstehenden Firmen stellte eine weitere Fragestellung dar, die mit der Entsorgungssimulationsanlage beantwortet werden konnte. Über anschließende Lysimeteruntersuchungen im Freiland und Zeitrafferuntersuchungen in den Reaktoren mit Sommer- und Winterperioden sollten längerfristige Aussagen zur Schadstofffestlegung getroffen werden.

In den letzten Jahren waren Nanomaterialien ein großes Thema am Institut. Wie wurde diese Entwicklung gestartet?

In den frühen 2000er Jahren wurde die Phase des Abfallsektors und der Altlasten durch das neue Themenfeld Nanomaterialien abgelöst. Als ich damit begann, wurde ich selbst von einigen Kollegen belächelt. Dies erschien unsinnig, da es viele natürliche Nanopartikel gibt. Welche Gefahr sollte von künstlich hergestellten ausgehen? Es zeigte sich, dass Untersuchungen besser als Vermutungen sind. Aus den ersten Untersuchungen entstand die weltweit erste Publikation mit Ergebnissen zur ökotoxikologischen Wirkung von TiO₂-Nanopartikeln in standardisierten Testsystemen, die für regulatorische Zulassungsuntersuchungen verwendet werden.

Diese Publikation wird auch heute noch zitiert. Wieder waren wir prägend aktiv, Testsysteme zu adaptieren, die im Rahmen der Regulation eingesetzt werden, um die ökotoxikologische

Freisetzung von Silbernanopartikeln aus Klärschlamm bei der simulierten landwirtschaftlichen Nutzung.



Auswahl an Gremientätigkeiten im Laufe der Karriere von Kerstin Hund-Rinke

- Mitarbeit bei diversen Leitfäden und OECD-Richtlinien
- Gremientätigkeiten bei BMU NanoDialog, BMEL, DECHEMA, OECD WPMN
- Gutachterin für Ökotoxikologie bei der DAKKS
- Mitglied im Beirat zum Studiengang »Boden, Gewässer, Altlasten« der Universität sowie Hochschule Osnabrück
- Mitglied verschiedener Editorial Boards (z. B. »Environmental Sciences Europe«)

Wirkung von chemischen Substanzen zu charakterisieren und zu bewerten. Das gewonnene Know-how unterstützt die Behörden, aber auch die Industrie und fließt in die Adaptation von Testrichtlinien ein. Darüber hinaus nutzten wir die Modellkläranlagen nach der OECD Richtlinie 303A, um den Verbleib und die Wirkung von Ag-Nanomaterialien, die beispielsweise beim Waschen von Kleidung mit dem Abwasser freigesetzt werden, zu untersuchen. Umweltrelevant beladener Klärschlamm konnte im Labor und in Freilandlysimetern genutzt werden, um bei seinem Einsatz als Dünger die Wirkung auf Boden(mikro)organismen zu erfassen und die Verlagerung der Partikel zu untersuchen. In Kooperation mit der EAWAG (Dübendorf, Schweiz) konnten wir zeigen, dass die erwartete Sulfidierung nicht zu einer Detoxifikation der Ag-Nanomaterialien führt. Da die Möglichkeit von Laborkläranlagen nicht weit verbreitet ist, wurden Klärschlamm und Auslauf aus den Anlagen in internationalen Kooperationsprojekten an Partner für deren Studien verschickt.

Das Themenfeld erweitert sich derzeit von den klassischen mineralischen Nanomaterialien in Richtung innovativer Materialien. Die Untersuchungen habe ich als Einzelkämpferin begonnen, nun sind fast alle Abteilungen des Instituts darin involviert. Damit wird die Bearbeitung immer komplexerer Fragestellungen möglich.

Gab es noch weitere thematische Herausforderungen?

Neben diesen großen Themen waren auch Einzelfragestellungen immer ein Thema und forderten neue Lösungen. Ein Beispiel aus den letzten Jahren ist die Entwicklung eines Screening Assays im Mikrotitermaßstab zur raschen Erfassung einer potentiellen Abbaubarkeit von chemischen Substanzen. Dies erfolgte nicht nur auf Basis von mikrobiellen Reinkulturen oder daraus künstlich zusammengesetzten mikrobiellen Gemeinschaften, sondern auch unter Verwendung von Klärschlamm. Dies erhöht die Nähe zu den standardisierten Tests, die im Rahmen regulatorischer Untersuchungen gefordert sind. Eine Herausforderung war dabei die Entwicklung von Möglichkeiten zur Standardisierung des verwendeten Klärschlammes, so dass Untersuchungen über Jahre miteinander vergleichbar sind. Auch hierfür wurden Lösungsansätze gefunden.

Parallel zu diesen Fragestellungen war mir auch immer die mikrobielle Biodiversität wichtig. Hier begannen wir mit ihrer Erfassung mittels verschiedenster, auch miniaturisierter Tests zur Charakterisierung mikrobieller Funktionen und erweiterten schließlich das Untersuchungsspektrum durch molekularbiologische Untersuchungen zur strukturellen Vielfalt. Ziel sollte sein, Informationen zu Diversität und Resilienz im regulatorisch relevanten Rahmen zu ermöglichen. Diesen letzten Punkt kann ich nicht mehr abschließen. Aber die langjährige Vorarbeit hat sich gelohnt. Öffentlich geförderte Projekte werden nun angestoßen und ich kann dieses vorbereitete Themenfeld meinen Nachfolgern übergeben.

Wie können solche komplexen Fragestellungen erfolgreich bearbeitet werden?

Alle Erfolge wären ohne die Zusammenarbeit über die Abteilungsgrenzen hinaus, eine phantasievolle Werkstatt und ein tolle Mannschaft im Labor nicht möglich. Da wurden schon mal alte Schätzchen aus den Geräteschränken geholt und für einen neuen Einsatzbereich, z. T. zweckentfremdet eingesetzt. Oft war Kreativität zur Lösung der Aufgabenstellung auf allen Ebenen gefragt. Auch zahlreiche Studierende beteiligten sich im Rahmen ihrer Promotionen oder Abschlussarbeiten (Diplom, später Bachelor- oder Masterabschluss). Darüber hinaus war die Vernetzung mit anderen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen und bei Behördenvertretungen im nationalen und internationalen Rahmen unabdingbar. Dies führte mich automatisch zu verschiedensten Gremientätigkeiten, über die ich wiederum viele Dinge im regulatorischen Rahmen bewegen konnte.



Verhalten von Silbernanopartikeln in der Kläranlage und Adsorption an den Klärschlamm.

Es fiel das Stichwort Nachfolger: was ist damit gemeint?

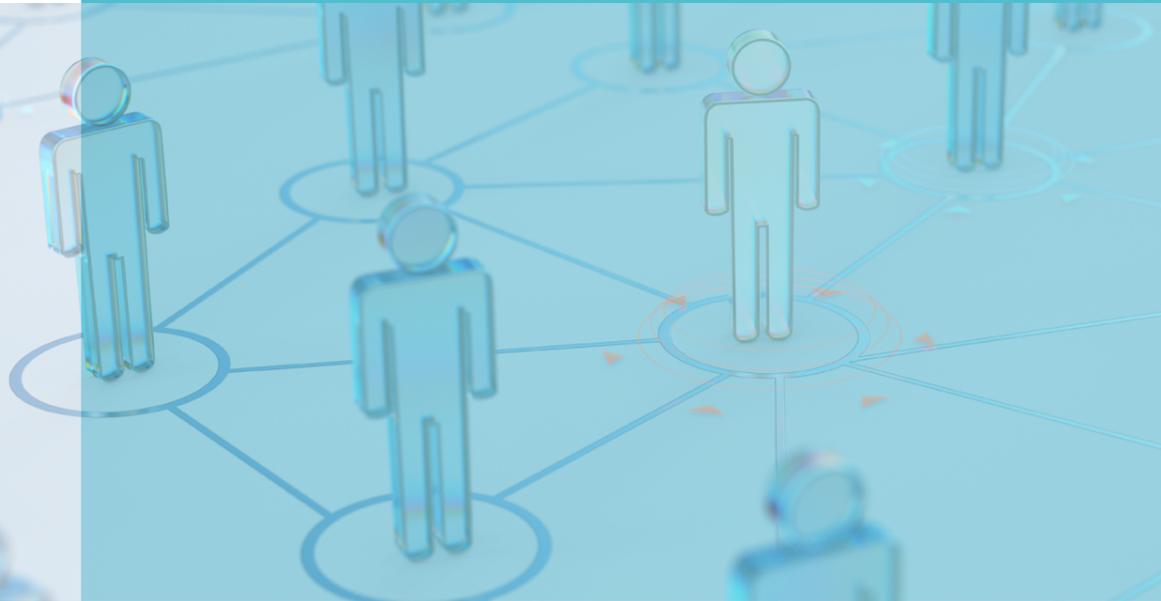
Mein Arbeitsleben bei Fraunhofer neigt sich dem Ende zu. Mit Dr. Karsten Schlich und Dr. Cecilia Diaz steht ein schlagkräftiges Team bereit, das ebenso viel Freude am Beschreiten neuer Wege hat wie ich. Karsten Schlich übernimmt das Themenfeld »Ökotoxikologische Untersuchungen von partikulären Materialien« sowie »Funktionelle mikrobielle Biodiversität« und Cecilia Diaz ist kompetent für die molekularbiologischen Fragestellungen. Unterstützt und ergänzt wird die Arbeit in Zukunft durch die Kooperation mit der Universität Münster und der neu am Institut eingerichteten Abteilung »Umweltmikrobiologie« unter der Leitung von Prof. Dr. Bodo Philipp. Auch die Möglichkeit, mit humanpathogenen Mikroorganismen unter L2-Bedingungen zu arbeiten, wird weiterbestehen. Die entsprechende Qualifikation hat Franziska Wege aufgebaut. Durch die Kooperation mit der Universität Frankfurt und der neu am Institut eingerichteten Arbeitsgruppe »Ökotoxikologische Medienbeurteilung« unter der Leitung von Prof. Dr. Henner Hollert wird auch das Themenfeld Bodenschutz und Bodenqualitätsbeurteilung fortgeführt und weiterentwickelt.

Was zeichnet die Forschungsarbeit im regulatorischen Kontext bei Fraunhofer aus?

Bei allen Untersuchungen geht es darum, Wissenschaftlichkeit mit Pragmatismus zu paaren. Detaillierte Untersuchungen helfen, Zusammenhänge zu verstehen. Im nächsten Schritt muss jedoch häufig ein pragmatischer Ansatz gefunden werden, um spezifische Fragen im regulatorischen Kontext beantworten zu können. Dabei ist immer der Kosten-Nutzen-Abgleich zu berücksichtigen. Dieser Pragmatismus erschwert bisweilen die Veröffentlichung von Ergebnissen und Schlussfolgerungen. So fällt es besonders manchen akademischen Gutachtern schwer, derartige Ansätze und das dahinterstehende vernetzte Denken nachzuvollziehen und zu akzeptieren. Die wissenschaftliche Fragmentierung in Teilfragen und dafür spezifische Zusatzuntersuchungen werden gefordert. Für ein Institut, das sich über Aufträge finanziert, ist dies nicht oder nur sehr schwer zu erfüllen. Nicht alles, was für die wissenschaftliche Erkenntnis wünschenswert wäre, ist für die regulatorische Umsetzung notwendig, hilfreich und unter vergleichenden Kosten-Nutzen-Abwägungen sinnvoll.

AE

Menschen und Ereignisse



PD Dr. Dr.-Ing. Johannes Buyel erhält den »DECHEMA-Preis« 2021

PD Dr. Dr.-Ing. Johannes Buyel hat den »DECHEMA-Preis« 2021 für seine herausragenden Leistungen im Bereich Biotechnologie und Bioverfahrenstechnologie erhalten. Die DECHEMA e.V. ist die in Deutschland führende, gemeinnützige Fachgesellschaft für chemische Technik und Biotechnologie und vertritt diese Gebiete in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Der DECHEMA-Preis wird seit 1951 jährlich an herausragende Forschungsarbeiten junger Wissenschaftler*innen, die in den genannten Fachbereichen tätig sind, vergeben.

Johannes Buyel ist seit 2014 als Forscher am Fraunhofer IME in Aachen tätig, zunächst als Gruppenleiter und seit 2015 als Leiter der Abteilung Bioprozessentwicklung. Nach zwei Promotionen an unterschiedlichen

Hochschulen in verschiedenen Disziplinen, schloss er 2020 erfolgreich seine Habilitation an der RWTH Aachen University ab. Hauptaugenmerk seiner wissenschaftlichen Arbeit gilt der Forschung zu pflanzlichen Expressionsplattformen zur Herstellung transgener Proteine z. B. als Biopharmaka. Seine vielfältigen Forschungsaktivitäten in den Bereichen Proteinproduktion, Proteinreinigung, Bioprozessmodellierung/-optimierung sowie Prozessintegration zeigen vor allem hinsichtlich einer nachhaltigen Bioökonomie vielversprechende Entwicklungsperspektiven.

MB



Förderurkunde von Bundesministerin Klöckner für den Pflanzenschutz

Am 20. April 2021 überreichte die Bundesministerin für Ernährung und Landwirtschaft, Julia Klöckner, die ersten Zuwendungsbescheide für das Verbundvorhaben HOPE- »Entwicklung holistischer Formulierungsverfahren für den biologischen Pflanzenschutz von Beerenobst« mit einer Gesamtförderung von rund 843 000 Euro.

Gegenstand des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung von Formulierungen für den biologischen Pflanzenschutz von Heidelbeeren mit dem Ziel, eine effektive Sprühapplikation auf der Basis einer neuartigen Virusformulierung gegen die Kirschessigfliege zu entwickeln. Zudem sollen Käferlarven, welche die Pflanzenwurzeln schädigen, durch eine attraktiv wirkende Formulierung auf der Basis eines Granulates oder einer Kapsel gezielt angelockt und durch einen darin formulierten

spezifischen insektenpathogenen Pilz abgetötet werden.

Dr. Kwang-Zin Lee, Abteilungsleiter der Schad- und Vektor Insektenkontrolle am Institutsteil Bioressourcen, nahm im Rahmen eines virtuellen Treffens die Förderurkunde von rund 250 000 Euro für das Fraunhofer IME entgegen. »Insektenschädlinge sind für bis zu 30 Prozent des weltweiten Ernteverlusts verantwortlich.«, erklärt Dr. Lee »Unsere Mission ist es, innovative und nachhaltige Strategien zu entwickeln, um langfristig von chemischen Pflanzenschutzmitteln unabhängig zu werden«.

BR



Projekt »BioCOntersion« zur Verwertung von Stahlwerksgasen abgeschlossen

Nach dreieinhalb Jahren intensiver Forschung der verschiedenen Partner wurde das BioCOntersion Projekt im Oktober 2021 erfolgreich abgeschlossen. Ziel des Projektes war die Herstellung einer Kunststoffvorstufe für Covestro aus Stahlwerksgasen von thyssenkrupp Steel Europe durch biokatalytische und verfahrenstechnische Schritte. Aufgabe der Abteilung Industrielle Biotechnologie des Fraunhofer IME im Projektverbund war die Verwertung des CO₂-haltigen Synthesegases mit acetogenen Clostridien. Diese Bakterien sind in der Lage, Gas als Wachstums substrat zu nutzen und daraus industriell relevante Chemikalien wie z. B. das flexibel einsetzbare Zwischenprodukt Hexanol herzustellen. Zu diesem Zwecke wurden die Bakterien charakterisiert und die Kultivierung in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern der AVT.BioVT Aachen und

Fraunhofer UMSICHT optimiert. So konnte die Hexanolproduktion im Vergleich zum Stand der Forschung vor Projektstart verdoppelt bis verdreifacht werden. Die im Rahmen einer Promotionsarbeit erzielten Daten wurden bei internationalen Konferenzen vorgestellt und in einem Fachjournal publiziert ([DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07732](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07732)).

MB



Gießener Tiergiftforscher erhält Dissertationspreis der Justus-Liebig-Universität

Im Rahmen des Akademischen Festakts der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU) werden jährlich Preise und Auszeichnungen für exzellente Nachwuchswissenschaftler verliehen. Einer der diesjährigen Preisträger ist Dr. Tim Lüddecke, Tiergiftforscher des Institutsteils Bioressourcen des Fraunhofer IME in Gießen. Für seine Doktorarbeit zum Thema »Evolution von Spinnen und Biochemie von Spinnengift« erhielt er den Dissertationspreis der JLU.

Evolution der Spinnen und der Zusammensetzung ihrer Gifte. Unter anderem gelang es Dr. Tim Lüddecke während dieser etwa dreijährigen Forschungsphase erstmalig den Giftcocktail der Wespenspinne entschlüsseln.

BR



Im September 2018 begann Dr. Lüddecke seine Promotion über Spinnengifte unter der Betreuung von Institutsteilleiter Prof. Andreas Vilcinskas und schloss diese in weniger als drei Jahren ab. In dieser Zeit war er Teil des LOEWE-Zentrums für Translationale Biodiversitätsgenomik und dort dem Projekt »Animal Venomics« zugeordnet. Die von ihm angefertigte Doktorarbeit leistet wichtige Beiträge zur

BioökonomieREVIER Rheinland: »Innovationslabore« gehen in die Verlängerung

Das Bundesforschungsministerium BMBF fördert den Strukturwandel im Rheinischen Revier weg von der Braunkohle hin zu einer nachhaltigen Bioökonomie. Ein wichtiges Element der Modellregion Bioökonomie-REVIER Rheinland sind die Innovationslabore. Deren Forschungsansätze weisen sehr gute wirtschaftliche Umsetzungsmöglichkeiten auf und sollen so den schnellen Transfer neuer Verfahren von der Wissenschaft in die Wirtschaft ermöglichen. Ein Team um Prof. Dirk Prüfer und Dr. Lena Grundmann vom Fraunhofer IME verstärkten das Konsortium bereits im Innovationslabor »AZUR«. Pünktlich zum Ablauf der zweijährigen Startphase werden ab Januar 2022 sechs Labore im Cluster »Innovative Landwirtschaft« bis zu fünf Jahre weiter gefördert.

In »Circular PhytoRevier« widmen sich Fraunhofer IME Wissenschaftler*innen im bewährten Konsortium mit Fraunhofer UMSICHT und Forschungszentrum Jülich IGB-2 der zukunftsfähigen Erzeugung von hochqualitativen Heil- und Medizinalpflanzen. Aufbauend auf den Erfolgen von »AZUR« fokussieren sie Aufbau und Verstetigung einer wirtschaftlich-tragfähigen Prozesskette, die von der Züchtung ertragsoptimierter Pflanzen über die Entwicklung neuer, schlagkräftiger Anbau- und Erntetechnologien bis hin zur effizienten Extraktion und Bereitstellung der Wirkstoffe aus der Rohware reicht.

MB



»Monitoring Chancengleichheit« auf der Agenda des Fraunhofer IME

Schon seit 2013 hat die Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) das Thema Chancengerechtigkeit auf der Agenda. Dabei stehen die vier Themen Chancengleichheit, Vereinbarkeit, Inklusion und Internationale Personalarbeit im Fokus, denn »Niemand darf wegen seines Geschlechtes, seiner Abstammung, seiner Rasse, seiner Sprache, seiner Heimat und Herkunft, seines Glaubens, seiner religiösen oder politischen Anschauungen benachteiligt oder bevorzugt werden. Niemand darf wegen seiner Behinderung benachteiligt werden« (Art 3 GG).

Die FhG hat 2020 die gesteckten Zielzahlen nicht erreicht, weshalb im vergangenen Jahr das »Monitoring Chancengleichheit« zur Chefsache erklärt wurde, da Diversität zu vielfältigen Perspektiven, mehr Innovationsstärke und höherer Teamintelligenz führt. Das

Fraunhofer IME beteiligt sich gemeinsam an allen Standorten an dem Prozess, um durch mehr Chancengerechtigkeit einen Mehrwert für das Institut zu generieren. Im Mittelpunkt steht dabei die Anpassung des Recruiting-Prozesses, um hoch qualifizierte Wissenschaftler*innen zu gewinnen. Ein Team bestehend aus Betriebsrat, Personalverantwortlichen, BfCs und Institutsleitung, angeleitet von der Mandatsträgerin Dr. Elke Eilebrecht, treibt dieses Vorhaben voran, um auch am Fraunhofer IME die neuen Zielzahlen für 2025 zu erreichen.

AE



Kooperationsprojekt »BISYKA« ausgezeichnet

Am 29. März 2021 gab Staatssekretär Dr. Jürgen Ude in Vertretung des Wissenschaftsministers Prof. Dr. Armin Willingmann die Erstplatzierten des Hugo-Junkers-Preis 2020 live in einer virtuellen Preisverleihung bekannt. Für die Entwicklung eines biomimetischen Synthesekautschuks erhielt Prof. Dr. Mario Beiner stellvertretend für ein Team aus Wissenschaftler*innen des Fraunhofer IWMS, PAZ und IME den ersten Preis in der Kategorie »Innovativste Projekte der angewandten Forschung«.

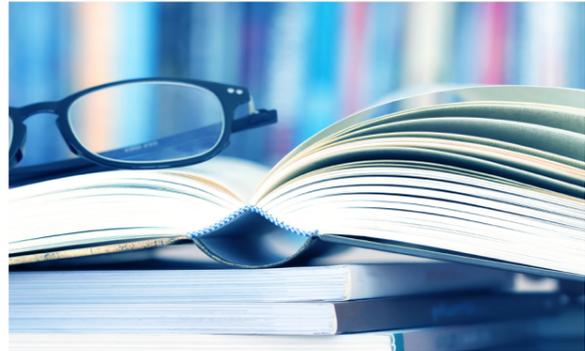
Im Forschungsprojekt »Biomimetischer Synthesekautschuk – BISYKA« sollte den Geheimnissen des Naturkautschuks auf die Spur gekommen werden. Denn obwohl Synthesekautschuk seit Beginn des 20. Jahrhunderts produziert wird, können sich seine mechanischen Eigenschaften noch nicht mit den einzigartigen Charakteristika des Naturkautschuks messen. »BISYKA« stellte sich den Zielen diese zu erforschen, auf Synthesekautschuk zu übertragen und aus dem neu entwickelten biomimetischen Synthesekautschuk Reifen herzustellen.

Eine Kernkompetenz des Fraunhofer IME in Münster ist die Erforschung der Naturkautschukbiosynthese im Russischen Löwenzahn. Aufbauend darauf gelang es nun erstmalig, Naturkautschuk nicht nur in seiner Entstehung und Zusammensetzung detailliert zu charakterisieren und die Zusammenhänge zwischen den Einzelkomponenten und den einzigartigen mechanischen Eigenschaften aufzuschlüsseln, sondern auch die eigenschaftsbestimmenden, biologischen Komponenten auf Synthesekautschuk gezielt zu übertragen. Gemeinsam mit den Partnern ist es gelungen, erste Testreifen mit dem neuen biomimetischen Synthesekautschuk zu produzieren, die in validierten Leistungsprüfungen rund 30 Prozent weniger Abrieb aufwiesen. Die Verwendung von »BISYKA« Kautschuk bei der Reihenfertigung könnte zukünftig einen wertvollen Beitrag zur Minimierung des Mikroplastikeintrags in die Umwelt leisten.

MB



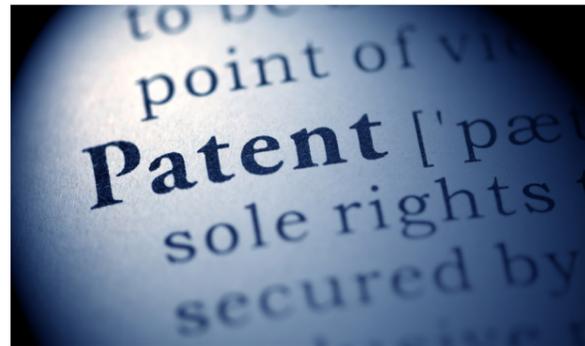
Fakten 2021



Wissenschaftliche Publikationen

Eine Übersicht aller wissenschaftlichen Publikationen aus dem Jahr 2021 finden Sie hier:

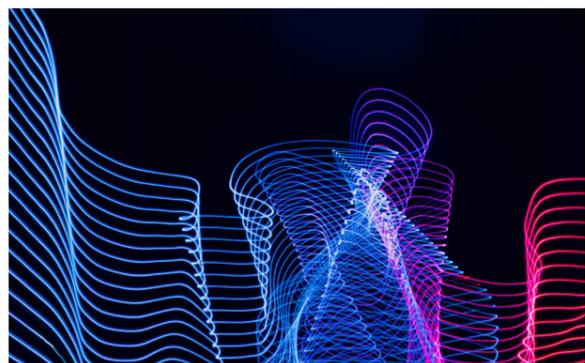
https://www.ime.fraunhofer.de/de/Mediathek/wissenschaftliche_Publikationen.html



Patente

Eine Übersicht aller erteilten Patente aus dem Jahr 2021 finden Sie hier:

https://www.ime.fraunhofer.de/de/ueber_das_institut/netzwerke/patente.html



Netzwerke in Wissenschaft und Industrie

Eine Übersicht aller Kooperationen, Aktivitäten, Mitgliedschaften und Ausschüsse in Wissenschaft und Industrie finden Sie hier:

https://www.ime.fraunhofer.de/de/ueber_das_institut/netzwerke.html

Impressum

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME
Frank Treppe
Prof. Dr. Christoph Schäfers
Prof. Dr. Stefan Schillberg

Forckenbeckstraße 6
52074 Aachen

Redaktion und Lektorat

Sascha Falkner (Leitung), Julia Karbon, Dr. Birgit Orthen, Désirée Schulz, Dorothea Weist

Redaktionelle Mitarbeit

Dr. Daniel Bakonyi, Ann-Katrin Beuel, David Jos Cox, Dr. Sebastian Eilebrecht, Dr. Lena Grundmann, Andreas Hammer, Dr. Christoph Hellmann, Dr. Kerstin Hund-Rinke, Dr. Michael Klein, Verena Kosfeld, Patrick Kottenhahn, Dr. Sebastian Kühn, Dr. Boje Müller, Markus Oberpaul, Julia Pfaff, Dr. Gabriele Philipps, Hannes Reinwald, Dr. Heinz Rüdell, Prof. Dr. Christian Schlechtriem, Dr. Christian Schulze Gronover, Dr. Dorothee Tegtmeier, Dr. Matthias Teigeler, Kateřina Vočadlová, Marius Wenning

Layout und Konzept

Sascha Falkner

Bildquellen

© Copyright Jahresbericht 2021
Cover: Adobe Stock | Georgy Dzyura
11 l. Fraunhofer IME | Sebastian de Vries
11 M. Fraunhofer IME | Simon Vogel
11 r. Fraunhofer IME | Stefan Rasche
13 l. Fraunhofer IME | Eileen Knorr
13 r. Fraunhofer IME
15 l. Fraunhofer IME | Frank Peinemann (Studio 95)
15 M. Fraunhofer IME | Mark Bücking
15 r. iStock | itthinksy
23 Deutscher Zukunftspreis
24 Fraunhofer IME | Birgit Orthen
26 Deutscher Zukunftspreis
27 Continental
28 Adobe Stock
30 + 31 Fraunhofer IME | Ann-Katrin Beuel
32 + 33 Fraunhofer IME | Daniel Bakonyi

34 Fraunhofer IME | Jos Cox
35 Fraunhofer IME | Boje Müller
36 Fraunhofer IME | Sebastian Eilebrecht
37 Fraunhofer IME | Studio 95 | Frank Peinemann
39 O. + u. Fraunhofer IME | Katerina Vocadlová
40 + 41 Fraunhofer IME | Marius Wenning
43 Fraunhofer IME | Christoph Hellmann
45 Fraunhofer IME | Heinz Rüdell
47 Fraunhofer IME | Dirk Baets
50 Unsplash | Tamara Gak
53 Fraunhofer IME
55 Fraunhofer IME | Sascha Falkner
57 Fraunhofer IME | Lena Grundmann
59 Fraunhofer IME | Dorothee Tegtmeier
61 Fraunhofer IME | Kamil Tajer
63 Fraunhofer IME | Markus Oberpaul
65 Fraunhofer IME | Andreas Hammer
66 Unsplash | Vasily Koloda
69 Adobe Stock
71 Fraunhofer IME
73 Fraunhofer IME | Studio 95 | Frank Peinemann
74 Shutterstock | Connect world
75 Fraunhofer IME
76 o. Fraunhofer IME
76 u. Fraunhofer IME | Désirée Schulz
77 o. Shutterstock | Kateryna Kon
77 u. Fraunhofer | FCM
78 o. CLIB - Cluster Industrial Biotechnology | Markus Müller
78 u. Fraunhofer IME | Désirée Schulz
79 o. Fraunhofer IME | Lena Grundmann
79 u. Adobe Stock | fizkes
80 Fraunhofer IAP | Till Budde
82 O. + M. + u. AdobeStock

Fraunhofer IME

Bereich Molekulare Biotechnologie

Forckenbeckstr. 6
52074 Aachen
Telefon +49 241 6085-0

Fraunhofer IME

Außenstelle Pflanzliche Biopolymere

Schlossplatz 8
48143 Münster
Telefon +49 251 8322-323

Fraunhofer IME

Institutsteil Bioressourcen

Ohlebergsweg 12
35392 Gießen
Telefon +49 641 97219-0

Fraunhofer IME

Bereich Angewandte Oekologie

Auf dem Aberg 1
57392 Schmallenberg
Telefon +49 2972 302-0

www.ime.fraunhofer.de



[instagram.com/fraunhofer.ime](https://www.instagram.com/fraunhofer.ime)



[linkedin.com/company/fraunhofer-ime](https://www.linkedin.com/company/fraunhofer-ime)