



# Fraunhofer

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

**Souveränität  
aus dem All**  
200 Satelliten für  
mehr Sicherheit



## Kunststoff kommt von Können

Von der Umweltsünde  
zum Zukunftsmaterial

Dr. Benedikt Hauer, Fraunhofer IPM

**Risiko  
Moskito**

Neue Lösungen im  
Kampf gegen Mücken



**»Wir brauchen noch  
mehr Forschung!«**  
Bundesumweltministerin  
Steffi Lemke im Interview



# 6. Fraunhofer Alumni Summit 2023

---

»metaverse«

17. November 2023, Darmstadt



**exklusive Besichtigung  
European Space Agency ESA**

[www.fraunhofer-alumni-summit.de](http://www.fraunhofer-alumni-summit.de)

## Editorial

# Exzellenz und Vielfalt sind unsere DNA

Von Prof. Holger Hanselka

Kunststoffe sind großartig. Sie haben ein bemerkenswertes Masse-Leistungs-Verhältnis, ermöglichen hocheffiziente Prozesse. Dank der stofflichen Vielfalt und der schier grenzenlosen Möglichkeiten hat der Werkstoff – formbar, leicht, langlebig – seit Mitte des 20. Jahrhunderts seinen Siegeszug angetreten. Und er hat damit ein globales Umweltproblem geschaffen. Fünf Milliarden Tonnen Plastik-Müll sind die Kehrseite des Plastik-Booms. Ist Kunststoff also verdammenswert? In vielen öffentlichen Diskussionen neigt unsere Gesellschaft aktuell zur Hysterie. Wir verstehen nicht, wir wägen nicht ab, wir verurteilen. Das ist der Punkt, an dem Wissenschaft und Rationalität in einem ganz besonderen Maß gefordert sind. Die Suche nach dem »guten Kunststoff« ist Titelthema dieses Fraunhofer-Magazins. Als »Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten« stellt es Forscherinnen und Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft vor, die mit Leidenschaft und Exzellenz daran arbeiten, die positiven Eigenschaften des Kunststoffs nachhaltig vertretbar zu transformieren.

**Die Lösung?** Es wird, es kann wie so oft bei komplexen Anforderungen nicht die eine, einzige Lösung geben. Unsere Forscherteams entwickeln sehr verschiedene Lösungsansätze mit biobasierten Materialien etwa für faserverstärkte Kunststoffe und energieeffizienten, möglichst verlustfreien Kreisläufen. Technologieoffenheit ist da eine Selbstverständlichkeit – für Fraunhofer, aber auch für ein Hochtechnologieland, ein Wissenschaftsland wie Deutschland. Es freut mich, dass sich auch Bundesumweltministerin Steffi Lemke im Interview mit diesem Fraunhofer-Magazin für Technologie-Offenheit ausspricht. »Wohlverstanden«, so formuliert sie es, würde dieser Begriff dazu führen, dass sich diejenige Technologie durchsetzt, die Ziele erreicht und dabei am wirtschaftlichsten ist. »Ohne die unabhängige Forschung und Forschungseinrichtungen wie die Fraunhofer-Gesellschaft«, sagt Steffi Lemke im Interview, »wäre eine wissens- und faktenbasierte Politik gar nicht möglich.« Und auf die Frage, wie Lösungsansätze der Wissenschaft schneller in die Umsetzung kommen, gibt die Bundesumweltministerin eine klare Antwort: »Zum Beispiel durch das direkte Gespräch.«



Prof. Holger Hanselka

**Als neuer Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft** stehe ich dafür natürlich gerne und jederzeit zur Verfügung. Es ist die Aufgabe der Politik, Ziele zu definieren. Es ist auch Aufgabe der Politik, der Forschung den Rahmen zu ermöglichen, um Lösungsansätze für diese Ziele zu finden. Es sollte und es darf nicht Aufgabe der Politik sein, die Wege zu den Zielen bis ins Detail festlegen zu wollen. Scheuklappen für die Forschenden können niemandem nützen. Wir benötigen keine Flaschenhälse, die einschränken. Wir sollten die Trichter umkehren, um das Denken, die Forschung, die Suche nach Lösungen in alle Richtungen zu verbreitern.

Es ist Deutschland immer gelungen, großartige Ideen zu entwickeln. Darauf kann dieses Land stolz sein. Darauf kann auch unsere Fraunhofer-Gesellschaft stolz sein, die seit bald 75 Jahren mit inzwischen 30 800 Mitarbeitenden in 76 Instituten und Forschungseinrichtungen zuverlässig ihre Beiträge liefert. Vielfalt ist unsere DNA. Mit ihr und in ihr schaffen wir neue Chancen für Deutschland und Europa. Lassen Sie uns gemeinsam dafür arbeiten.

Ihr

Prof. Holger Hanselka  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

## Inhalt



### 10 Titel Kunststoff kann mehr

Fraunhofer-Forschende wie Dr. Cornelia Stramm, Fraunhofer IVV, arbeiten daran, Plastik nachhaltiger zu machen.



### 28 »Wir brauchen noch mehr Forschung!«

Bundesumweltministerin Steffi Lemke plädiert für echte Technologieoffenheit – inklusive Realitätscheck.

03 Editorial

06 Kurz gemeldet, Impressum

10 **Besser mit Kunststoff**  
Biobasiert, biologisch abbaubar, besser wiederverwendbar: Die Neuentdeckung eines alten Werkstoffs

24 **Kunststoff in Zahlen**  
Der weltweite Plastik-Boom – Fluch und Segen zugleich

26 **3 x 3 Fragen**  
Fraunhofer-Forschende über ihre Begeisterung für Kunststoff

28 **»Die Stadt der Zukunft sollte eine Schwammstadt sein«**  
Im Interview: Bundesumweltministerin Steffi Lemke



### 38 Sicherheit Souverän im Space

Den Datenaustausch zwischen Satelliten optimieren: Hierfür sind neue Ansätze und Technologien gefragt (Foto: Rainer Wansch, Fraunhofer IIS).

38 **Völlig losgelöst?**  
Bis 2027 soll eine Konstellation aus bis zu 200 Satelliten die europäische Unabhängigkeit im All und damit auch auf der Erde garantieren

44 **Messen in der Unendlichkeit**  
Das vom Fraunhofer IOF mitentwickelte Hochleistungsteleskop GALA reist aktuell Richtung Jupiter

80 **Zusammenarbeit in der NATO**  
Wenn internationale Streitkräfte kooperieren, muss auch der Datenaustausch reibungslos funktionieren

84 **Der Weg zum Notgroschen**  
Was sichert im Katastrophenfall die Bargeldversorgung? Ein Algorithmus soll helfen

**32 Neue Wege zum Lithium**

Mit Tiefengeothermie lässt sich grüne Wärme erzeugen – und Lithium für Akkus gewinnen

**35 Staffellauf des Wissens, Folge 9**

Wann können Biokunststoffe Kunststoffe aus Erdöl vollständig ersetzen, Herr Prof. Manfred Renner?

**52 Stimme aus der Wirtschaft**

Martin Daum, CEO Daimler Truck AG

**54 Gefährlicher Gast**

Mücken bringen durch den Klimawandel immer häufiger tropische Viren nach Deutschland. Die Forschung rüstet jetzt auf

**56 Gezielt ausschalten**

Eine neue Technologie soll Virenüberträger frühzeitig erkennen und ökologisch verträglich beseitigen

**58 Von der Invention zur Innovation**

Deutschlands Gesundheitswende kann langfristig nur durch kostenintelligente Lösungen aus der Forschung gelingen

## 86 Kaffee von morgen

Das Lieblingsgetränk der Deutschen könnte künftig etwas anders schmecken, glaubt die Forschung.



## 62 Preisträger

Hoch hinaus mit neuer Satellitentechnologie wollen Dr. Matthias Beier von SPACEOPTIX GmbH und Dr. Henrik von Lukowicz vom Fraunhofer IOF (r.).

**61 Plagiat oder Original?**

Wie Konsumenten per Smartphone Produktfälschungen entlarven können

**62 Forschungspreise**

Ausgezeichnete Ideen für morgen: Fraunhofer-Mitarbeitende überzeugen mit wissenschaftlichen Leistungen

**70 Auf der Sonnenseite**

Die Energiewende erfordert eine smarte Verknüpfung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität – auch im Wohnquartier

**74 Das neue Bodengold**

Wie kann Pflanzenkohle dabei helfen, klimabedingte Ernteausfälle künftig zu reduzieren?

**76 Manipulation erfolgreich bekämpfen**

Wahrheit oder Fake? Mit einem innovativen Analysetool Propagandakampagnen sicher entlarven

**78 Fraunhofer international**

## 80 Interoperabilität als Erfolgs- voraussetzung

Bei internationalen Militärübungen stößt die Kommunikation schnell an Grenzen. Verbindliche Standards sollen das verhindern.

**82 Foto & Fraunhofer**

Paludikulturen im Fokus der Forschenden: Moore können nur zum Klimaretter werden, wenn die Landwirtschaft mitzieht

**86 Eine Tasse Hoffnung**

Auf der Suche nach Kaffeepflanzen, die dem Klimawandel trotzen

**87 Fraunhofer vor Ort**

**6718 Satelliten sind aktuell** laut UCS Satellite Database im Orbit unterwegs. Gut 50 Prozent davon gehören zum Netzwerk Starlink von SpaceX. Das US-amerikanische Privatunternehmen betreibt damit die größte Satellitenflotte im All. Mehr Unabhängigkeit von Elon Musk strebt Europa in seiner Kommunikation an – und Fraunhofer liefert dazu Lösungsansätze (ab S. 38).

# 50%

## Kurz gemeldet

Persönliche Daten besser schützen: Fraunhofer-Forschende sichern Ausweise vor Angriffen mit Quantencomputern.



## Ausgewiesen quantensicher

Fälschungssichere Ausweise selbst in Zeiten von Quantencomputern sind das Ziel des Projekts Po-QuID. Auf einem elektronischen Chip in deutschen EU-Reisepässen und Personalausweisen werden nicht nur Name, Größe und Augenfarbe des Inhabers gespeichert, sondern auch das Foto sowie zwei Fingerabdrücke. Der Chip soll das Dokument fälschungssicher machen.

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC hat in dem Projekt zusammen mit der Bundesdruckerei und dem Halbleiter-Spezialisten Infineon Krypto-Protokolle entwickelt, die selbst Quantencomputer-Angriffen standhalten. »Wir haben das für Reisepässe geltende kryptografische Standard-Protokoll »Extended Access Control« so angepasst und weiterentwickelt, dass es quantenresistent ist und auch mit den beschränkten Ressourcen des Sicherheitschips performant läuft«, sagt Prof. Marian Margraf, Abteilungsleiter »Secure Systems Engineering« am Fraunhofer AISEC. Die Protokolle seien sowohl für die elektronische Grenzkontrolle geeignet als auch für die Online-Ausweisfunktion.

In Sachen Markteinführung mahnt Margraf nun Tempo an: Erste leistungsfähige Quantencomputer werden ab 2030 erwartet. Doch allein der internationale Standardisierungsprozess dauere mindestens fünf Jahre – und zuvor ausgegebene Ausweise können bis zu zehn Jahre gültig sein. ■

## Digitale Unterstützung für die Skoliose-Therapie

Ein digital assistiertes Skoliose-Therapiesystem haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU zusammen mit Partnern entwickelt. iScolio gewährleistet ein umfassendes Patienten-Monitoring, Echtzeitfeedback und Langzeitkontrolle über den Therapieerfolg. Visuelle Rückmeldungen in der iScolio-App geben Patientinnen und Patienten die Sicherheit, therapeutische Übungen zu Hause korrekt ausgeführt zu haben. Zusätzlich steigern ein digitales Nutzerprofil und Gamification-Elemente die Motivation. Bei ihren Übungen tragen Patientinnen und Patienten eine mit Sensoren bestückte

Weste. Die Sensoren übernehmen das Tracking der Bewegungen und überwachen die Atmung, ein Kamerasystem ist nicht erforderlich. Zusätzliche Module ermöglichen es unter anderem, die eingesetzte Kraft beim Ausführen der Übungen zu überwachen. Zudem bietet die Messung des Center of Pressure (COP) einen diagnostischen Anhaltspunkt für den Verlauf der Therapie.

Die Skoliose, eine strukturelle dreidimensionale Deformität, ist die häufigste Wirbelsäulenerkrankung bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. Sie wird mit einer täglichen Bewegungstherapie, bei schwereren Fällen auch mit einem Korsett behandelt. ■



Bei Skoliose krümmt sich die Wirbelsäule zu einer Seite, oft sind auch die Wirbel selbst verdreht. Gezielte Übungen können helfen.

## Elektroschrott intelligent recyceln

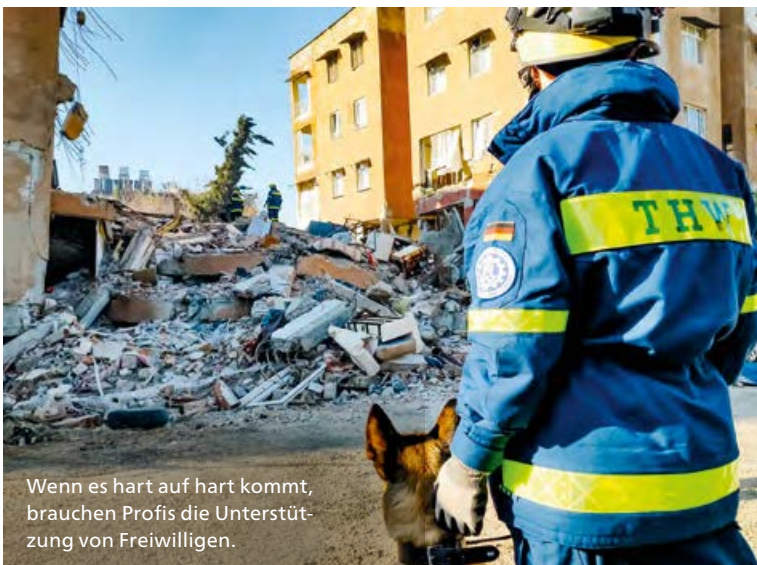
An automatisierten Demontageprozessen für die Wiederaufarbeitung von Elektrokleingeräten arbeitet das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA zusammen mit zehn Partnern im Projekt Desire4Electronics. Mithilfe von Techniken des Maschinellen Lernens werden Gerätetypen und Verbindungstechniken schnell erkannt und anhand von Bild- und Werkzeugdaten geprüft. Auf Grundlage dessen entwickeln die Forscherinnen und Forscher Multi-Werkzeuge, die verschiedene Verbindungen problemlos für die Demontage des Elektrokleingeräts lösen können. Methoden zur automatisierten Zerlegung sollen den Aufarbeitungsprozess auch in Industrieländern etablieren, profitabel machen und so zu mehr Nachhaltigkeit bei Produktion und Konsum beitragen.

Pro Kopf und Jahr fallen in Deutschland durchschnittlich 19,4 Kilogramm Elektroschrott an – Tendenz steigend. Gerade bei Elektrokleingeräten wie Toaster, Fön oder PC sind viele Bauteile, die zum Beispiel wertvolle Stoffe wie Kupfer, Polymere oder Lithium enthalten, noch funktionstüchtig und könnten recycelt werden. Dieser Prozess ist aktuell sehr zeitaufwendig und teuer. Die Folge: In Deutschland werden nur 40 Prozent des Elektroschrotts wiederverwertet. ■



In Fernsehern, Smartphones und Co. stecken wertvolle Materialien – bisher werden sie jedoch viel zu selten wiederverwertet.

## Freiwillige Hilfe besser organisieren



Wenn es hart auf hart kommt, brauchen Profis die Unterstützung von Freiwilligen.

Mit einer App soll im Katastrophenfall der Einsatz freiwilliger Helferinnen und Helfer koordiniert werden. Entwickelt wird sie von einem interdisziplinären Team, an dem auch das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS beteiligt ist.

KatHelfer-PRO informiert Freiwillige innerhalb kürzester Zeit und weist ihnen Aufgaben entsprechend ihren Fähigkeiten und Verfügbarkeiten zu. Bei einem Krisen- oder Katastrophenfall führt das System Bedarf und Angebot automatisiert mithilfe eines speziellen Vermittlungsalgorithmus zusammen. Dabei werden beispielsweise maximale Arbeits- und Ruhezeiten, Auslastungen von Einsatzorten und Wegzeiten berücksichtigt. Die Helfenden erhalten genaue Angaben über Art und Ort des Einsatzes sowie begleitende Informationen über KatHelfer-PRO. Um uneinheitliche, technisch inkompatible lokale Einzellösungen zu vermeiden, arbeitet das Team an einem bundesweiten digitalen System, das eine flexible Integration in andere Systeme ermöglicht. ■



Aus Sonne wird Strom, während die Fahrradfahrer nahe Freiburg etwas Schatten genießen.

## Radeln unterm Solardach

Europas erster Radweg mit Photovoltaik-Überdachung ist im baden-württembergischen Freiburg eröffnet worden. Pächter der Anlage ist das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, das mit dem Ökostrom einige seiner Labore betreibt. Die Forscherinnen und Forscher erheben und evaluieren die Einstrahlungs- und Stromerzeugungsdaten. Die Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt sollen für die Entwicklung neuer Photovoltaik-Lösungen im urbanen Raum genutzt werden und so beitragen, die Energiewende voranzutreiben.

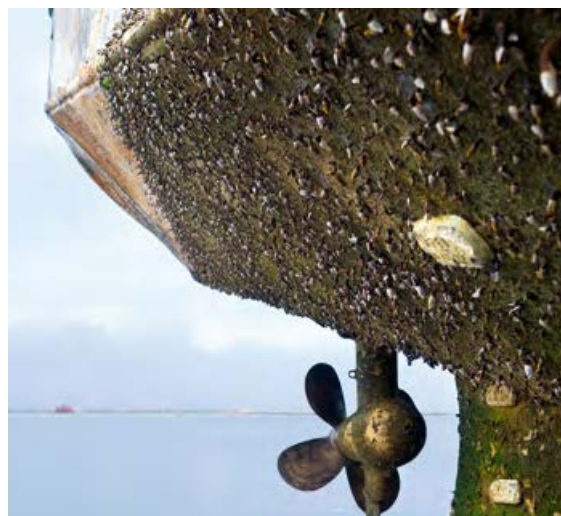
Der Radweg entlang des Freiburger Messegeländes ist auf rund 300 Metern mit 912 lichtdurchlässigen Photovoltaik-Modulen überdacht, die pro Jahr etwa 280 Megawattstunden Strom erzeugen. Das entspricht dem Bedarf von rund 200 Haushalten. Projektpartner sind der Energieversorger badenova-Wärmeplus, der die Anlage plante und errichtete, sowie die Stadt Freiburg, die das Grundstück und Mittel aus dem Klimaschutzfonds zur Verfügung stellte. ■

## Biofouling einfach weglasern

Ein umweltschonendes und effizientes Verfahren zur Entfernung von Muscheln und Algen von Schiffsrümpfen haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM jetzt zusammen mit Partnern entwickelt.

Mithilfe von Laserstrahlung lässt sich der als Biofouling bezeichnete Bewuchs unter Wasser abtöten, ohne dabei die darunterliegende Beschichtung des Schiffsrumpfs zu beschädigen. Danach werden die abgestorbenen Muscheln und Algen von der Wasserströmung weggespült. Das Verfahren wurde bereits erfolgreich in der Praxis getestet.

Biofouling vergrößert den Strömungswiderstand des Schiffs – und erhöht dadurch Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Der marine Bewuchs kann auch dazu führen, dass nicht heimische Arten in fremde Ökosysteme eingeschleppt werden, sich dort verbreiten und diese erheblich stören. Schiffen kann aufgrund von Biofouling das Anlegen in Häfen untersagt werden. ■



Bewuchs am Schiffsrumpf ist nicht nur ein optisches Problem. Ein neues Laserverfahren soll helfen.



**Impressum**

Fraunhofer. Das Magazin,  
Zeitschrift für Forschung,  
Technik und Innovation.  
ISSN 1868-3428 (Printausgabe)  
ISSN 1868-3436 (Internetausgabe)

**Herausgeber:**

Fraunhofer-Gesellschaft  
Hansastraße 27c, 80686 München  
Redaktionsanschrift wie Herausgeber  
Telefon +49 89 1205-1301  
magazin@zv.fraunhofer.de  
www.fraunhofer.de/magazin

**Kostenloses Abonnement:**

Telefon +49 89 1205-1301  
publikationen@fraunhofer.de

**Redaktion:**

Roman Möhlmann (V.i.S.d.P.),  
Josef Oskar Seitz (Chefredaktion),  
Dr. Sonja Endres, Beate Strobel

**Redaktionelle Mitarbeit:**

Dr. Janine van Ackeren, Mandy Bartel,  
Kerstin Beckert, Vivian Ellermeyer,  
Sirka Henning, Andrea Kaufmann,  
Stefanie Smuda, Mehmet Toprak,  
Yvonne Weiß

**Layout + Litho:**

Vierthaler & Braun

**Titelbild und Fotografie**

**der Titelstrecke:** Hilde Harshagen

**Fotografie Weltraum:**

Thomas Straub

**Druck:**

Kolibri Druck, Nürnberg

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.  
München 2023

**Fraunhofer in Social Media:**

@Fraunhofer



www.facebook.com/  
fraunhoferde



www.instagram.com/  
fraunhofergesellschaft



www.linkedin.com/company/  
fraunhofer-gesellschaft



www.youtube.com/  
fraunhofer



# Zweite Chance für Kakaobohnen

Die Kakaofrucht ist anfällig für Schädlinge. Um Ernteauffälle zu verringern, suchen Fraunhofer-Forschende nach Verwendungsmöglichkeiten für beschädigte Bohnen.

**W**eltweit fallen jährlich rund 20 Prozent der Kakaernte schädlichen Pilzen, Viren oder Bakterien zum Opfer. Erkrankte Früchte werden entweder von den Kakaobauern weggeworfen oder unter gesunde Früchte gemischt, was die Qualität von Kakao und Schokolade mindert. In einem deutsch-brasilianischen Konsortium sucht das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV nach Verwertungsalternativen für diese vermeintliche Ausschussware.

Das Projekt Damaged Beans zielt vor allem auf die Kosmetikbranche ab. Denn Pilzkrankheiten verändern das Schmelzverhalten von Kakaobutter, die auch für Körperpflegeprodukte genutzt wird. Sie wird weicher bei Raum- und Körpertemperatur. Für die Schokoladenherstellung ist das nicht optimal, für kosmetische Anwendungen hingegen von Vorteil. Die veränderte Zusammensetzung von Aminosäuren und Proteinen bei befallenen Kakaobohnen erhöht zudem die Gelier- und Verdickungseigenschaften, so dass die Früchte beispielsweise umweltschädliche Acrylate in Kosmetikprodukten ersetzen könnten. Dass der Kakaobaum als Reaktion auf die Mikroben-Attacke mehr sekundäre Pflanzenstoffe mit antioxidativen und antimikrobiellen Eigenschaften bildet, kann wiederum der Stabilität und Haltbarkeit von Cremes, Shampoos und ähnlichen Produkten zugutekommen.

Das vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt will nicht nur befallene Kakaobohnen vor der Abfalltonne retten, sondern durch neue Verwertungsmöglichkeiten auch die Lage der Kakaobauern weltweit verbessern und zugleich das Portfolio der Kosmetikindustrie an nachhaltigen Inhaltsstoffen erweitern – ein Win-Win-Win entlang der Wertschöpfungskette. ■



Die besten Kakaobohnen kommen in die Schokolade. Doch auch der Rest lässt sich klug weiterverwenden.

# Titel



# Besser mit Kunststoff

Plastik ist vom Wertstoff zum Müllproblem geworden. Doch weil es ohne Kunststoff auch nicht geht, dreht die Forschung an vielen Stellschrauben, um das Allround-Material nachhaltiger zu machen.

Von Beate Strobel,  
Fotografie: Hilde Harshagen

Fasziniert vom Werkstoff Kunststoff und seinen Möglichkeiten:  
Andreas Keller,  
Fraunhofer IZFP.

**S**imon, sechs Jahre alt, muss sich entscheiden: die Limonadendose oder der Joghurtbecher? Die leere Wasserflasche, die Schokolinsenschachtel oder die aufgerissene Chipstüte?

Allerlei Müll hat Birgit Faltermayr auf den Münchner Wissenschaftstagen am Stand des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV vor sich aufgereiht, doch was davon gehört nun in den Gelben Sack oder in die Wertstofftonne? Zögernd greift Simon zum Joghurtbecher und blickt fragend zu der Wissenschaftlerin. »Volltreffer«, lobt Faltermayr. Und zack – schon ist der Becher im Gelben Sack verschwunden. Ganz einfach, oder?

Wenn es um Kunststoff geht, ist leider gar nichts mehr einfach. Dabei basierte der Siegeszug des Werkstoffs ab der Mitte des 20. Jahrhunderts auf genau diesem Versprechen: Dass das Material mit seinen schier grenzenlosen Möglichkeiten hinsichtlich Form und Eigenschaft, mit seiner Haltbarkeit, dem geringen Gewicht und dem günstigen Preis vieles einfacher, leichter und günstiger machen würde. Über Jahrzehnte sah es auch so aus, als wäre dieses Versprechen uneingeschränkt einlösbar: Die Welt wurde bunter, Produkte wurden preiswerter und sicherer, wirtschaftliche Prozesse wurden effizienter. Die Produktion von Kunststoffen wuchs seit den 1950er-Jahren durchschnittlich um 8,4 Prozent pro Jahr, weltweit wurden inzwischen mehr als acht Milliarden Tonnen Kunststoff hergestellt.

Was unbeachtet blieb, war die Frage, was mit dem Material nach Ende des Gebrauchs passiert. Das »End of Life«-Konzept, aber auch der Kohlenstoff-Fußabdruck für Kunststoffe und Verbundmaterialien wurden nicht ausreichend mitgedacht, und das an vielen Stellen der Wirtschaft. Die Folgen für die Umwelt sind verheerend: Jede 20. Tonne Erdöl fließt inzwischen in die Kunststoff-Produktion, 4,5 Prozent der globalen Treibhausgas-Emissionen gehen auf ihre Rechnung. Und: Der einstige Wertstoff ist zum Wegwerfmaterial geworden. Seit dem Beginn des Plastik-Booms haben sich gut fünf Milliarden Tonnen Plastikmüll in der Umwelt und in offenen Deponien angesammelt.

Die Umweltversammlung der Vereinten Nationen will die Plastikverschmutzung des Planeten mit einem internationalen Vertrag eindämmen, bis Ende 2024 soll dieser ausgehandelt und rechtsverbindlich sein. Das Licht, das die UN-Umweltorganisation UNEP nun ans Ende des Tun-

nels gestellt hat, verbreitet Hoffnung: Eine Reduktion der globalen Plastikverschmutzung um mehr als 80 Prozent bis 2040 sei möglich, hieß es in einer Mitte Mai veröffentlichten Studie. Aber wie?


»Die Kunststoffbranche befindet sich in einer grundlegenden Transformation«, konstatiert Prof. Sebastian Scholz, Leiter des Fraunhofer-Kunststoffzentrums Oberlausitz am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen

und Umformtechnik IWU. Dieser Wandel beschränkt sich nicht nur auf die Industrie, sondern betrifft jeden einzelnen Menschen. Denn selbst wenn wir bei dem Wort Plastik meist an Einwegprodukte und Verpackungsmüll denken: Kunststoffe sind viel mehr als das. Und sie sind überall: in unserer Kleidung und in Kosmetik, in Autos, Flugzeugen, Zügen, in den Gehäusen elektrischer Geräte und in Gebäuden. Selbst der täglich wachsende Weltraumschrott besteht zu einem Großteil aus Plastik, da auch im Satelliten- und Raketenbau viele Kunststoffe zum Einsatz kommen. »Es gilt, Techniken zu entwickeln, mit deren Hilfe die Produktion des Werkstoffs sowie

unser Umgang damit nachhaltiger gestaltet werden«, betont Scholz.

Eine wichtige Forschungsfrage dabei lautet: Inwiefern lassen sich fossil basierte Kunststoffe ganz oder zumindest teilweise ersetzen durch biobasierte Materialien, ohne dass die gewünschten Eigenschaften verloren gehen? Innerhalb des in der Lausitz beheimateten Netzwerks LaNDER3 der Hochschule Zittau/Görlitz forschen mehrere Fraunhofer-Institute zusammen mit zahlreichen Unternehmen daran, die Glasfasern in synthetisch verstärkten Kunststoffen durch Naturfasern zu ersetzen, ohne bei diesen naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK) auf die Vorteile von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) – hohe mechanische Festigkeit und Beständigkeit sowie herausragendes Korrosionsverhalten bei niedrigen Produktionskosten – verzichten zu müssen. Für die Innenverkleidung von Zügen beispielsweise wurde sogenanntes Hechelwerg (ein Nebenprodukt der Hanf- oder Flachsfaserproduktion) getestet, das kostengünstig und in ausreichender Menge verfügbar ist. »Die NFK-Bauteile können es hinsichtlich Eigenschaften wie Steifigkeit, Fließ-eigenschaften und Brandfestigkeit durchaus mit GFK aufnehmen«, betont Sebastian Scholz. ►

Seit dem Beginn  
des Plastik-Booms  
haben sich gut  
**fünf Milliarden  
Tonnen Plastik-  
müll** in der Umwelt  
und in offenen  
Deponien ange-  
sammelt.



»Es gilt, Techniken zu entwickeln, mit deren Hilfe die Produktion des Werkstoffs sowie unser Umgang damit nachhaltiger gestaltet werden.«

Prof. Sebastian Scholz,  
Fraunhofer IWU

Mehr Nachhaltigkeit durch Natur im Kunststoff: Daran forscht Prof. Sebastian Scholz, Leiter des Kunststoffzentrums Oberlausitz am Fraunhofer IWU.

Sichere Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen: Daran arbeitet Chemikerin Dr. Cornelia Stramm vom Fraunhofer IVV.

»Wer sich bei Obst und Gemüse über die Verpackung ärgert, muss auf Importware verzichten und stattdessen saisonal und regional produzierte Ware kaufen.«

Dr. Cornelia Stramm,  
Fraunhofer IVV

Damit die Lösung des einen Problems nicht zu einem anderen führt, sollte bei der Auswahl neuer Rohstoffe für die Kunststoffe von morgen das Thema Nachhaltigkeit gleich mitgedacht werden. Denn wenn Agrarprodukte den großen Kunststoffhunger allein in Deutschland decken sollen, fallen diese als Nahrungsmittel weg. Kunststoff oder Lebensmittel? Das darf nicht die Frage sein. In dem Projekt EnviroPlast arbeiten die Forschenden des Fraunhofer-Kunststoffzentrums Oberlausitz deshalb daran, faserhaltiges Restmaterial wie Stroh, Holzabfälle aus dem Sägewerk oder andere Grünabfälle als Füllstoffe einzusetzen. »Wir experimentieren mit Materialien und spielen mit Prozessen, um Kunststoffe zu entwickeln, die zu mehr als 50 Prozent mit Reststoffen gefüllt sind«, erklärt Scholz. »Das würde die Herstellungskosten senken, die Nachhaltigkeit der Produktion erhöhen – und CO<sub>2</sub> für viele Jahre binden, da diese Bauteile in der Regel jahrzehntelang im Einsatz sind.«

Beim Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt forscht Dr. Roland Klein in dem Projekt DuroBast mit Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft daran, wie sich die Einsatzbereiche von Bastfasern in NFK erweitern lassen. »Bei NFK besteht die Gefahr, dass diese sich etwa bei einer Beschädigung des Bauteils mit Feuchtigkeit aus der Umgebung vollsaugen. Dadurch können sich nicht nur die mechanischen Eigenschaften verschlechtern, sogar mikrobieller Befall droht«, erklärt Klein. Um der Feuchteaufnahme entgegenzuwirken, füllt das Forschungsteam des Fraunhofer LBF in einer Art Vorbehandlung die Zwischenräume der Fasern mit einem biobasierten Kunststoff. Erst im zweiten Schritt wird das verstärkende Gewebe von den Projektpartnern mit einer Thermoplast-Schmelze verbunden und zu einem umformbaren Halbzeug verpresst. Erste Untersuchungen haben ergeben, dass die Faservorbehandlung eine höhere Steifigkeit bewirkt. »Die verbesserte mechanische Eigenschaft dieses NFK kann dazu beitragen, dass man eventuell weniger Material benötigt«, hofft Klein. Auch das würde den ökologischen Fußabdruck verkleinern.

**Besonders entscheidend ist die Materialfrage bei Kunststoffprodukten, die nur kurzzeitig benutzt werden.** Dieser Hebel hätte eine enorme Kraft: Rund ein Drittel

Global verderben immer noch **viel zu viele Ernteprodukte**, bevor sie den Handel erreichen – ohne schützende Kunststoffverpackung wären es aber deutlich mehr.

der hierzulande verwendeten Kunststoffmenge kommt als Verpackung zum Einsatz. Plastik habe sich im Verpackungswesen durchgesetzt als das Material mit dem besten Masse-Leistungs-Verhältnis, erklärt Prof. Jens-Peter Majschak, Leiter des Fraunhofer-Instituts Verfahrenstechnik und Verpackung IVV am Standort Dresden. Diese eher saloppe Bezeichnung meint das Verhältnis zwischen der Masse an eingesetztem Verpackungsmaterial und dem zu schützenden Gut. Kunststoffe und Kunststoffverbunde mit teils exzellenten Barriere-Eigenschaften senken Energie- und Transportaufwand, ermöglichen hoch effiziente Prozesse und machen durch die Vielzahl der Gestaltungsmöglichkeiten sowohl Designer als auch das Marketing glücklich.

Kunststoffverpackungen seien mehr als nur Hüllen, betont auch Chemikerin Dr. Cornelia Stramm, die am Fraunhofer IVV in Freising die Abteilung Materialentwicklung leitet. Global verderben viele Ernteprodukte, bevor sie den Handel erreichen – ohne schützende Kunststoffverpackung wären es aber noch deutlich mehr. Selbst für die viel gescholtene Gurke, die trotz Naturverpackung noch in Folie eingeschweißt ist, hat Stramm ein gutes Argument parat: Müsste das Gemüse die Reise etwa aus Spanien ohne Plastikmantel antreten, wäre sie am Zielort bereits runzlig. Eingepackt in Folie, bleibt sie fünf

Mal länger frisch. »Wer sich bei Obst und Gemüse über die Verpackung ärgert, muss auf Importware verzichten und stattdessen saisonal und regional produzierte Ware kaufen«, empfiehlt Stramm.

Da sich das Umweltbewusstsein der Konsumentinnen und Konsumenten verändert, wenden sich immer mehr Produzenten an das Fraunhofer IVV mit der Bitte, nachhaltigeres Verpackungsmaterial zu entwickeln. Institutsleiter Jens-Peter Majschak sieht »eine riesige Explorationsbewegung« in Richtung nachhaltiger Rohstoffe wie Laub, Gras, Pilze oder Algen. Von Forschenden des Fraunhofer UMSICHT etwa werden aktuell geschäumte Verpackungen entwickelt, die aus dem biobasierten Rohstoff Stärke bestehen und ab 2025 die aktuell üblichen Varianten aus Polystyrol, Polyethylen oder Polyurethan ersetzen sollen. Im EU-Projekt GLOPACK haben 16 europäische Projektpartner (darunter das Fraunhofer IVV) Lösungen entwickelt, wie sich Reste der Obst-, Mais- oder Weizenstrohverarbeitung in Schalen oder Folien aus Biopolymeren verwandeln lassen, die nach Benutzung im Kompost ►

entsorgt werden können. Und im Forschungsprojekt PLA-4MAP wird an Möglichkeiten gefeilt, aus dem biobasierten Kunststoff Polymilchsäure (PLA) eine Schale samt Siegelfolie herzustellen, die dank einer Beschichtung etwa mit Proteinen oder Wachsen in der Lage ist, selbst leicht verderbliche Lebensmittel wie Fleisch- und Milchprodukte sowie Backwaren zu schützen.

Der Polymilchsäure kommt bei der Suche nach innovativen Bio-Verpackungen eine Sonderrolle zu, glaubt Dr.-Ing. Stephan Kabasci, der beim Fraunhofer UMSICHT im Forschungsmanagement zuständig ist für die strategische Projektentwicklung im Bereich Circular Economy. »PLA ist ein sehr fester Kunststoff, der aber zugleich biologisch abbaubar ist«, erklärt der Chemietechniker. »Hinzu kommt, dass er sehr flächeneffizient hergestellt werden kann: Aus einem Kilogramm Zucker lassen sich ungefähr 900 Gramm PLA gewinnen.« Kabasci favorisiert die Herstellung des Zuckers aus Mais: »Aktuell landet beispielsweise ein Großteil des aus Maisstärke gewonnenen Zuckers als High Fructose Corn Sirup in Softgetränken und anderen stark gesüßten Lebensmitteln. Würde der Zuckeranteil hierin weltweit gesenkt, gäbe es nicht unerhebliche Kapazitäten für die Produktion von PLA.« Was nicht nur der Umwelt, sondern auch den Konsumenten zugutekäme: Zu viel Zucker gilt in mehrfacher Hinsicht als Gesundheitsrisiko.

**Für die Industrie ist PLA interessant, weil es preisgünstig hergestellt werden kann.** Der Bereich der Lebensmittelverpackungen ist extrem preissensibel, Differenzen im Cent-Bereich entscheiden mitunter, ob sich die Industrie für oder gegen einen Kunststoff entscheidet. »PLA ist aktuell das Biopolymer, das in relevanter Menge und gleichbleibender Qualität vorhanden ist«, erklärt Cornelia Stramm vom Fraunhofer IVV. Als Verpackungsmaterial bringt es durch seine Transparenz und mittleren Barriere-Eigenschaften gute Voraussetzungen mit. Doch solange der Einsatz der Industrie nicht wirtschaftlich rentabel erscheint, rechnet sich auch die Abtrennung eines gesonderten Recyclingstroms nicht. Das Fehlen echter Recyclingmöglichkeiten schwächt wiederum aus Sicht der Industrie das Nachhaltigkeitsargument. »Wir haben hier ein klassisches Henne-Ei-Problem«, konstatiert Stramm.

Trotz vielversprechender Forschungsansätze im Bereich der biologisch basierten Kunststoffe liegt also das Ziel, fossil hergestellte Plastikvarianten komplett durch solche aus erneuerbaren Ressourcen zu ersetzen, noch in

großer Ferne. »Biologisch basierte Kunststoffe sind zudem kein Freifahrtschein in Richtung nachhaltige Zukunft«, ergänzt Jens-Peter Majschak. Im Gegenteil: »Aktuell wirken sie noch wie Sand im Getriebe der existierenden Recyclingketten.« Denn »biologisch basiert« bedeutet nicht automatisch biologisch abbaubar. PLA etwa gilt offiziell als kompostierbar – allerdings in den Varianten, die als Verpackung auch hinreichend beständig sind, nur unter ganz speziellen Temperatur-, Sauerstoff- und Feuchtigkeitsbedingungen. Im heimischen Kompost werden diese nicht erreicht. Darin liegt eine

große Herausforderung, denn »eine Verpackung, die leicht bioabbaubar ist, könnte nach dem heutigen Stand der Technik ihre Schutzfunktion gar nicht erfüllen«, erklärt Majschak. In großen Kompostieranlagen allerdings mindert die langsame Zersetzung des Bio-Kunststoffs die wirtschaftliche Rentabilität: Der übliche Bioabfall verrottet deutlich schneller.

Solange noch fossil basierte Kunststoffe benötigt werden, braucht es weitere Ansätze, um die Nachhaltigkeit zu erhöhen. In dem Whitepaper »From #plasticfree to future-proof plastics« haben sich Forschende des Fraunhofer UMSICHT und der niederländischen

Forschungsorganisation TNO mit der Frage auseinandergesetzt, wie eine neue Balance zwischen Plastikreduktion und einem nachhaltigen Umgang mit recyclingfähigem Kunststoff aussehen könnte. Über vier Strategiewege könnte demnach die aktuell vorwiegend lineare Kunststoffwirtschaft in eine möglichst vollständige Kreislaufwirtschaft überführt werden. Ziel ist, nicht nur den Verbrauch von erdölbasierten Kunststoffen weltweit zu verringern (»Narrowing The Loop«), sondern deren Herstellung künftig energieeffizienter und ökologisch verträglicher zu gestalten (»Operating The Loop«). Um den Kreislauf zu verlangsamen (»Slowing The Loop«), müssen neue Wege gefunden werden, mit denen sich die Nutzungsdauer von Kunststoffprodukten verlängern lässt. Eine möglichst komplette Schließung des Kreislaufs (»Closing The Loop«) setzt auf die Idee, Kunststoffe idealerweise zu 100 Prozent zu sammeln, zu sortieren und möglichst hochwertig zu rezyklieren.

**Kunststoffe länger nutzen:** Elke Metzsch-Zilligen, Leiterin der Abteilung Additivierung und Dauerhaftigkeit am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt, forscht daran, mit welchen Additiven die Stabilität eines Kunststoffs ver- ►

»Aus einem  
Kilogramm  
Zucker lassen  
sich ungefähr  
900 Gramm  
PLA gewinnen.«

Dr. Stephan Kabasci,  
Fraunhofer UMSICHT



## Klüger trennen

Der Konsument kann zu Hause dazu beitragen, die Quoten des stofflichen Recyclings von Kunststoff und Co. zu erhöhen.

**Was sind Wertstoffe?** Verpackungen aus Kunststoff, Weißblech und Aluminium sowie Verbundverpackungen (z. B. Tetrapaks). Sie sollen nicht mit dem Restmüll entsorgt werden, sondern so, dass ein stoffliches Recycling möglich ist. In der Regel erfolgt dies über den Gelben Sack, die Gelbe Tonne oder spezielle Wertstofftonnen bzw. -container.

**Der Grüne Punkt hat ausgedient.** Die Regelung, dass im Gelben Sack oder in der Gelben Tonne nur Verpackungen mit dem Grünen Punkt entsorgt werden dürfen, ist überholt. Seit 2009 gehören hier alle Verpackungen aus Plastik, Metall und Verbundstoffen rein. In die Gelbe Wertstofftonne darf sogar alles aus Kunststoff und Metall, nicht nur Verpackungen. Ausnahme: Elektrogeräte.

**Heimarbeit:** Um der Sortieranlage den Job zu erleichtern, die Verpackungen zu Hause bereits so weit auseinanderbauen, wie es möglich und zumutbar ist: Papier- oder Plastikbänder entfernen, Aluminium-Deckel von Plastikbechern trennen, Hartplastikdeckel von PET-Flaschen oder Tetrapaks schrauben. Bei Käse- oder Wurstverpackungen oder Obstschalen aus Kunststoff ebenfalls den Deckel ganz lösen und getrennt entsorgen.

**Lieber locker:** Verpackungen nicht ineinander stapeln, da die Sortieranlage sonst nur die äußerste Kunststoffart erkennt. Ebenso keinen Kunststoff oder andere Wertstoffe in geleerte Konservendosen stopfen und so entsorgen.

**Saubere Sache?** Lebensmittelreste aus den Verpackungen entfernen (»löffelrein«). Ein tatsächliches Ausspülen oder gar Reinigen mit Warmwasser und Spülmittel ist nicht notwendig.

Plastik neu denken: Dr.-Ing. Stephan Kabasci vom Fraunhofer UMSICHT fahndet nach sinnvoll einsetzbaren Biokunststoffen.

längert werden kann. »Hitze, Feuchtigkeit, UV-Strahlen – all das schädigt das Material und mindert gewünschte Eigenschaften«, erklärt sie. Erst der Einsatz von Additiven beschert dem Kunststoff die benötigte Langlebigkeit etwa für den Einsatz in der Elektro- und Automobilindustrie. Im Exzellenzcluster Circular Plastics Economy (CCPE) haben sich sechs Fraunhofer-Institute (darunter das Fraunhofer LBF) zusammengeschlossen, um gemeinsam mit Wirtschaftspartnern der zirkulären Kunststoffwirtschaft den Weg zu ebnet. Ein Cluster-Baustein beschäftigt sich damit, das Alterungs- und Abbauverhalten von Kunststoffen wie PLA besser verstehen und kontrollieren zu können. Die Entwicklung geeigneter und idealerweise bio-basierter Additive, die eine langfristige Nutzung und anschließend ein werkstoffliches Recycling oder aber eine kontrollierte biologische Abbaubarkeit ermöglichen, ist ebenfalls Aufgabe des CCPE. »Die Forschungsergebnisse sind hier sehr ermutigend«, erklärt Metzsch-Zilligen.

Auch bei der Wiederaufbereitung von Rezyklaten spielen Additive eine wichtige Rolle – etwa, um gewünschte Werkstoff-Eigenschaften wieder aufzufrischen oder um Verunreinigungen besser im Gemisch zu verteilen und dadurch unschöne Oberflächeneffekte zu verhindern. Oder aber, um den oft unangenehmen Geruch benutzter Materialien wieder loszuwerden: Wer schon einmal in den Gelben Sack hineingeschnuppert hat, weiß, wovon die Rede ist. Im Rahmen des CCPE wurde eine Möglichkeit entwickelt, um mittels Sandwichspritzguss das riechende Altmateriale mit einer Haut aus geruchsneutralem Neumaterial zu umhüllen. Spezielle Additive in der Schutzhaut verhindern, dass der Geruch aus dem Kern langfristig freigesetzt wird. Einer Wiedernutzung des recycelten Kunststoffs auch in Innenräumen steht damit nichts mehr im Weg.

Dass nicht nur Kunststoffe selbst, sondern auch Additive nachhaltig werden können, belegen die Projekte SusFireX und Bio-Flammschutz am Fraunhofer LBF: Hier haben die Forschenden biobasierte Flammschutzmittel ausgehend von Plattformchemikalien aus Bioraffinerien beziehungsweise auf der Basis von Cellulose (etwa Restströmen aus dem Papierrecycling) entwickelt. Mit deren Hilfe werden die leicht entflammaren Kunststoffe nachhaltiger und sicherer. Bislang setzt die Industrie hierfür

auf halogen- oder phosphorhaltige Additive, die zumeist aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden. »Die von uns entwickelten Flammschutzmittel lassen sich gut in konventionelle wie biobasierte Kunststoffe einbringen«, betont Roland Klein. Was ihn noch mehr freut: »Bei bestimmten Kombinationen aus biobasierten und konventionellen Flammschutzmitteln erreicht man bereits bei sehr geringen Konzentrationen vielversprechende Ergebnisse. Das verkleinert nicht nur den ökologischen Fußabdruck, sondern verbessert auch die mechanischen Eigenschaften des Kunststoffs.«

Doch selbst das langlebige Produkt erreicht eines Tages das sogenannte »End of Life«-Stadium und wird zu Müll. Was soll nun mit dem energetisch meist aufwendig hergestellten und verarbeiteten Kunststoff geschehen? Laut Umweltbundesamt wurde 2019 gut die Hälfte (53 Prozent) der gesammelten Kunststoffabfälle energetisch verwertet, also in Müllheizkraftwerken verbrannt und zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. 46 Prozent gingen in die werkstoffliche Verwertung mit dem Ziel, das Altplastik in Material für die Kunststoffproduktion zu verwandeln (Recycling). Lediglich ein Prozent des

Plastikmülls wird aktuell rohstofflich verwertet, also wieder in Grundstoffe wie Öl und Gase aufgespalten – eine energetisch noch zu aufwendige und dadurch wirtschaftlich unrentable Prozedur.

**Oberste Priorität in der im Kreislaufwirtschaftsgesetz festgeschriebenen Abfallhierarchie** hat die Strategie der Abfallvermeidung etwa durch Verzicht oder Wiederverwendung von Kunststoffprodukten oder -verpackungen. Danach folgen aber bereits jene Ansätze, die zur Optimierung einer echten Kreislaufwirtschaft beitragen. Der Grundgedanke ist einfach: Je länger ein Kunststoff im Kreis gehalten werden kann, desto weniger neuer Kunststoff muss produziert werden. »Hierzu muss allerdings die gesamte Prozesskette betrachtet werden«, erklärt Susanne Kroll, Gruppenleiterin Hochleistungsverbunde und Kreislaufwirtschaft am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU.

Kroll ist unter anderem Koordinatorin des 2022 gegründeten Innovationsclusters Circular Saxony, dessen Ziel die Vernetzung der Akteure und Akteurinnen aus Politik, Wissenschaft sowie Industrie ist, um gemein- ▶

**53 Prozent** der gesammelten Kunststoffabfälle wurden 2019 zur **Strom- und Wärmeerzeugung** eingesetzt. **46 Prozent** gingen in die werkstoffliche Verwertung, sprich **Recycling**.

»Im Projekt RE-USE wollen wir einen sortenreinen Kunststoff mit einer Schicht etwa aus Silizium- oder Aluminiumoxid versehen, die als Diffusionsbarriere dient.«

Dr. Benedikt Hauer,  
Fraunhofer IPM

Mit smarter Qualitätskontrolle die Recyclingquote steigern: Daran arbeiten Friederike Münch und Dr. Benedikt Hauer (beide Fraunhofer IPM) im Projekt RE-USE.



»Grundidee war die Entwicklung einer Fahrzeugplattform als Basis für leicht zu wechselnde Aufbauten.«

Dr.-Ing. Martin Kausch,  
Fraunhofer IWU

Fliegender Wechsel:  
Dr.-Ing. Martin Kausch,  
Fraunhofer IWU, will im  
Projekt KOSEL die  
Mehrfachnutzung von  
Fahrzeugplattformen  
ermöglichen.

sam die Produktions- und Verwertungskreisläufe nachhaltig zu gestalten und so die Kreislaufwirtschaft von der Theorie in die Praxis zu überführen. »Bereits die Fertigungsprozesse müssen an den Kreislaufgedanken angepasst werden«, betont Kroll – etwa, indem Hybridstrukturen, die aus unterschiedlichen Kunststoffen oder Materialkompositionen bestehen, so aufgebaut werden, dass sie nach dem Gebrauch leicht voneinander zu trennen sind und dadurch nicht in der energetischen Verwertung landen. Auch an eine Demontage sollte gedacht werden, indem etwa lösbare Klebeverbindungen genutzt werden. »Design for Re-Use, Repair und Recycling« nennt Kroll diesen Ansatz.

Die Wiedernutzung frühzeitig im Blick haben: Im Projekt RE-USE arbeiten vier Fraunhofer-Institute bereits daran, Lebensmittel- und Medizinverpackungen so herzustellen, dass ein späteres Recycling erleichtert wird. »Viele dieser Verpackungen bestehen aus Kunststoffverbundmaterialien, die eine gute Barrierewirkung garantieren, also Lebensmittel gut schützen. Leider lassen sich solche Materialkombinationen aber nicht mehr in sortenreine Polymere zerlegen, was für das Recycling nötig wäre«, erklärt Projektleiter Dr. Benedikt Hauer vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM. »Im Projekt RE-USE wollen wir stattdessen einen sortenreinen Kunststoff – gerne aus Recyclingmaterial – mit einer Schicht etwa aus Silizium- oder Aluminiumoxid versehen, die als Diffusionsbarriere dient.« Diese Schicht misst nur wenige Nanometer, betont Friederike Münch, Maschinenbauingenieurin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer IPM: »Das ist zehntausend Mal dünner als ein menschliches Haar und hat den Vorteil, dass der Kunststoff wie ein Monomaterial recycelt werden kann, da die Verunreinigung durch die Barrierschicht lediglich im Promillebereich oder noch niedriger liegt.«

Damit gewährleistet ist, dass die »Superbarriere« zwar ultradünn, aber doch überall ausreichend vorhanden ist, entwickelt das Team am Fraunhofer IPM einen optischen Sensor, der diese Schicht detektiert und so die Qualitätskontrolle in der Produktion übernehmen kann. »Per Infrarot-Reflektometrie lässt sich nicht nur erkennen, welches Material aufgetragen wurde, sondern auch, wie dick die Schicht ist«, erläutert Physiker Hauer. »Die Herausforderung ist nun, diese Technologie so zu skalieren, dass sie auch im Großmaßstab robust, schnell und günstig eingesetzt werden kann«, ergänzt Münch. Sobald das ge-

lungen ist, sieht Projektleiter Hauer ein breites Anwendungsfeld für das Messprinzip – etwa in der Herstellung von Verpackungsfolien und Lebensmittelbehältern, aber auch von Blisterverpackungen in der Pharmaindustrie. Darüber hinaus werden Dünnschichten, insbesondere aus Siliziumoxid, vielfach zur Optimierung von Oberflächeneigenschaften genutzt. Auch hier kann das neue Messprinzip zur produktionsbegleitenden Qualitätskontrolle eingesetzt werden.

Mit dem Projekt KOSEL hat das Fraunhofer IWU das Prinzip »Design for Recycling« für die Autoproduktion durchexerziert. »Grundidee war die Entwicklung einer

Fahrzeugplattform als Basis für leicht zu wechselnde Aufbauten«, erklärt Dr.-Ing. Martin Kausch, Abteilungsleiter für Systeme und Technologie für textile Strukturen. »Bei Flugzeugen, Zügen oder Straßenbahnen ist das längst Standard, da werden beispielsweise Passagier- zu Frachtflugzeugen umgebaut.« Entstanden ist bei KOSEL ein kreislaufgerechter Open-Source-Baukasten für eine E-Fahrzeug-Plattform, der aus besonders langlebigen Kunststoffkomponenten besteht. Die Hauptmodule Vorderwagen, Batteriekasten und Hinterwagen sind über feste Schnittstellen miteinander verbunden, sodass der Austausch einzelner Bauteile oder kompletter Fahrzeugbestandteile schnell realisierbar wird.

»Ansätze wie KOSEL betreffen das Fahrzeug von morgen«, betont Susanne Kroll. Wie aber könnte eine kurzfristige Lösung aussehen? In dem Projekt Dig-Circle, an dem das Fraunhofer IWU beteiligt ist, werden Hochleistungs-Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) etwa aus der Automobilindustrie und Luftfahrt mittels Digitalisierung und Automatisierung analysiert, bewertet und – je nach Zustand – dem Re-Use, der Reparatur oder dem Recycling zugeführt. Hinzu kommt die Entwicklung effizienter Reparatur- und Recyclingprozesse, um eine erneute Nutzung auch wirtschaftlich interessanter zu machen. »Aktuell«, so Kroll, »sind Rezyklate oft deutlich teurer als neues Material.« Die Kosten lassen sich aber beispielsweise senken durch den Einsatz eines KI-gestützten Diagnostiksystems zur automatischen Analyse der Strukturen sowie zur Steuerung von Folgeprozessen wie dem Recycling.

**Künstliche Intelligenz als Gamechanger im Recyclingprozess:** Daran arbeitet der sogenannte KI-Hub Kunststoffverpackungen, bestehend aus den Innovationslaboren KIOptiPack und K3I-Cycling, in dem 51 Partner aus ▶

»Design for Re-Use, Repair und Recycling: Bereits die Fertigungsprozesse müssen an den Kreislaufgedanken angepasst werden.«

Susanne Kroll, Fraunhofer IWU

Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft kooperieren. Während das Team von KIOptiPack KI-gestützte Werkzeuge für ein nachhaltiges Produktdesign sowie eine qualitativ hochwertige Produktion von Kunststoffverpackungen mit hohem Recyclinganteil entwickelt, setzt sich K3I-Cycling mit der Optimierung des werkstofflichen Recyclings der Verpackungen auseinander.

Im Zentrum steht bei K3I-Cycling das Sortieren des Abfallstroms: Wie gründlich und korrekt erfolgt die Trennung diverser Kunststoffe, sodass diese möglichst sortenrein der Wiederverwendung zugeführt werden können? Große Sortierwerke arbeiten inzwischen mit Nahinfrarot-(NIR)-Hyperspektralkameras. »Kunststoffe unterscheiden sich in der Art und Weise, wie sie Licht absorbieren und streuen«, erklärt Andreas Keller, Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP. »Das ist so etwas wie der Fingerabdruck einer Kunststoffart, den NIR-Hyperspektralkameras innerhalb von Millisekunden identifizieren können.« Die NIR-Sensoren sind allerdings nicht für alle Sortieraufgaben gleich gut geeignet. Vor allem schwarze Kunststoffe fordern die Sortieranlagen heraus. Um dieses Problem zu lösen, sollen in K3I-Cycling daher auch zusätzliche Sensoriken wie die am Fraunhofer IZFP entwickelte High-Speed-Thermografie mit NIR-Kameras zusammen genutzt werden.

Basierend auf derlei kunststoffspezifischen Daten wird bei K3I-Cycling ein sogenannter Artificial Neural Twin (ANT) entwickelt – »eine Art Digitaler Zwilling des Kunststoffs, über den ein neuronales Netz gelegt wird, das in der Lage ist, die eingespeicherten Daten zu verarbeiten, zu verwalten und daraus neue Bewertungsmethoden zu entwickeln«, so Keller. Um die Stoffströme in der Sortieranlage extrem schnell und effektiv zu trennen, können viele unterschiedliche Faktoren eine Rolle spielen – etwa die Jahreszeit (im Frühling beispielsweise fallen viele Pflanzentöpfe aus einem bestimmten Kunststoff an) oder das Stadtviertel, aus dem ein Müllwagen kommt. »Die Zusammensetzung des Mülls in einer Fußgängerzone mit Fast-Food-Ketten ist beispielsweise eine andere als beim Hausmüll«, erläutert Keller. Dank ANT weiß die Sortieranlage frühzeitig, worauf diesmal besonders zu achten ist.

KIOptipack hingegen verfolgt das Ziel, über Materialauswahl oder Rezyklateinsatz, Produktdesign, Herstellung, Nutzung und Abgabe in den Recyclingskreislauf ein

»Design for Recycling« so zu unterstützen, dass die vielfältigen – und teils miteinander konkurrierenden – Anforderungen in kreislauffähigen Prozessen und Produkten in Einklang gebracht werden können. Das Fraunhofer IVV koordiniert hier den Teil Verpackung: Wie gelingt es, den Rezyklatanteil in neuen Verpackungen so zu steigern, dass Eigenschaften wie Produktschutz, Optik und andere sensorische Merkmale, eine effiziente Verarbeitung, rationeller Gebrauch und sichere Entsorgung in ein Recyclingsystem wirtschaftlich sinnvoll gelingen? Die dafür benötigten Daten durchgängig verfügbar zu machen und entlang der Wertschöpfungskette sinnvoll nutzen zu können, ist eine enorme Herausforderung. Hier soll die KI helfen – ob bei der Materialcharakterisierung, der Maschinenparametrierung oder der Unterstützung der Menschen über Assistenzsysteme.

Zu einem späteren Zeitpunkt, so Keller, sollen die beiden Innovationslabore KIOptiPack und K3I-Cycling ihre Ansätze kombinieren und über den ANT eine Rückkopplung zwischen Herstellung und Recycling ermöglichen. Die in K3I-Cycling gewonnenen Informationen können dann genutzt werden, um das Design und die Herstellung von Produkten zu verbessern. Diese lassen sich so besser recyceln und führen somit zu höherwertigen Rezyklaten; es entsteht ein selbstoptimierendes System. Entwicklungen wie diese hätten das Potenzial, deutlich mehr Kunststoffe als heute durch effektives Sortieren und Recyceln im Kreislauf zu halten. »Ein Einsatz der

in K3I-Cycling entwickelten Sortierung in ganz Deutschland könnte rund 500 000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr einsparen«, prognostiziert Keller.

**Eine Branche im Wandel:** Kunststoff sei sehr viel mehr als nur der Müll von morgen, betont Prof. Sebastian Scholz vom Kunststoffzentrum Oberlausitz. Nachhaltig produziert und klug im Kreislauf gehalten, könne Kunststoff sogar entscheidend dazu beitragen, dass die Klimawende gelingt: Anders als etwa Stahl oder Zement kann Kunststoff auch aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt und recycelt werden. Sein geringes Gewicht senkt die Umweltbelastung durch Transport, seine Widerstandsfähigkeit und Stabilität ermöglicht lange Nutzungszeiten. »Nicht das Material an sich ist problematisch, sondern unser Umgang damit«, konstatiert Scholz. »Und es ist hoch spannend, den Wandel im Umgang mit Kunststoff wissenschaftlich mitzugestalten.« ■

»Kunststoffe unterscheiden sich in der Art und Weise, wie sie Licht absorbieren und streuen.«

Andreas Keller,  
Fraunhofer IZFP

## Was ist was? Nachhaltige Kunststoffe im Überblick

**Bioabbaubarer Kunststoff.** Ein biologischer Abbau von Kunststoff findet statt, wenn das organische Material des Kunststoffs als Nährstoffquelle für Organismen genutzt wird. Bioabbaubare Kunststoffe können auf nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Stärke) oder auf nicht-nachwachsenden / fossilen Rohstoffen basieren (z. B. Erdöl), die in chemischen oder biotechnologischen Prozessen verarbeitet wurden.

**Biobasierter Kunststoff.** Basiert vollständig oder teilweise auf Biomasse (= nachwachsende Rohstoffe). Der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen kann die Nachhaltigkeit des Kunststoffs erhöhen.

**Biokunststoff.** Kunststoff, der entweder bioabbaubar oder biobasiert oder beides zugleich ist.

**Kompostierbarer Kunststoff.** Ist unter bestimmten Bedingungen und im Zeitrahmen eines Kompostierzyklus biologisch abbaubar. Bioabbaubare Kunststoffe sind nicht zwingend auch kompostierbare Kunststoffe, während umgekehrt kompostierbare Kunststoffe immer auch biologisch abbaubar sind.

Quelle: [www.umsicht.fraunhofer.de](http://www.umsicht.fraunhofer.de),  
Glossar »Nachhaltige Kunststoffe«

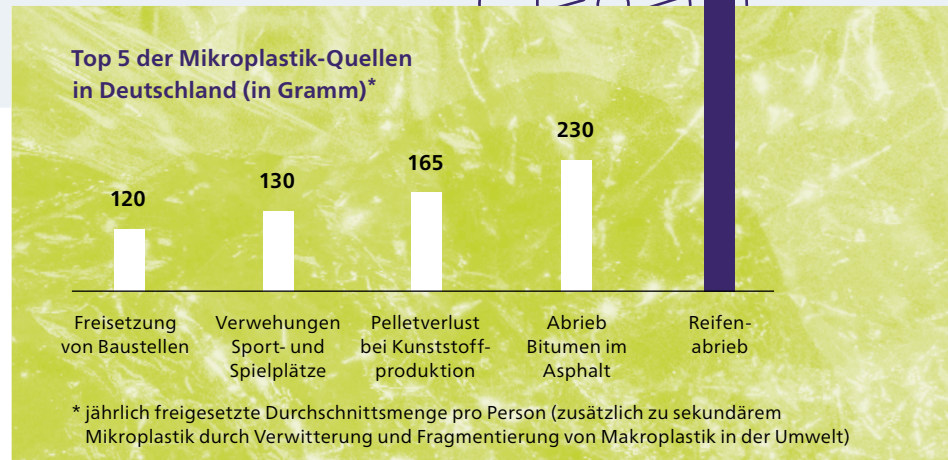
Klüger sortieren: Andreas Keller vom Fraunhofer IZFP will mithilfe von KI die Recyclingquote optimieren.

# Kunststoff in Zahlen

Segen und Fluch zugleich: Plastik hat die Welt erobert – mit teils gravierenden Folgen für Klima, Mensch und Natur.

**Plastiktüte:  
20 Jahre  
Zersetzungszeit  
im Meer\***

Quelle: Fraunhofer UMSICHT, 2018



1531  
Der Augsburgener Benediktinermönch Wolfgang Seidel entwickelt »Kunsthorn« (Kasein) auf der Basis von Milcheiweiß.

1839  
Charles Goodyear macht aus Naturkautschuk ein formbares Gummi.

1905  
Leo Hendrik Baekeland entwickelt mit Bakelit den ersten vollsynthetischen Kunststoff.

1911  
Der Chemiker Ernst Richard Escales prägt den Begriff »Kunststoffe«.

1950  
Weltweit werden 2 Mio. Tonnen Kunststoff hergestellt.

1960  
Rohöl wird zum wichtigsten Rohstoff der Kunststoffindustrie.



## Nur 60,5 %\* werden recycelt

\* stoffliche Verwertung von Kunststoffverpackungen in Deutschland, 2020. Aluminium hingegen wird zu 95,7 % recycelt, Papier/Pappe zu 88,1 %.

Quelle: GVM Gesellschaft für Vermarktungsforschung



# 150 Mio. Tonnen Plastik in unseren Ozeanen

Die größten Plastikkonzentrationen sammeln sich in **fünf großen Müllstrudeln** im Pazifik, Atlantik und dem Indischen Ozean.

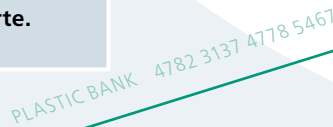
Der »Great Pacific Garbage Patch« ist fast **fünfmal so groß wie Deutschland**. Etwa 70 Prozent des Plastikmülls in den Weltmeeren liegen allerdings laut Umweltbundesamt unterhalb der Wasseroberfläche.

Quelle: WWF



## Wir essen 5 Gramm Mikroplastik pro Woche

Laut einer Studie des WWF nimmt der Durchschnittsweltbürger mit dem Essen, dem Leitungswasser oder auch über die Luft **5 Gramm Mikroplastik** pro Woche zu sich. Das entspricht in etwa dem Gewicht **einer Kreditkarte**.



**Plastikflasche:**  
450 Jahre  
Zersetzungszeit  
im Meer\*

**Angelschnur:**  
600 Jahre  
Zersetzungszeit  
im Meer\*

Der Verbrauch von Kunststoffen übertrifft mit 125 Mio. Kubikmetern den Stahlverbrauch.

China wird zum viertgrößten Kunststoffherzeuger nach USA, Japan und Deutschland.

Die Produktion von Kunststoff liegt bei 400 Mio. Tonnen pro Jahr.

Laut einer UN-Studie ließe sich der weltweite Plastikmüll in der Umwelt bis 2040 um 80 Prozent verringern – durch Einsparungen, Recycling, kompostierbare Ersatzstoffe und sichere Deponierung.

1983

1995

2015

2023

## 1 Milliarde Elefanten

Seit der Erfindung von Kunststoff in den 1950er-Jahren wurden weltweit bis 2015 rund **8,3 Milliarden Tonnen Plastik** produziert. Diese Menge entspricht der Masse von 1 Milliarde Elefanten.

Quelle: Universität Georgia

zurück zu Seite 1

\* Quelle: NABU

Grafik: Vivian Ellermeyer

# 3x3 Fragen: Kunststoff

**Prof. Maik Feldmann,**  
Geschäftsfeldleiter Polymeranwendungen,  
Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von  
Werkstoffen und Systemen IMWS



»Signifikanter Trend hin zu biobasierten Kunststoffen.«

## 1 Was fasziniert Sie persönlich am Werkstoff Kunststoff?

Die Vielfalt. Einerseits ist es ein Werkstoff, der uns das tägliche Leben erleichtert, oft mehr, als uns bewusst ist. Andererseits werden Kunststoffe in Bereichen eingesetzt, die in metallischer Bauweise nicht so effizient zu realisieren wären. So wiegt zum Beispiel ein auf Kunststoff basierender Drucktank für Wasserstoff bei gleicher Speichermenge nur etwa ein Viertel so viel wie ein Druckbehälter aus Metall.

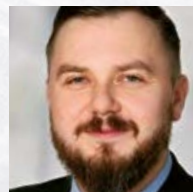
## 2 Welcher Trend im Zusammenhang mit Kunststoff und Nachhaltigkeit stimmt Sie optimistisch?

Zwei Statistiken stimmen mich besonders zuversichtlich. Die Statistik zum Bio-Kunststoffmarkt der European Bioplastics e.V. zeigt einen signifikanten Trend hin zu biobasierten Kunststoffen. Und die Zahlen zum werkstofflichen Recycling des Umweltbundesamtes belegen ebenso ein Wachstum, woraus sich in beiden Fällen auch für uns spannende Forschungsfragestellungen ergeben. Die weltweite Abfallproblematik, steigende Umweltauflagen, aber auch das zunehmende Umweltbewusstsein der Verbraucher werden diesen Trend in Zukunft sicherlich noch stärken.

## 3 Was macht Ihrer Meinung nach einen »guten« Kunststoff aus?

Ein guter Kunststoff ist der, der ideal zur jeweiligen Verarbeitungs- und Gebrauchsanforderung passt und die Langlebigkeit des Produkts bei möglichst geringem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck sicherstellt. Der Werkstoff sollte entsprechend seinen Eigenschaften synergetisch mit dem Design und dem Verarbeitungsverfahren gewählt werden. Die Rohstoffauswahl spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Idealerweise kommen hier Rest- oder Abfallstoffe zum Einsatz. ■

**Dr. André Lehmann,**  
Abteilungsleiter Fasertechnologie,  
Fraunhofer-Institut für Angewandte  
Polymerforschung IAP



»Es geht darum, den Kunststoffkreislauf energieeffizient und mit möglichst geringen Verlusten aufrechtzuerhalten.«

## 1 Was fasziniert Sie persönlich am Werkstoff Kunststoff?

Mich fasziniert einerseits die stoffliche Vielfalt, die Kunststoffe mit sich bringen, und andererseits, dass sich unendlich viele Formen realisieren lassen. Dies spiegelt sich in unterschiedlichsten Verarbeitungstechnologien und Anwendungen wider. So gibt es nicht DEN Kunststoff, sondern eine große Auswahl, die jeweils maßgeschneidert für spezifische Anwendungen ist.

## 2 Welcher Trend im Zusammenhang mit Kunststoff und Nachhaltigkeit stimmt Sie optimistisch?

Mich stimmt optimistisch, dass etwa in der Textilindustrie bereits jetzt eine Reihe stofflicher Zyklen etabliert ist, wodurch der Marktanteil an Fasern basierend auf recycelten Ausgangstoffen stetig zunimmt. Dabei dominiert PET diese Route mit jährlich 15 Prozent, was ca. neun Millionen Tonnen entspricht. Aber auch recycelte Baumwolltextilien können zu cellulosischen Spinnfasern für neue Textilien umgewandelt werden. Der Fortschritt der Forschung auf dem Gebiet des chemischen Recyclings wird den Übergang von linearen zu zirkulären Wertstoffsystemen zudem weiter vorantreiben.

## 3 Was macht Ihrer Meinung nach einen »guten« Kunststoff aus?

»Renewable Carbon« ist hier ein wichtiges Schlagwort. Dabei geht es darum, den Kunststoffkreislauf energieeffizient und mit möglichst geringen Verlusten aufrechtzuerhalten. Ein guter Kunststoff sollte also kreislauffähig sein. Funktion und Qualität sollten dabei erhalten bleiben. Das ist eine große Herausforderung, der wir uns am Fraunhofer IAP gemeinsam mit Partnern aus der Industrie stellen. ■



Faszination Kunststoff: ein Material mit unzähligen Möglichkeiten, aber auch vielen Herausforderungen.

»In ihren jeweiligen Wirkungsfeldern vollbringen Kunststoffe kleine und große Wunder.«

Dr. Katharina Koschek

**Dr. Katharina Koschek,**

Abteilungsleiterin Polymere Werkstoffe und Bauweisen, Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM



### **1 Was fasziniert Sie persönlich am Werkstoff Kunststoff?**

Kunststoffe sind so vielfältig wie ihre Einsatzmöglichkeiten und aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Die strukturellen und mikroskopischen Unterschiede sind teilweise marginal, die Auswirkung auf das resultierende Material aber können immens sein. Bei aller Faszination sehe ich natürlich auch die mit den Kunststoffen einhergehenden enormen Umweltprobleme. Mit neuen Werkstoffentwicklungen, dem Verständnis von Struktur und Eigenschaften können wir diesen begegnen und funktionierende Kunststoffkreisläufe aufbauen.

### **2 Welcher Trend im Zusammenhang mit Kunststoff und Nachhaltigkeit stimmt Sie optimistisch?**

Deutschland hatte neben vier weiteren europäischen Ländern im Jahr 2020 eine Recyclingrate von über 40 Prozent. Das stimmt mich positiv, wenn ich an ein Zukunftsszenario der Kunststoffindustrie denke, in dem keine zusätzlichen fossilen Ressourcen in den Kreislauf gelangen, sondern ein weitgehend vollständig auf erneuerbarem Kohlenstoff basierter Kreislauf existiert. In der Perspektive muss es hier weitere technologische Fortschritte geben, um zum Beispiel die Recyclingquote von Kunststoffgemischen zu erhöhen.

### **3 Was macht Ihrer Meinung nach einen »guten« Kunststoff aus?**

Ich halte die meisten Kunststoffe an sich für »gut«, ich sehe aber unseren schnelllebigen Umgang mit ihnen kritisch. Wir erkennen die Wertigkeit von Kunststoffen nicht an und vergessen häufig, dass sie nicht nur langlebig sind, sondern in ihren jeweiligen Wirkungsfeldern kleine und große Wunder vollbringen. Eine Änderung unseres Verhaltens zum bewussten Umgang und Einsatz in Kombination mit einem kreislaufgerechten Design dieses Werk- und Wertstoffs wird aus »guten« »ausgezeichnete« Kunststoffe machen. ■

## Interview

# »Wir brauchen noch mehr Forschung!«

Klima, Trockenheit, Natursünden: Probleme hat Steffi Lemke reichlich. Im Interview plädiert die Bundesumweltministerin für echte Technologieoffenheit. Und verrät, wie sie privat mit wenig Plastik auskommt.

**Interview: Josef Oskar Seitz**

Ministerin Steffi Lemke, 55, Hausherrin und Chefin der mehr als 1200 Beschäftigten im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz in der Stresemannstraße, Berlin-Kreuzberg.

\_\_\_\_\_ **Wieder Sommer, wieder neue Rekorde: Schon im Mai 44 Grad in Spanien, schon im Juni Trockenheit in Deutschland. Frau Lemke, wie sieht für Sie die Stadt von morgen aus, in der das Leben lebenswert bleibt?**

Die Stadt der Zukunft sollte am besten eine Schwammstadt sein. Sie ist voller Grün und speichert das Regenwasser in unterschiedlichster Form. Wasser gezielt über verschiedene Instrumente, etwa Wasserspeicher, begrünte Dächer oder multifunktionale Flächen in den Städten zu halten, ist sinnvoll und wird künftig angesichts der Folgen der Klimakrise immer wichtiger. Schwammstädte können sogar nutzbare Wasserreserven für Trockenperioden bereitstellen, und sie können Extremwetterereignisse wie Starkregen oder lang anhaltende Dürre besser abpuffern. Sie bieten darüber hinaus den Bewohnern eine höhere Lebensqualität und sind gut für den Schutz der Biodiversität.

\_\_\_\_\_ **Abwasser, das schnell weggeleitet werden soll, ist ein geläufiger Begriff. Werden wir immer häufiger auch Zuwasser brauchen, um über Fernleitungen vermehrt Wasser aus nassen Regionen in Deutschlands Trockengebiete zu bringen?**

Der Grundsatz einer möglichst ortsnahen Wasserversorgung gilt auch in Zukunft. Dafür müssen wir unsere Wasserversorgung besser vernetzen. Ergänzend werden aber auch in bestimmten Fällen Verbundnetze oder Fernleitungen nötig sein, die regionale Unterschiede bei der Verfügbarkeit von Wasser ausgleichen. Zunächst werden wir gemeinsam mit den Ländern den tatsächlichen Bedarf für solche Systeme bundesweit erheben.

\_\_\_\_\_ **Warum eigentlich tut sich grüne Politik gerade in Ostdeutschland so schwer, Zustimmung bei Wählern zu finden?**

Diese Einschätzung teile ich nur begrenzt. Wir regieren schließlich in drei von fünf der neuen Bundesländer sehr erfolgreich mit. Gleichzeitig sehe ich auch, dass wir besser werden müssen. Die Menschen in Ostdeutschland haben eine große Lebensleistung erbracht: Sie haben sich Freiheit und Demokratie selbst erkämpft. Die meisten mussten danach ihr Leben innerhalb kurzer Zeit ziemlich umkrempeln, sehr viele erlebten Arbeitslosigkeit, bekamen westdeutsche Chefs, ein großer Teil meiner Generation ist in den Westen abgewandert. Diese Erfahrungen haben wir als Grüne, aber auch wir als Gesellschaft bisher zu wenig berücksichtigt.

\_\_\_\_\_ **Ist grüne Politik heute zu einer Politik für Besserverdienende geworden, die sich nicht um Kosten für Wärmepumpen, Solaranlagen und Isolierungsmaßnahmen sorgen müssen?**

Das Gegenteil ist der Fall: Möglicherweise erscheint Ihnen das paradox, aber die Grünen haben schon immer Politik für Gruppen gemacht, die – noch – keine Lobby haben. Das sind junge Menschen und zukünftige Generationen, die noch keine Stimme haben. Und das sind auch Menschen, die unter der Klimakrise und Umweltverschmutzung besonders leiden: ältere Menschen, Menschen in kleinen, schlecht isolierten Wohnungen ohne Balkon oder Garten, Menschen, die an den besonders stark befahrenen Straßen wohnen, und Menschen, denen es schwerfällt, die steigenden Energiepreise aufgrund des russischen Angriffskrieges und der fossilen Energiekrise zu bezahlen. Deshalb setzen wir uns für eine vorausschauende, sozial ausgewogene Politik mit gestaffelter Förderung und Schutz für die Mieterinnen und Mieter ein. Gerade das Festhalten an fossilen Heizungen würde viele Menschen in eine Kostenfalle treiben.

\_\_\_\_\_ **Können Sie als Umweltministerin privat noch ein Leben führen, das zu einer Umweltschützerin passt?**

Privat gelingt mir das ganz gut. Ich wohne weiterhin in Dessau und genieße die kurzen Wege in die Natur. Von Dessau nach Berlin pendle ich meist mit der Bahn.

\_\_\_\_\_ **Wie gehen Sie selbst mit dem Thema Verpackungen um?**

Ich versuche, so gut es geht, unnötige Verpackungen einzusparen. Ich nutze für den täglichen Gebrauch meine Mehrwegflasche, die ich mit Leitungswasser fülle. So bin ich selbst auf Reisen nicht auf Flaschen aus Einwegplastik angewiesen. Auch in meinem Büro gibt es Wasser aus der Karaffe. Zum Einkaufen nehme ich meinen Rucksack oder eine Tasche mit.

\_\_\_\_\_ **Die weltweite Plastikherstellung hat sich in den vergangenen 20 Jahren verdoppelt. Sie haben im Juni in Paris auf einer UN-Konferenz mit 175 Staaten darauf gedrängt, die Produktion einzudämmen. Ist das der Weg: Recycling plus Reduktion?**

Die Plastikverschmutzung hat weltweit ein noch nie dagewesenes Ausmaß erreicht. Ohne konzentrierte globale Maßnahmen und einen international verbindlichen Rahmen wird die Verschmutzung weiter zunehmen. Im Moment handeln die UN-Mitgliedsstaaten ein rechtsverbindliches Abkommen gegen Plastikmüll aus, das 2025 unterzeichnet werden soll. Darüber bin ich sehr froh, ich setze mich mit aller Kraft für dieses Abkommen ein. Alle Kunststoffe bestehen aus Chemikalien, die potenziell gefährlich für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sein können. 2022 hat sich ►



**Berufspolitik mit 26**

1994 wird Steffi Lemke Bundestagsabgeordnete. Bevor Politik ihr Beruf wird, absolviert sie eine Ausbildung als Zootechnikerin und arbeitet von 1986 bis 1988 als Briefträgerin. Das Abitur macht sie an einer Abendschule und schließt 1993 ihr Studium als Agraringenieurin ab (Fachrichtung Tierproduktion).



**Arm in Arm**

Zum Abschluss des Wahlparteitags 2005 sucht Außenminister Joschka Fischer den Schulterschluss mit der damaligen Bundesgeschäftsführerin. Die Wahl endet mit einer Niederlage für Rot-Grün – die Ära Angela Merkel beginnt.



**Neue Hoffnungen**

Wahlkampfauftakt 2009: Steffi Lemke leitet den Wahlkampf von Bündnis 90/Die Grünen. Ihre Partei legt um 2,6 Prozent zu. Merkel bleibt Kanzlerin.

Deutschland einer Gruppe ambitionierter Staaten angeschlossen, die sich für den Schutz unserer natürlichen Lebensgrundlagen stark macht. Wir wollen Kunststoffproduktion und -verwendung nachhaltig gestalten, weltweit eine Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe aufbauen und den umweltverträglichen Umgang mit Kunststoffabfällen sicherstellen. Kurzum: Besseres Recycling ist weltweit wichtig, wir können der Plastikverschmutzung aber nicht nur mit Recycling begegnen.

**Welche Hindernisse sehen Sie international?**

Der Weg zu einem globalen Abkommen gegen Plastikmüll ist voller Herausforderungen: Mehr als 1650 Teilnehmende aus 169 Ländern und der EU sowie über 300 Beobachterorganisationen, zudem eine extrem knappe Fristsetzung – ein Verhandlungsprozess dieser Dimension stellt schon rein formal extreme Anforderungen. Ich bin sehr froh, dass die Verhandler in der zweiten Verhandlungsrunde (INC 2) in Paris ihre Fähigkeit bewiesen haben, auch in der Sache gemeinsame Ergebnisse im Konsens zu erzielen. Zu den erwarteten inhaltlichen Knackpunkten zählen der Grad der Verbindlichkeit einzelner Maßnahmen des Abkommens, die Auslegung und Umsetzung der erweiterten Herstellerverantwortung, die Frage einer möglichen Beschränkung der Plastikproduktion sowie die Frage der Finanzierung.

**Welche Maßnahmen sind die dringlichsten?**

Unsere Meere sind für das Klimasystem von zentraler Bedeutung. Sie sind Orte überragender Biodiversität, sie sind Nahrungsquelle und derzeit massiv mit Plastikmüll verschmutzt. Dabei ist der nicht nachhaltige Umgang mit kurzlebigen Verpackungen, die über die Gewässer in die Meere gelangen, eines der Hauptprobleme. Das internationale Abkommen zur Reduzierung der Plastikprobleme muss ein globaler Schlüssel zur Lösung zahlreicher Herausforderungen werden. Materiell halte ich strenge globale Verpflichtungen, die für alle Länder gelten sollten, für unabdingbar. Der Schwerpunkt zu ergreifender Maßnahmen sollte am Beginn und in der Mitte des Lebenszyklus etwa auf nachhaltige Produktion und Konsum, Produktdesign und Steigerung der Zirkularität gelegt werden. Und: Wir müssen weltweite Kapazitäten aufbauen, die für eine echte Kreislaufwirtschaft erforderlich sind. Hierzu müssen z. B. international agie-

rende Konzerne, die weltweit ihre Produkte in Plastikverpackungen vermarkten, zunehmend viel stärker in die Pflicht genommen werden. Sie müssen gewährleisten, dass ihre Verpackungen nicht nach dem Gebrauch im Meer landen.

**Zahlreiche Fraunhofer-Teams arbeiten daran, Kunststoffe länger nutzbar zu machen, das Recycling zu verbessern, biobasierte Alternativmaterialien zu entwickeln. Wo kann die Forschung Sie unterstützen?**

Wir brauchen noch mehr Forschung, um insgesamt den Umgang mit Kunststoffen nachhaltiger zu machen. Biobasierte Alternativen dürfen nicht zu Lasten der Nahrungsmittelproduktion oder der Biodiversität gehen. Deshalb sehe ich hier einen Schwerpunkt bei der möglichen Verwendung von Nebenprodukten aus der Landwirtschaft, die ansonsten nicht hochwertig genutzt werden können. Beim Recycling sehe ich bei Rezyklatqualität, Tracer- und Sortiertechnologien sowie der Bewertung alternativer Verfahren wichtige Optimierungspotenziale. Auch bei den viel diskutierten chemischen Zerlegungsverfahren sehe ich großen Forschungsbedarf, sowohl in technologischer Hinsicht wie auch bezüglich der Bewertung der Effizienz als auch der Energie- und Schadstoffbilanz.

**Wie können Politik und Forschung die Zusammenarbeit so ausbauen, dass Lösungsansätze der Wissenschaft schneller in die Umsetzung kommen?**

Zum Beispiel durch das direkte Gespräch. Ohne die unabhängige Forschung der Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen wie der Fraunhofer-Gesellschaft wäre eine wissenschafts- und faktenbasierte Politik gar nicht möglich. Die Leistungen der Forscherinnen und Wissenschaftler sind nicht hoch genug zu würdigen. Wir sind gut beraten, dieses Angebot auch zu nutzen und für die eigene Politik zu berücksichtigen.

**Was halten Sie vom Begriff «Technologieoffenheit»: Ist das für Sie ein Feigenblatt, um die Industrie zu schützen, oder tatsächlich der Weg, um Zukunftsprobleme zu lösen?**

Gegen den Begriff habe ich nichts. Leider wird er aber allzu oft missbraucht, um veraltete, teure, ineffiziente oder auf absehbare Zeit nicht bezahlbare Technologien in der Debatte und damit am Leben zu halten. Das ist oft nicht im Sinne der Bürgerinnen und Bürger, wird aber als vermeintliche Freiheit verkauft. Wohlver-



»Die Leistungen der Forscherinnen und Forscher sind nicht genug zu würdigen. Wir sind gut beraten, dieses Angebot zu nutzen.«

Bundesumweltministerin  
Steffi Lemke

standen würde dieser Begriff dazu führen, dass sich diejenige Technologie durchsetzen soll, die am besten bei der Erreichung unserer Klimaschutzziele hilft, zugleich am wirtschaftlichsten ist und keine anderen ökologischen Probleme auslöst. Echte Technologieoffenheit braucht daher auch einen Realitätscheck und eine seriöse Technikfolgenabschätzung.

#### \_\_\_\_\_ **Klima, Krieg – und dann lange nichts: Vermissen Sie die Aufmerksamkeit für all die anderen Umweltthemen?**

Auf keinen Fall. Die Welt ist ja deutlich komplexer, als es so manche Zuspitzung in der Debatte vermuten lässt. Die Klimakrise gefährdet auch unsere Ökosysteme. Gleichzeitig leisten diese im Sinne eines natürlichen Klimaschutzes einen großen Beitrag zur Lösung. Und leider führt auch der Krieg in der Ukraine zu massiven Umweltbelastungen, die die Menschen vor Ort bereits spüren: verseuchte Böden, Luftverschmutzung, Kontamination von Wasser, z.B. durch die Sprengung des Kachowka-Staudammes. Und über allem schwebt die Gefahr einer nuklearen Katastrophe im AKW Saporischschja.

#### \_\_\_\_\_ **Die Probleme sind groß, Ihr Etat im Bundesumweltministerium gehört mit 2,4 Milliarden Euro zu den kleinsten. Spart Bundesfinanzminister Christian Lindner am falschen Platz?**

Der Kernhaushalt des Bundesumweltministeriums ist als einer der wenigen nahezu konstant geblieben. Das ist ein gutes Zeichen, wenn überall sonst teils drastisch gespart werden muss.

Gleichzeitig steht für den Natürlichen Klimaschutz mit vier Milliarden Euro aus dem Klima- und Transformationsfonds bis 2026 so viel Geld zur Verfügung wie noch nie.

#### \_\_\_\_\_ **Der Natürliche Klimaschutz gilt als Ihr größtes Projekt. Diesen Sommer sollten erste Maßnahmen starten: Was geht voran?**

Wir sind Mitte Juli mit den ersten beiden Förderrichtlinien zum Natürlichen Klimaschutz in ländlichen Räumen und in Unternehmen gestartet. Damit erreichen wir eine wichtige Bandbreite an Akteuren, um die Klimaschutzfunktion der Natur wiederherzustellen und sie besser zu bewahren. Weitere Förderrichtlinien werden sich in den nächsten Monaten anschließen, um CO<sub>2</sub> bzw. Kohlenstoff in Mooren, Auen oder Wäldern zu speichern. Außerdem wird im Oktober das Kompetenzzentrum Natürlicher Klimaschutz an den Start gehen, um die schnelle und wirksame Umsetzung der Fördermaßnahmen aus dem Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz in der Fläche zu unterstützen.

#### \_\_\_\_\_ **Sie haben als Briefträgerin gearbeitet. Wem würden Sie heute gerne in ein paar persönlichen Zeilen die Meinung schreiben und in den Briefkasten stecken?**

Ich freue mich, dass ich als Bundesumweltministerin viele Briefe von Kindern und Schulklassen bekomme, die sehr konkrete Fragen zum Umwelt- und Naturschutz, aber auch Lösungsvorschläge haben. Ihnen ausführlicher zu antworten und mich mit ihnen auszutauschen, kommt leider oft zu kurz. ■



#### **Nächster Anlauf**

Steffi Lemke verfolgt die Nominierung der Kandidaten. Mit Katrin Göring-Eckardt und Jürgen Trittin verlieren die Grünen 2013 bei der Bundestagswahl 2,3 Prozent. Merkel bleibt.



#### **Hoch hinauf**

Endlich doch: Am 8. Dezember 2021 vereidigt Bundestagspräsidentin Bärbel Bas die neue Umweltministerin Lemke.



#### **Tief hinunter**

Unter Tage begibt sich die Bundesumweltministerin im Mai, um sich über den Zustand des Atomwülldagers Asse in Niedersachsen zu informieren.




#### **In die Ferne**

Vor der Oder-Konferenz im Juni betrachtet Steffi Lemke von einem Aussichtsturm aus das Ökosystem. Ein Jahr zuvor war es im Grenzfluss zum Massensterben von Fischen gekommen.

# Neue Wege zum Lithium

In der Wärmewende zählen Geothermie-Tiefenbohrungen zu den Hoffnungsträgern. Positiver Nebeneffekt: Mit ihnen lassen sich nicht nur grüner Strom und grüne Wärme erzeugen, sondern auch Lithium für Akkus gewinnen.

Von Dr. Janine van Ackeren



In großer Tiefe sucht Geothermie nach Wärme – und dank Fraunhofer-Technologie womöglich bald auch nach dem chemischen Element Lithium (Li<sup>3</sup>).



**S**ie ist so etwas wie die »eierlegende Wollmilchsau« eines klimabewussten Zeitalters: Die Tiefengeothermie besticht durch ihr Potenzial, grünen Strom und grüne Wärme zu erzeugen – womit sie in puncto Heizen eine Alternative zu Wärmepumpen bietet. Über Bohrungen von etwa tausend Metern Tiefe werden dabei saline Wasserschichten angezapft; das etwa 80 Grad heiße Grundwasser wird dann nach oben befördert, wo es Turbinen zur Stromerzeugung antreibt und zahlreiche Haushalte via Fernwärmenetz mit Wärme versorgt. Doch Geothermie kann noch mehr: Die Bohrungen eröffnen einen neuen Weg zur Lithiumgewinnung – in Deutschland, umweltfreundlich und quasi nebenbei. Dass dies auch technisch machbar ist, wollen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) nun gemeinsam zeigen. »Das salzhaltige Wasser, das über Geothermie-Bohrungen an die Erdoberfläche gepumpt wird, enthält durchschnittlich 200 Milligramm Lithium pro Liter«, weiß Dr. Carl Basler, Projektleiter am Fraunhofer IPM. »Anders gesagt: Eine Bohrung sollte reichen, um – quasi als Nebenprodukt – jährlich genügend Lithium für etwa 20 000 Pkw-Akkus zu fördern. Allein im Oberrhein-Graben sind zehn solcher Anlagen vorstellbar.«

Lithium-Ionen-Akkus werden nicht nur in Elektroautos, sondern auch in Smartphones oder Tablets massenhaft verbaut. Für die Elektrifizierung im Bereich der Wärmewende – Stichwort Wärmepumpen – könnten Lithium-Ionen-Akkus zur Speicherung von Strom aus Photovoltaikanlagen ebenfalls wichtig werden. In Deutschland wird Lithium jedoch bisher nicht gefördert, es herrscht vollständige Abhängigkeit von Importen – mit allen Fallstricken, die diese internationalen Verflechtungen mit sich bringen. Eine inländische Lithiumquelle könnte viel Druck aus dem Thema nehmen.

Die nötige Technologie, um das Lithium aus dem an die Oberfläche gepumpten Wasser zu gewinnen, entwickeln Forschende des KIT: Sie leiten das Tiefenwasser durch einen Sorbens, also durch ein Material, in dem das Lithium-Salz spezifisch gebunden wird – während alle anderen Salze, die im Wasser gelöst sind, ungehindert mit dem

Wasser hindurchströmen. Sind alle Bindungsstellen im Sorbens belegt, ist dieser also mit Lithium gesättigt, koppelt das Team ihn von der Versorgung mit dem Bohrungswasser ab und schickt stattdessen eine Desorptionslösung hindurch. Diese löst das gebundene Lithium wieder, so dass es über Standardverfahren aus der Lösung ausgefällt werden kann. Die Forschenden des KIT widmen sich derzeit vor allem der Entwicklung eines optimalen Sorbens-Materials.

### Analyseverfahren unterstützt Lithium-Gewinnung

Eine wichtige Frage bei dieser Art der Lithium-Gewinnung: Wann ist der Sorbens gesättigt? Schließlich variiert der Lithium-Gehalt im geförderten Wasser von Bohrung zu Bohrung – und ist der Sorbens voll, würde das Tiefenwasser vergeblich hindurchfließen. Bisher lässt sich diese Frage nur über Laboranalyseverfahren beantwor-

ten, die etwa einen halben Tag in Anspruch nehmen. Deutlich zu lange also für eine angepasste Regelung. Hier hilft die Expertise des Fraunhofer IPM. »Wir entwickeln ein Verfahren, mit dem man die Lithium-Konzentration des Wassers am Auslass des Sorbens live messen kann – was extrem schnelle Rückkopplungszyklen erlaubt. Steigt die Konzentration an, zeigt dies eine zunehmende Sättigung des Sorbens; er muss also entleert werden«, erläutert Basler.

Dazu nutzen die Forschenden die laserinduzierte Plasmaspektroskopie: Sie fokussieren einen Kurzpulslaser, dessen Pulsdauern bei etwa zehn Nanosekunden liegen, über eine Linse auf die

Oberfläche des Wassers. Dabei wird so viel Energie in das Wasser eingetragen, dass ein Teil davon in ein Plasma überführt wird – also in ein Gas, das nicht mehr aus Atomen oder Molekülen besteht wie ein übliches Gas, sondern aus Ionen und Elektronen. Denn durch die hohe Energie des Lasers werden die Elektronen aus den Atomen herauskatapultiert. Fangen die Ionen die Elektronen wieder ein, geben diese dabei eine charakteristische Strahlung ab, mit der man auf die jeweilige Art des Atoms schließen kann. Analysiert man nun das Spektrum, so lassen sich die im Wasser gelösten Bestandteile identifizieren und quantifizieren. »Anhand des Spektrums können ►

»Eine Bohrung sollte reichen, um – quasi als Nebenprodukt – jährlich genügend Lithium für etwa 20 000 Pkw-Akkus zu fördern.«

Dr. Carl Basler, Fraunhofer IPM

wir sehen, wie viel Lithium sich im Wasser befindet – und damit auch, ob der Sorbens gesättigt ist und entleert werden muss«, sagt Basler.

Das Verfahren der laserinduzierten Plasmaspektroskopie gibt es schon lange, es wird etwa in der Industrie eingesetzt, um die Legierungen von Aluminium zu bestimmen. Allerdings handelt es sich bei den untersuchten Materialien stets um Feststoffe. Bei einer Flüssigkeit wird es dagegen knifflig – kommerzielle Lösungen sucht man hier vergeblich. »Während bei einem festen Medium ein Großteil der Laserenergie im Medium absorbiert wird und sich somit leicht ausreichend Energie in das Material einbringen lässt, um ein Plasma zu zünden, wird die Energie bei einer Flüssigkeit deutlich weiter ins Material hineingetragen«, erklärt Basler. Das heißt: Die Energie in einer Flüssigkeit reicht für die Plasmazündung meist nicht aus. Nach dem Motto »viel hilft viel« haben die Forschenden es dennoch geschafft: In einem Aufbau, in dem sich über der Flüssigkeit ein Gasvolumen befindet, tragen sie über den Laser so viel Energie in die Flüssigkeit ein, dass das Plasma bereits an der Oberfläche der Flüssigkeit zündet und in das Gasvolumen statt in die Flüssigkeit expandiert.

So einfach, wie es hier klingt, ist all das allerdings nicht. Das Wasser steht unter einem Druck von 20 bar, also 20-fachem Atmosphärendruck; das Gasvolumen muss deshalb an diesen Druck angepasst werden. Dieser hohe Druck beeinflusst jedoch die Erzeugung und Expansion des Plasmas. Welche Gase eignen sich am besten? Welchen Einfluss hat der Druck auf die Plasmaexpansion? Auch die Temperatur wirkt sich auf die Plasmazündung aus – schließlich strömt das Wasser nicht raumtemperiert, sondern mit etwa 80 Grad durch das System. Dazu kommt: Ist im Wasser ein gewisser Anteil von Eisen gelöst, verschieben sich die Linien im gemessenen Spektrum, man spricht dabei von Matrixeffekten. »Auch diese Matrixeffekte werden wir für alle Elemente, die im Wasser vorkommen, untersuchen und sie entsprechend herauskalibrieren«, sagt Basler.

Eine weitere Herausforderung: Durch die Plasmaexpansion spritzt oftmals das umliegende Wasser weg – es setzt sich unter anderem an der Sichtscheibe ab, durch die der Laser in die Druckkammer eingestrahlt wird. Der nächste Laserpuls würde also absorbiert und abgelenkt, das Plasma könnte nicht mehr richtig zünden. Die For-

schenden tüfteln daher an einem Aufbau, der solche Spritzer verhindert. Bis Ende 2024 sollen diese Herausforderungen gemeistert sein. Dann steht die Erprobung des Systems in einer bestehenden Geothermie-Anlage an, samt der Technologie vom KIT, mit der das Lithium aus dem Wasser gewonnen wird.

### Lithium-Recycling aus Altbatterien

Durch die anstehende Elektrifizierung von Mobilität und Wärmeerzeugung könnte der Lithium-Hunger schon bald so groß sein, dass die entwickelte Technologie den

Bedarf nicht komplett decken kann. Parallel zur Gewinnung von Lithium aus Geothermie-Wasser arbeitet das Forschungsteam deshalb daran, Lithium aus Altbatterien zu recyceln. Ein Thema, das auch von der Bundesregierung vorangetrieben wird.

Was die Rückgewinnung der in den Batterien enthaltenen Materialien Nickel, Mangan, Kobalt sowie die Aluminium- und Kupferfolien angeht, gibt es bereits industriell angewendete Verfahren. »Lithium allerdings ist derzeit noch zu günstig, als dass sich das rechnen würde«,

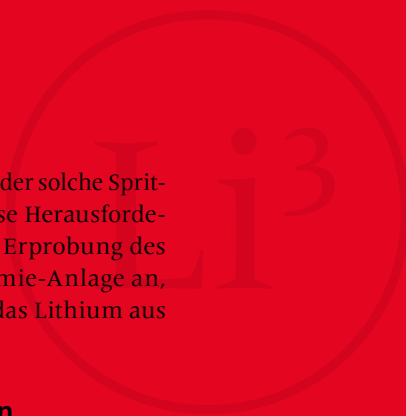
erläutert Basler. Schaut man sich die Preisentwicklung allein im letzten Jahr an, so ist stark davon auszugehen, dass das nicht so bleibt. 2022 schoss der Lithium-Preis um einen Faktor zehn in die Höhe. »Wirklich aktuell dürfte die Lithium-Rückgewinnung aus Altbatterien in einem Zeitraum von etwa zehn Jahren werden. Doch man muss jetzt die nötigen Technologien entwickeln, damit sie dann auch funktionieren«, versichert Basler.

Der Sorbens aus dem KIT ist speziell dafür entwickelt, Lithium zu binden – er sollte sich daher auch für das Batterierecycling eignen. Dazu wird der Batterie-Slurry, eine Mischung aus Kobalt, Mangan, Nickel, Lithium, Graphit und Binder, in einer wässrigen Lösung gelöst und durch den Sorbens geschickt. Die Lösung des Fraunhofer IPM sollte sich darauf ebenfalls übertragen lassen – und auf andere Ansätze, beispielsweise solche, bei denen das Lithium mit einer Zentrifuge aus einer wässrigen Lösung herausgeschleudert wird. Kurzum: Das Verfahren lässt sich überall dort einsetzen, wo es um die Messung von Lithium in flüssigen Medien geht – und liefert somit ein wertvolles Puzzleteil, um die Lithium-Förderung in Deutschland und Europa voranzutreiben. ■

2022  
schoss der  
Lithium-Preis  
um einen Faktor  
10  
in die Höhe.

## Staffellauf des Wissens

***Erdöl  
ersetzen?***



wir sehen, wie viel Lithium sich im Wasser befindet – und damit auch, ob der Sorbens gesättigt ist und entleert werden muss«, sagt Basler.

Das Verfahren der laserinduzierten Plasmaspektroskopie gibt es schon lange, es wird etwa in der Industrie eingesetzt, um die Legierungen von Aluminium zu bestimmen. Allerdings handelt es sich bei den untersuchten Materialien stets um Feststoffe. Bei einer Flüssigkeit wird es dagegen knifflig – kommerzielle Lösungen sucht man hier vergeblich. »Während bei einem festen Medium ein Großteil der Laserenergie im Medium absorbiert wird und sich somit leicht ausreichend Energie in das Material einbringen lässt, um ein Plasma zu zünden, wird die Energie bei einer Flüssigkeit deutlich weiter ins Material hineingetragen«, erklärt Basler. Das heißt: Die Energie in einer Flüssigkeit reicht für die Plasmazündung meist nicht aus. Nach dem Motto »viel hilft viel« haben die Forschenden es dennoch geschafft: In einem Aufbau, in dem sich über der Flüssigkeit ein Gasvolumen befindet, tragen sie über den Laser so viel Energie in die Flüssigkeit ein, dass das Plasma bereits an der Oberfläche der Flüssigkeit zündet und in das Gasvolumen statt in die Flüssigkeit expandiert.

So einfach, wie es hier klingt, ist all das allerdings nicht. Das Wasser steht unter einem Druck von 20 bar, also 20-fachem Atmosphärendruck; das Gasvolumen muss deshalb an diesen Druck angepasst werden. Dieser hohe Druck beeinflusst jedoch die Erzeugung und Expansion des Plasmas. Welche Gase eignen sich am besten? Welchen Einfluss hat der Druck auf die Plasmaexpansion? Auch die Temperatur wirkt sich auf die Plasmazündung aus – schließlich strömt das Wasser nicht raumtemperiert, sondern mit etwa 80 Grad durch das System. Dazu kommt: Ist im Wasser ein gewisser Anteil von Eisen gelöst, verschieben sich die Linien im gemessenen Spektrum, man spricht dabei von Matrixeffekten. »Auch diese Matrixeffekte werden wir für alle Elemente, die im Wasser vorkommen, untersuchen und sie entsprechend herauskalibrieren«, sagt Basler.

Eine weitere Herausforderung: Durch die Plasmaexpansion spritzt oftmals das umliegende Wasser weg – es setzt sich unter anderem an der Sichtscheibe ab, durch die der Laser in die Druckkammer eingestrahlt wird. Der nächste Laserpuls würde also absorbiert und abgelenkt, das Plasma könnte nicht mehr richtig zünden. Die For-

schenden tüfteln daher an einem Aufbau, der solche Spritzer verhindert. Bis Ende 2024 sollen diese Herausforderungen gemeistert sein. Dann steht die Erprobung des Systems in einer bestehenden Geothermie-Anlage an, samt der Technologie vom KIT, mit der das Lithium aus dem Wasser gewonnen wird.

### Lithium-Recycling aus Altbatterien

Durch die anstehende Elektrifizierung von Mobilität und Wärmeerzeugung könnte der Lithium-Hunger schon bald so groß sein, dass die entwickelte Technologie den

Bedarf nicht komplett decken kann. Parallel zur Gewinnung von Lithium aus Geothermie-Wasser arbeitet das Forschungsteam deshalb daran, Lithium aus Altbatterien zu recyceln. Ein Thema, das auch von der Bundesregierung vorangetrieben wird.

Was die Rückgewinnung der in den Batterien enthaltenen Materialien Nickel, Mangan, Kobalt sowie die Aluminium- und Kupferfolien angeht, gibt es bereits industriell angewendete Verfahren. »Lithium allerdings ist derzeit noch zu günstig, als dass sich das rechnen würde«,

erläutert Basler. Schaut man sich die Preisentwicklung allein im letzten Jahr an, so ist stark davon auszugehen, dass das nicht so bleibt. 2022 schoss der Lithium-Preis um einen Faktor zehn in die Höhe. »Wirklich aktuell dürfte die Lithium-Rückgewinnung aus Altbatterien in einem Zeitraum von etwa zehn Jahren werden. Doch man muss jetzt die nötigen Technologien entwickeln, damit sie dann auch funktionieren«, versichert Basler.

Der Sorbens aus dem KIT ist speziell dafür entwickelt, Lithium zu binden – er sollte sich daher auch für das Batterierecycling eignen. Dazu wird der Batterie-Slurry, eine Mischung aus Kobalt, Mangan, Nickel, Lithium, Graphit und Binder, in einer wässrigen Lösung gelöst und durch den Sorbens geschickt. Die Lösung des Fraunhofer IPM sollte sich darauf ebenfalls übertragen lassen – und auf andere Ansätze, beispielsweise solche, bei denen das Lithium mit einer Zentrifuge aus einer wässrigen Lösung herausgeschleudert wird. Kurzum: Das Verfahren lässt sich überall dort einsetzen, wo es um die Messung von Lithium in flüssigen Medien geht – und liefert somit ein wertvolles Puzzleteil, um die Lithium-Förderung in Deutschland und Europa voranzutreiben. ■

2022  
schoss der  
Lithium-Preis  
um einen Faktor  
10  
in die Höhe.

## Staffellauf des Wissens

***Herr Prof.  
Manfred Renner,  
wann können  
Biokunststoffe  
Kunststoffe aus  
Erdöl vollständig  
ersetzen?***

## Staffellauf des Wissens, Folge 9

# Herr Prof. Manfred Renner, wann können Biokunststoffe Kunststoffe aus Erdöl vollständig ersetzen?

### **Serie:**

### **Staffellauf des Wissens**

Unsere Zeit wirft **viele Fragen auf** – **Fraunhofer-Forschende bemühen sich um Antworten.** Eine Fachfrau oder ein Fachmann gibt **eine Antwort** und stellt **eine Frage**, die sie oder er an den nächsten **Experten weiterreicht** – ein **»Staffellauf des Wissens«.**

In dieser Ausgabe antwortet **Prof. Manfred Renner**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, auf eine Frage von **Prof. Mario Trapp**, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Kognitive Systeme IKS.

**D**ie Klimaneutralität bis spätestens 2050 wird als prioritäres Ziel im European Green Deal verfolgt.

Dessen Umsetzung wurde von der Europäischen Kommission mit einem Katalog verschiedener Maßnahmen unterlegt. Diese sehen neben Gesetzesvorhaben zum Klimaschutz auch einen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft und eine Strategie für nachhaltige Produkte mit Fokus auf die Textil-, Bau-, Elektronik- und Kunststoffsektoren vor. Aus diesem Grund muss mit der Umstellung der Rohstoffversorgung für die Kunststoffherstellung auf erneuerbare Quellen (Defossilisierung) so schnell wie möglich begonnen werden. Sie kann wesentlich zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, zum Schutz nicht erneuerbarer Ressourcen und zur Stärkung der Resilienz der deutschen und europäischen Wirtschaft beitragen.

Die Kunststoffindustrie gehört zu den energieintensiven und fossilen Ressourcen verbrauchenden Grundstoffindustrien, deren nachhaltige Transformation sehr bedeutend ist. Die Klimagasemissionen der Kunststoffindustrie werden aktuell mit knapp zwei Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr abgeschätzt. Das entspricht etwa dem zweieinhalbfachen der Emissionen Deutschlands. Bis zum Jahr 2050 wird – je nach Studie – eine

weitere Steigerung der produzierten Kunststoffmengen und damit einhergehend der Treibhausgasemissionen um den Faktor zwei bis vier erwartet.

**Die folgenden Maßnahmen, die diesem Trend entgegenwirken können, werden diskutiert:**

1. Einsatz erneuerbarer Energie bei der Kunststoffherstellung und -verarbeitung
2. Reduktion des Anstiegs beim Materialverbrauch
3. Umstieg auf biobasierte Kunststoffe
4. Recycling von Kunststoffabfällen

Szenarioanalysen zeigen, dass jede einzelne der Maßnahmen den Anstieg der Klimagasemissionen mehr oder weniger stark dämpft. Aber nur das gleichzeitige und möglichst schnelle Verfolgen aller Optionen kann zu einer Reduktion führen! Eine Umstellung der Rohstoffversorgung für die Kunststoffproduktion auf Biomasse allein würde nicht ausreichen. Parallel müssen vor allem die R-Strategien der Circular Economy konsequent auf Kunststoffprodukte angewandt werden. Beginnend bei »refuse« und »rethink« und »re-use«, Strategien, die durch Vermeidung, Neudesign von Produkten, Services und Geschäftsmodellen wie Wiederverwendung zur Verringerung der benötigten Mengen führen – ohne Verzicht auf Funktionalitäten der Werkstoffe oder Produkte. Reparieren, Wiederaufbereiten



Prof. Manfred Renner leitet gemeinsam mit Prof. Christian Doetsch das Fraunhofer UMSICHT.

und andere Strategien zum möglichst langen Nutzen von Produkten und Bauteilen senken die Kunststoffabfallmenge. Diese sollte möglichst vollständig einem hochwertigen Recycling zugeführt werden.

Doch selbst bei einhundertprozentigem Recycling sind ein steigender Gesamtmaterialbedarf und die zum Teil, etwa bei Bauprodukten, jahrzehntelange Verweilzeit von Kunststoffprodukten in der Nutzungsphase verantwortlich dafür, dass frische Rohmaterialien benötigt werden. Diese sollten in der Circular Plastics Economy nicht mehr aus fossilen Quellen stammen. Bereits etablierte Herstellpfade für biobasierte Kunststoffe können in naher Zukunft ausgebaut werden, um die Versorgung zu gewährleisten und auf fossile Quellen zu verzichten. Bedingung dafür ist eine spürbare Aufwertung ihrer Wirtschaftlichkeit durch das konsequente Einbeziehen der externen Kosten (v. a.

durch die Klimakrise) in die Materialpreise. Zudem muss der technologische Fortschritt bei Biokunststoffen weiter gefördert werden. Ihre Kreislauffähigkeit kann durch die Innovation fortschrittlicher Recyclingtechnologien optimiert werden. Die vorteilhaften Eigenschaften einiger Biokunststoffe könnten diesen Prozess unterstützen. Im Kontext der biobasierten Kreislaufwirtschaft ist nicht zuletzt der Teilaspekt der Verwendung von Rezyklat für die erfolgreiche Etablierung essenziell. Somit haben biobasierte Kunststoffe ein großes Potenzial, Teil der Lösung zu sein, unsere Welt nachhaltiger zu machen.

Nach weitgehender Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare, klimafreundliche Technologien könnten sich unter diesen Randbedingungen auch Prozessketten auf der Basis von Kohlendioxid durchsetzen. Dann kann die notwendige Biomasseversorgung für die Kunststoffherstellung wieder zurückgehen, was angesichts des ebenfalls nur begrenzt vorhandenen nachhaltigen Biomasseangebots Konflikte mit anderen wichtigen Biomassenutzungspfaden vermeidet.

Wie lange es auch dauern mag – um die Kunststoffindustrie zu transformieren, sind in den nächsten Jahren weitere technologische Innovationen und neue Geschäftsmodelle erforderlich. Wir, am Fraunhofer UMSICHT und im Fraunhofer Cluster Circular Plastics Economy CCPE, arbeiten mit unseren Partnern unermüdlich daran. ■

**In der nächsten Ausgabe:**

Was ist bei der **Lebensmittel-Versorgung** wichtiger: **Nachhaltigkeit** oder **Sicherheit** und **Qualität**?

**Somit haben biobasierte Kunststoffe ein großes Potenzial, Teil der Lösung zu sein, unsere Welt nachhaltiger zu machen.**

## Sicherheit

# Souverän im Space

Um die europäische Kommunikationsinfrastruktur resilienter zu machen und technologische Souveränität im All zu gewinnen, will die EU bis 2027 ein eigenes Satellitenetzwerk aufbauen. Dafür sind neue Lösungen gefragt.

Von Mandy Bartel,  
Fotografie: Thomas Straub





Blick in die Ferne: Dr. Nadya Ben Bekhti-Winkel und Dr. Lars Fuhrmann auf dem Weltraumaufklärungsradar TIRA in Wachtberg. In 15 Sekunden kann sich die 240 Tonnen schwere Antenne einmal um die eigene Achse drehen sowie 1000 Kilometer entfernte Satelliten verfolgen und in hoher Auflösung abbilden.



Funkt's richtig? In der Antennentesthalle des Fraunhofer IIS in Erlangen prüft Rainer Wansch die Eigenschaften von Antennen für die Satellitenkommunikation und evaluiert ihre Leistungsfähigkeit.

»Durch On-Board-Prozessoren lassen sich die Signale direkt in den Satelliten aufbereiten. Sie werden so selbst zu intelligenten Netzwerkkomponenten, mit denen Datenströme bedarfsgerecht gesteuert werden können.«

Rainer Wansch, Fraunhofer IIS

»So wie Quantencomputer keine Smartphones ersetzen werden, wird Quantenkommunikation nicht herkömmliche Kommunikationstechnologien ersetzen.«

Fabian Steinlechner, Fraunhofer IOF



Sicher mit Laserlicht:  
Dr. Fabian Steinlechner  
erforscht am Fraunhofer  
IOF in Jena, wie Kommuni-  
kation via Satelliten durch  
verschränkte Photonen  
abhörsicher werden kann.



**E**s begann mit dem Internet in der Ukraine. Als das Netz unter den russischen Angriffen zusammenbrach, war es ein privates Satellitennetzwerk, das die digitale Kommunikation im Land wieder möglich machte. Die Erleichterung über die schnelle Hilfe von US-Unternehmer Elon Musk mit Starlink ging in Europa schnell in Unbehagen über: Augenscheinlich war kein europäischer Staat in der Lage, die Ukraine in diesem strategisch wichtigen Punkt zu unterstützen. Der Krieg machte zwei Probleme unübersehbar: Wie verletzlich terrestrische Infrastruktur ohne ein Back-up aus dem All ist. Und wie abhängig Europa bei Weltraumtechnologien und satellitengestützter Kommunikation von Dritten ist.

Das will die EU nun ändern. Bis 2027 soll eine Konstellation aus bis zu 200 Satelliten die europäische Souveränität im Weltall und damit auch am Boden garantieren. Ziele des Großvorhabens mit Namen IRIS<sup>2</sup> (Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite) sind nicht nur die sichere Vernetzung kritischer Infrastrukturen und ein resilientes Krisenmanagement für Regierungen, sondern auch die flächendeckende Breitbandanbindung in Europa, insbesondere in bisher unterversorgten Gebieten. Damit will die EU technologisch aufschließen zu privaten Initiativen: Neben Starlink – mit derzeit etwa 4000 Satelliten in 500 bis 550 Kilometern Höhe, 8000 weitere sollen folgen – ist auch der britische Anbieter OneWeb mit momentan circa 600 Satelliten im All aktiv. Mit Project Kuiper hat Amazon eine weitere Mega-Konstellation angekündigt. Und auch China plant bereits ein Netzwerk im fünfstelligen Bereich.

»Immer mehr Länder wollen ihre Souveränität durch eigene Satellitenkonstellationen ausbauen.«

Dr. Nadya Ben Bekhti-Winkel,  
Fraunhofer-Allianz AVIATION & SPACE

»Immer mehr Länder wollen ihre Souveränität durch eigene Satellitenkonstellationen ausbauen«, stellt Dr. Nadya Ben Bekhti-Winkel fest. Die stellvertretende Leiterin der Geschäftsstelle SPACE der Fraunhofer-Allianz AVIATION & SPACE war – zusammen mit 14 Organisationen aus fünf Ländern – beteiligt an einer Machbarkeits- ▶



Dr. Nadya Ben Bekhti-Winkel von der Fraunhofer-Allianz AVIATION & SPACE besucht das Radom des Fraunhofer FHR in Wachtberg, das TIRA beherbergt.

und Konzeptstudie für eine europäische Breitband-Satellitenkonstellation. Das Ziel: neue Ideen und Technologien dafür zu entwickeln, zu analysieren und zu bewerten. Vier Bereiche sind dafür zentral: Erstens eine robuste, resiliente Kommunikation zwischen den Satelliten durch die Verknüpfung von Funk mit optischen, laserbasierten Technologien. Zweitens größtmögliche Abhörsicherheit durch Quantenverschlüsselung. Drittens ein von GPS unabhängiger Betrieb der Satelliten sowie die Interoperabilität mit bereits bestehenden europäischen Systemen wie Galileo und Copernicus. »Und viertens«, fügt die Weltraumexpertin hinzu, »die Skalierbarkeit des Gesamtsystems.« Zudem führte das Konsortium Kundenanalysen durch, um den Nutzen für staatliche Organisationen, die Industrie und private Haushalte herauszuarbeiten und entsprechende Business Cases aufzustellen.

# Messen in der Unendlichkeit

Von Mehmet Toprak

Die Reise hat am 14. April 2023 um 14:14 Uhr (MESZ) begonnen, das 800 Millionen Kilometer entfernte Ziel soll in acht Jahren erreicht sein: Dann wird die Raumsonde JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer) am größten Planeten unseres Sonnensystems ankommen und ihn und seine Monde fast fünf Jahre lang umkreisen. Mit an Bord als eines von zehn Messinstrumenten ist das Ganymed-Laser-Altimeter GALA, dessen Empfangsteleskop im »Optical Valley« in Jena am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF entwickelt wurde.

Das System erstellt ein Oberflächenprofil von Ganymed, dem größten Mond des Jupiter und mit seinen Eigenschaften der Erde ähnlich. Dafür misst GALA die Laufzeit, die ein emittierter Laserimpuls aus einer Flughöhe von rund 500 Kilometern für die Strecke vom Raumfahrzeug zur Mondoberfläche und zurück benötigt.

Die reflektierten Photonen werden vom Teleskop aufgefangen und an einen Detektor weitergeleitet. Aus der unterschiedlichen Laufzeit der reflektierten Laserim-

pulse, die GALA auf eine Nanosekunde genau misst, entsteht ein Modell des Höhenverlaufs der Oberfläche der Eisschicht. Falls sich unter der Eisschicht Ozeane befinden, würde dies durch Gezeitenkräfte zu einer Veränderung des Oberflächenprofils führen. Die Messungen mit GALA sind mit einer Höhenauflösung von zehn Zentimetern so präzise, dass diese Veränderung detektiert werden kann. Die These von flüssigem Wasser unter der zerklüfteten Eisschicht könnte verifiziert werden und somit die Suche nach Lebensformen außerhalb der Erde beflügeln.

Für den Bau des Metallspiegels im Teleskop verwendeten die Forschenden um Dr. Stefan Risse, Leiter der Abteilung Präzisionsoptische Komponenten und Systeme am Fraunhofer IOF, eine Speziallegierung aus Aluminium-Silizium, auf die mittels Galvanik eine nur 200 Mikrometer dicke Nickel-Phosphor-Legierung aufgebracht wurde. Diese röntgen-amorphe Dickschicht ist notwendig, um die Oberfläche der Spiegel am Fraunhofer IOF exakt formen und glätten zu können und letztlich

die hohe optische Leistungsfähigkeit und das Reflexionsvermögen zu erreichen. Das Team nutzt hierfür diverse Techniken wie Ultra-Präzisionsdrehen mit Diamantwerkzeugen bis hin zu weiterentwickelten chemischen und mechanischen Polierverfahren. Zusätzlich wurde in einem speziellen Verdampfungsverfahren eine mikroskopisch dünne Goldschicht aufgebracht – Gold ist ein fast perfekter Reflektor für das Laserlicht im infraroten Spektralbereich.

Die Herstellung eines Spiegels dauert zehn bis zwölf Monate, und die Entwicklung des gesamten Instruments vier bis fünf Jahre. Die Spezialmaschinen stehen auf Fundamenten, die von auftretenden Schwingungen im und um das Gebäude entkoppelt sind. Zusätzlich wird der Herstellungsprozess in die Nachtstunden verlegt. »Schon ein vorbeifahrender Bus, ein Auto, selbst eine zuklappende Tür im Gebäude würde das Ultrapräzisionsdrehen – und die Polierprozesse – stören«, umreißt Stefan Risse den Aufwand, der für die höchstmögliche Präzision betrieben werden muss.

## Mehr, kleiner, billiger – Satelliten im New Space

Wirtschaftlichkeit ist heute auch im Weltraum wichtig: Willkommen im Zeitalter des New Space! Waren früher Satellitenprojekte ausschließlich von staatlicher Seite getrieben und finanziert, zeigt sich heute immer mehr privatwirtschaftliches Engagement. Der Löwenanteil der benötigten Raumfahrtanwendungen soll von Industrieunternehmen und Start-ups kommen – und sich für diese auch finanziell lohnen. Statt großer Systeme mit anspruchsvoller Technik bilden im New Space miteinander kommunizierende Kleinsatelliten leistungsfähige Netzwerke. »Kleinsatelliten lassen sich günstiger und schneller fertigen als große, konventionelle Satelliten. Unternehmen können damit früher auf den Bedarf des Marktes reagieren. Die Möglichkeit der günstigen Serienfertigung erlaubt es, große Satellitenkonstellationen aufzubauen für ganz neue kommerzielle Dienstleistungen und wissenschaftliche Anwendungen. Für Fraunhofer

ergeben sich dabei spannende Forschungsfragen beispielsweise im Bereich intelligenter Systeme, innovativer Nutzlasten, moderner Fertigungsverfahren bis hin zur Anwendungsentwicklung«, sagt Prof. Frank Schäfer, Geschäftsfeldleiter Raumfahrt am Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, in Freiburg. Sein Institut erforscht und entwickelt Technologien für den New Space und hat mit ERNST den ersten ▶

»ERNST gibt uns ganz neue Möglichkeiten, verschiedenste Technologien auf einer eigenen Satellitenplattform zu erforschen.«

Prof. Frank Schäfer, Fraunhofer EMI

Bis zu zwölf Monate dauert es, das Spiegelteleskop für das Laseraltimeter GALA herzustellen. Häufig wird nachts gearbeitet, damit möglichst wenige Erschütterungen die Präzisionsfertigung stören.



### Härteste Belastungen

Die Optik von GALA ist außen an der Raumsonde angebracht und muss härtesten Belastungen standhalten: enorme Beschleunigungskräfte beim Start, eisige Temperaturen bis zu minus 50 °C, große Temperaturgradienten und extreme kosmische Strahlung. »Wir mussten sicherstellen, dass GALA auf seiner achtjährigen Reise zum Jupiter und bei der Untersuchung von Ganymed intakt bleibt und seine Leistung in vollem Umfang beibehält«, erklärt Dr. Henrik von Lukowicz, Leiter der Arbeitsgruppe Präzisionssysteme. Nach der sorgfältigen und hochgenauen Fertigung haben Vibrations- und Thermal-Vakuumtests und Bestrahlungen im Labor gezeigt, dass GALA den Herausforderungen der Reise durchs All und den harschen Bedingungen am Jupiter gewachsen ist.

### Bis zu 430 Grad Hitze

Schon seit dem 20. Oktober 2018 ist ein weiteres Fraunhofer-Messinstrument im All unterwegs. Das Infrarotspektrometer MERTIS (Mercury Radiometer and Thermal Infrared Spectrometer) fliegt mit der europäisch-japanischen Raumsonde BepiColombo zum Merkur. Die ebenfalls am Fraunhofer IOF entwickelte reflektive

Infraroptik soll die Mineralien und Elemente auf der Oberfläche des Merkur bestimmen. Durch Vorbeiflüge an der Venus wird die Geschwindigkeit der Raumsonde so abgebremst, dass sie bis 2025 in die Umlaufbahn des Merkur einschwenken kann. Auch hier muss das Instrument extremen Bedingungen standhalten: Auf dem Merkur herrschen Temperaturunterschiede von minus 170 bis zu plus 430 °C. Erste Untersuchungsergebnisse beim Vorbeiflug an der Venus haben die Funktion des Spektrometers bestätigt.

Dass ihre Weltraumtechnik den Herausforderungen des Weltalls gewachsen ist, haben die Fraunhofer-Forschenden bereits unter Beweis gestellt: Für das James-Webb-Space-Telescope entwickelten und fertigten sie die Metallspiegel für das MIRI-Instrument (Mid-Infrared Instrument). Das Teleskop richtet seinen Blick aus unserem Planetensystem hinaus in die Ferne. MIRI ist in der Lage, Licht einzufangen, das vor 13,5 Milliarden Jahren entstanden ist, also kurz nach dem Urknall. Seit Juli 2022 liefert es beeindruckende Bilder aus fernen Galaxien. Wissenschaftler Risse ist begeistert: »Wir wussten natürlich, wozu das Teleskop in der Lage ist, aber diese fantastische Brillanz und Auflösung der Bilder beeindruckt uns immer wieder.«



Prof. Frank Schäfer macht ERNST: Bevor der erste Fraunhofer-eigene Forschungssatellit ERNST 2024 ins All fliegt, wird er im Labor des Fraunhofer EMI in Freiburg auf Herz und Nieren getestet – hier ein Check des Solarmoduls.

Fraunhofer-eigenen Forschungssatelliten gebaut, der 2024 ins All starten soll.

Gebaut mit Forschungsmitteln der Bundeswehr, soll ERNST in einer erdnahen Umlaufbahn weltweit Raketenstarts detektieren. Die eingebaute Infrarotkamera kann die Wärme erkennen, die heiße Rakentriebwerke abstrahlen. Der Nanosatellit, der nur halb so klein wie ein Bierkasten ist, eignet sich aber auch für andere wichtige Aufgaben: Waldbrände erkennen, Treibhausgase detektieren oder Meerestemperaturen messen. Als modulare Plattform liefert er wichtige Erfahrungswerte darüber, wie ein Satellit konzipiert sein muss, um möglichst viel leistungsfähige Nutzlast auf kleinem Raum unterzubringen. »ERNST gibt uns ganz neue Möglichkeiten, verschiedenste Technologien auf einer eigenen Satellitenplattform zu erforschen«, sagt Frank Schäfer. »Diese Erkenntnisse fließen auch in die Planung zukünftiger Konstellationen von Kleinsatelliten ein.«

Da viele kleine Satelliten in niedrigen Erdorbits die Erde häufiger umrunden, eignen sich Konstellationen solcher Nanosatelliten zum einen für die Erdbeobachtung, wo möglichst viele Bilder von einem Ort beispielsweise lokale Veränderungen dokumentieren sollen. Mit entsprechender Ausstattung können sie zum anderen durch zeitlich permanente Verfügbarkeit ein flächendeckendes Internet sicherstellen. Mit seinen etwa 200 Einzelsatelliten wird IRIS<sup>2</sup> – verglichen mit den vierstelligen Satellitenzahlen der privaten Netzwerke – eher überschaubar. Dafür sollen sie intelligent auf mehrere Orbits verteilt werden, denn von höheren Umlaufbahnen aus können sie größere Gebiete abdecken.

### Wie's richtig funkt

Kritisch bei Satellitenschwärmen über mehrere Orbits hinweg ist vor allem die Kommunikation mit den Bodenstationen. Bei IRIS<sup>2</sup> sollen sowohl modernste Funk- als auch optische Technologien via Laser zum Einsatz kommen. »Eine der größten Herausforderungen beim Aufbau einer neuen Satellitenkonstellation sind die verfügbaren Funkfrequenzen«, sagt Nadya Ben Bekhti-Winkel. »Das elektromagnetische Spektrum ist sehr begrenzt, und auch bei immer mehr Satelliten im Orbit dürfen sich die Funkbereiche unterschiedlicher Dienste nicht gegenseitig stören. Deshalb müssen sie gut abgeschirmt werden; mit Kompatibilitätsstudien muss nachgewiesen werden, dass sich nichts überlagert.« In Deutschland erfolgt die restriktive Vergabe der Frequenzen und deren nationale sowie internationale Regulierung über die Bundesnetzagentur.

Satellitenkommunikation muss also möglichst effizient mit den verfügbaren Frequenzen haushalten.



Daran arbeitet Rainer Wansch, Abteilungsleiter Hochfrequenz- und SatKom-Systeme, mit seinem Team am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen. Die Forschenden waren bereits beteiligt bei der Standardisierung von DVB-S2X, dem derzeit fortschrittlichsten Standard der Satellitenkommunikation. Mit dem sogenannten Beam Hopping nutzen sie ein neues Konzept, das die Datenübertragung via Satellit flexibel an das jeweilige Datenaufkommen in verschiedenen Gebieten anpassen kann. »Bisher versorgt ein Satellit bestimmte Bereiche statisch mit Daten. Beim Beam Hopping schaltet er zwischen verschiedenen Ausleuchtzonen hin und her – basierend auf einem Zeitplan, der die aktuell benötigten Datenraten berücksichtigt«, erklärt Wansch. »So lassen sich mit einer Antenne mehrere Bereiche abdecken – und die Übertragungskapazität steht in voller Bandbreite immer genau dort zur Verfügung, wo sie gerade gebraucht wird.« Dafür sind sogenannte modulare Phased-Array-Antennen auf den Satelliten nötig. Deren Einzelstrahlen sind elektronisch ansteuerbar und damit viel flexibler als bisherige mechanisch gesteuerte Antennen.

### Integration in 5G ist entscheidend

Eine globale Mobilfunkabdeckung funktioniert nur zuverlässig, wenn die Satellitenkommunikation in die terrestrische Kommunikation wie das 5G-Netz eingebunden ist. Dafür sollen auch die Endgeräte perspektivisch direkt mit den Satelliten kommunizieren können – selbst dann, wenn gerade keine terrestrische Basisstation in der Nähe ist, die dafür bislang unverzichtbar ist. Je nach Empfangslage könnten Smartphones oder auch autonome Fahrzeuge zukünftig also die 5G-Verbindung wahlweise über eine terrestrische Station oder direkt via Satellit aufbauen. Mit einer solch flexiblen Kombination aus Glasfaser- und Satelliteninternet wäre eine vollständige Netzabdeckung in Deutschland möglich – Funklöcher ade. Die unmittelbare Kommunikation zwischen Satelliten und 5G-fähigen Endgeräten in einem sogenannten nicht-terrestrischen Netz (NTN) konnten die Forschenden des Fraunhofer IIS um Rainer Wansch 2021 erstmals erfolgreich an einem geostationären Satelliten zeigen, der fest über einem bestimmten Punkt der Erdoberfläche fliegt.

Um solche NTN, effiziente Übertragungskonzepte und weitere Satellitentechnik zu erproben, entwickelten die Funkexperten mit dem »Fraunhofer-On-Board-Prozessor« (FOBP) eine Art Satellitenkommunikationslabor, das Forschung und Industrie für Experimente buchen können. Das fliegende Labor hob im Sommer an Bord des Kommunikationssatelliten »Heinrich Hertz« (H2Sat) ins All ab und übernimmt dort die digitale Signalverarbeitung. »Bisher fungieren Kommunikationssatelliten als

reine Verteilpunkte, die die Signale von der Erde empfangen, verstärken und an andere Bodenstationen weitersenden, wo sie verarbeitet werden«, verdeutlicht Wansch. »Durch On-Board-Prozessoren lassen sich die Signale direkt in den Satelliten aufbereiten. Sie werden so selbst zu intelligenten Netzwerkkomponenten, mit denen Datenströme bedarfsgerecht gesteuert werden können.« Da der Prozessor von der Erde aus jederzeit an neue Kommunikationsstandards angepasst werden kann, eignet er sich für vielfältige Experimente und Anwendungen.

### Mit Licht kommunizieren

Immer mehr Daten, begrenzte Funkfrequenzen – am Ende dieses Tunnels gibt es: Licht! Denn auch Licht lässt sich für die Kommunikation zwischen Satelliten und Erdstationen nutzen. Wie man immer größere Datenmengen mit Lichtgeschwindigkeit über immer längere Distanzen durchs All senden kann, erforschen unter anderem die Jenaer Optikexperten am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF. Sie entwickeln sowohl Laserquellen, um das Licht zu erzeugen, als auch optische Verstärker, um seine Reichweite zu maximieren.

Eine ihrer Lösungen ist der Wellenlängenmultiplexer: ein Gerät, das mehrere Laserstrahlen in verschiedenen Wellenlängen kombiniert. Jeder einzelne Laserstrahl stellt mit seiner spezifischen Wellenlänge einen Kanal dar, der momentan mit jeweils 20 Watt Leistung Daten übertragen kann. Durch diesen Mehrkanal-Ansatz sind hohe Übertragungsraten möglich. Zudem fasst der Multiplexer diese Kanäle zu einem einzigen, stärkeren Signal zusammen. Die Überlagerung von fünf Kanälen ermöglicht also insgesamt 100 Watt optische Leistung und damit eine sehr hohe Reichweite. Auf diese Weise ist eine optische Verbindung bis zum Mond denkbar. So könnten auch über mehrere Orbits hinweg verteilte Satelliten problemlos via Licht mit den Erdstationen kommunizieren. Derzeit arbeiten die Forschenden an einem System mit 1000 Watt Leistung, das sich perspektivisch auch auf 10 000 Watt skalieren lassen soll. Damit wäre es sogar möglich, den Mars mit Daten von der Erde zu erreichen.

### Sicher mit Quantenverschlüsselung

Neben Reichweite und Kapazität bietet Licht einen weiteren Vorteil: Verschränkte Lichtteilchen machen den Datenaustausch besonders sicher – in der heutigen unsicheren Weltlage ist das unabdingbar. Kritische Informationen staatlicher oder militärischer Stellen müssen zuverlässig vor Zugriffen Unbefugter geschützt werden. Deshalb will die EU als Pionier auf das Prinzip der Quantenschlüsselverteilung, kurz QKD (Quantum ►

Key Distribution), setzen. Und das könnte sich als echter Vorteil gegenüber Starlink und den anderen kommerziellen Netzwerken erweisen. Ziel ist es, zwei Partnern, die beliebig weit voneinander entfernt sind, geheime symmetrische Schlüssel zur Verfügung zu stellen. Das kann mithilfe verschränkter Lichtteilchen geschehen. Diese Photonen sind in ihren Eigenschaften so eng miteinander verbunden, dass die Messung des einen Teilchens sofort auch den Zustand des anderen festlegt. Greift jemand Unbefugtes ein, wird diese Verbindung augenblicklich zerstört, was ein Abhören quasi unmöglich macht. Mit QKD wäre die Kommunikation selbst vor Quantencomputern sicher, für die es bald ein Leichtes sein könnte, viele der klassischen Verschlüsselungsmethoden zu knacken.

### Über lange Strecken, bei Tag und Nacht

Über kürzere Distanzen am Boden ist der Austausch der Quantenschlüssel schon problemlos möglich. Längere Reichweiten über Kontinente hinweg, wie es für die globale Quantenkommunikation nötig wäre, bleiben noch eine Herausforderung. Zu viele der fragilen Lichtteilchen gehen verloren. Am Fraunhofer IOF arbeitet Dr. Fabian Steinlechner mit seinem Team gleich in mehreren Projekten an Lösungen. So entwickeln sie zum Beispiel weltraumtaugliche, miniaturisierte Photonenquellen in der Größe eines Milchkartons, die als Sender auf den Satelliten fungieren sowie die verschränkten Lichtstrahlen erzeugen und zur Erde senden. Empfangen werden diese in der Bodenstation mit optischen Spiegelteleskopen, in ihrer Größe vergleichbar mit TV-Parabolspiegeln. Von dort gehen sie weiter ins Glasfasernetz, über das sie an die Empfänger verteilt werden. Die Quantenkommunikation via Freistrahl will der Optikexperte gemeinsam mit acht europäischen und kanadischen Forschungspartnern zu skalierbaren globalen Quantennetzwerken weiterentwickeln. »Im Projekt Hyperspace erarbeiten wir erste Konzepte dafür, wie wir verschränkte Photonen über längere Distanzen von 6000 Kilometern und mehr übertragen können. Dazu gehört zum Beispiel eine rauschresistente Zustandskodierung der Lichtquanten oder die sogenannte Hyperverschränkung. Dabei sind die Teilchen nicht nur über eine, sondern über mehrere Eigenschaften miteinander verschränkt. Das könnte die Informationsübertragung sowohl schneller als auch effizienter machen.«

Drei Hürden gibt es allerdings bei der optischen Kommunikation per Satellit: Sonnenlicht, Wolken und atmosphärische Turbulenzen. Sie verringern die Qualität der Lichtsignale spürbar oder verschlechtern die Sichtbarkeit. Um auch bei Tageslicht brauchbare Signale zu erhalten, setzen die Quantenexperten verschiedene Filter ein: »Da man weiß, aus welcher Richtung und zu welchem Zeit-

punkt die Datensignale losgeschickt wurden, kann man diese mithilfe räumlicher und zeitlicher Filter vom Sonnenlicht unterscheiden und herausfiltern«, erklärt Fabian Steinlechner. »Zudem lässt sich mit spektralen Filtern das Spektrum auf die entsprechenden Wellenlängen eingengen.«

Die Korrektur von Lichtstrahlen, die durch Turbulenzen abgelenkt werden, ist durch sogenannte adaptive Optiken (AO) möglich. Vorstellen kann man sich diese als flexible, deformierbare kleine Spiegel in den Empfangsteleskopen, die von mehreren Stellelementen in Form gebracht werden, um den Lichtstrahl wieder exakt so auszurichten, dass er vom Teleskop empfangen werden kann. Mithilfe dieser AO-Spiegel lässt sich das Licht auch weiter fokussieren und in ein Glasfaserkabel mit etwa zwei Millimetern Durchmesser leiten. Die bisher noch größte zu lösende Herausforderung sind Wolken, denn sie verhindern das Durchkommen der optischen Signale oft ganz. Hier helfen laut Steinlechner Redundanzen mit anderen Technologien wie Funk oder die Umleitung zu weiteren Satelliten über wolkenfreien Gebieten. Zudem lassen sich die Quantenschlüssel auch im Voraus erstellen, sodass eine sichere Kommunikation nicht zwangsläufig von der Bewölkung abhängt.

All das macht Quantenkommunikation technologisch heute noch zu aufwendig, um universelle Breitbandverbindungen zu sichern. »So wie Quantencomputer keine Smartphones ersetzen werden, wird Quantenkommunikation nicht herkömmliche Kommunikationstechnologien ersetzen«, sagt der Forscher. Zwar sieht er die technologische Reife bis 2027, wenn IRIS<sup>2</sup> an den Start gehen soll, durchaus weit genug gediehen, aber eben nur für bestimmte Einsatzgebiete. So ist beispielsweise denkbar, dass mithilfe der europäischen Satelliten ein temporäres hochsicheres Internet für besonders sicherheitskritische Anwendungen oder Anlässe wie den G7-Gipfel aufgebaut wird. Wie das möglich ist, demonstrierte das Forscherteam kürzlich in einem Schlüsselexperiment im Rahmen der vom BMBF geförderten Initiative QuNet. Darin erstellten sie ein Adhoc-Quantennetzwerk zwischen drei Standorten in Jena, über das diese abhörsicher miteinander kommunizieren konnten.

### Nachhaltigkeit als Wettbewerbsvorteil

Noch sind die privaten Satellitennetzwerke dem europäischen Netzwerk in der Entwicklung um einige Jahre voraus. Doch es gibt neben dem Einsatz von Quantentechnologie einen weiteren Punkt, wo IRIS<sup>2</sup> Vorreiter werden könnte: Die Konstellation soll nachhaltiger als andere werden. So ist geplant, die Emission von Treibhausgasen bereits beim gesamten Entwicklungsprozess





Die Weltraumlage im Blick:  
Dr. Lars Fuhrmann am Fraunhofer FHR kann mit TIRA die Bahndaten und Rotationsparameter von Satelliten oder Weltraumschrott genau erfassen.

zu minimieren. Ein bislang wenig thematisiertes Problem ist die Lichtverschmutzung. Am Nachthimmel leuchten längst nicht nur Sterne, sondern sehr viele Satelliten – und es werden immer mehr. Die International Astronomical Union erachtet die Folgen der Konstellationen für bedenklich, da sie das Sonnenlicht reflektieren und so astronomische Beobachtungen stören. »Deshalb ist es auch der Anspruch von IRIS<sup>2</sup>, die visuelle Helligkeit der Satelliten zu reduzieren, zum Beispiel mit speziellen, nicht reflektierenden Beschichtungen«, führt Nadya Ben Bekhti-Winkel aus.

Und dann ist da noch das große Problem der unerwünschten Hinterlassenschaften: Mehr Satelliten bedeuten potenziell mehr Weltraumschrott durch losgelöste Teile, defekte oder ausgediente Objekte. Dadurch steigt das Kollisionsrisiko. Etwa 30 000 Teile, die größer sind als zehn Zentimeter, und mehr als eine Million mit einer Größe zwischen einem und zehn Zentimetern rasen momentan laut ESA mit Geschwindigkeiten von bis zu 50 000 Stundenkilometern um die Erde. Selbst ein winziger Schrottteil entfaltet beim Aufprall die Wucht einer Handgranate. Am Fraunhofer EMI untersuchen Forschende die Auswirkungen derartiger Einschläge auf Satelliten

experimentell im Labor. Mit einer eigenen Software führen sie Risikoanalysen durch, um Schwachstellen schon in der Designphase von Satelliten zu erkennen und Schutzschilde einzuplanen. Viele Hersteller statten ihre Satelliten zudem mit Triebwerken aus, damit sie großen Schrottteilen und Flugkörpern mit messbaren Flugbahnen ausweichen können.

Um sowohl die Nachhaltigkeit im All als auch die Sicherheit am Boden zu erhöhen, muss schon beim Bau der Satelliten sichergestellt werden, dass sie restlos verglühen, wenn sie nach ihrer Laufzeit wieder in die Erdatmosphäre eintreten. Das Problem: In 600 Kilometern Höhe kreist Weltraummüll etwa 25 Jahre, bevor sich seine Geschwindigkeit so weit abbremst, dass er in der Atmosphäre verglüht. In 800 Kilometern Höhe kann dies bereits 150 Jahre dauern. Vorreiter dabei, das Schrottnproblem zu lösen, ist Frankreich: Hier ist die Entsorgung von Satelliten am Ende ihrer Mission gesetzlich geregelt. Auch ERNST nimmt den Schutz des Weltraums ernst: Ein Bremssegel mit einer Größe von 1,6 x 1,6 Metern entfaltet sich am Ende der Betriebszeit und verkürzt die Verweildauer des Fraunhofer-Nanosatelliten in 500 Kilometern Höhe von wenigen Jahren auf wenige Monate. ▶

## Satelliten und Weltraumschrott mit Radar im Blick

Je voller es im erdnahen Orbit wird, desto wichtiger ist ein möglichst vollständiger und aktueller Überblick. Vor allem da es weder eine weltweite Institution noch internationale Abkommen gibt, die regulieren oder überwachen, wer wie viele Satelliten ins All schickt. In puncto systematische Weltraumüberwachung griff Deutschland bislang vor allem auf Daten von US-Behörden zurück, die mitunter andere Schwerpunkte setzen oder bestimmte Informationen nicht offenlegen. So wuchs in den vergangenen Jahren das Bewusstsein, auch bei diesem kritischen Thema möglichst unabhängig von den Daten anderer sein zu müssen. Deshalb entsteht nun mit GESTRA (German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar) ein eigenes Weltraumüberwachungssystem. Mit

»Der Radarbeam des Trackingradars kann in 1000 Kilometern Entfernung auf drei Meter genau auf ein Objekt positioniert werden. Gleichzeitig können wir zwei Zentimeter kleine Trümmerteile in gleicher Distanz detektieren.«

Dr. Lars Fuhrmann, Fraunhofer FHR

modernster Radartechnik beobachtet es Objekte in 300 bis 3000 Kilometern Höhe. Aus allen Objektdetektionen berechnet das deutsche Weltraumlagezentrum Bahn-daten, die in einer Art großen Verkehrskarte, dem sogenannten Bahndatenkatalog, erfasst werden. Auf Basis dieses Katalogs lassen sich etwaige Kollisionsrisiken abschätzen. Da die Objekte durch verschiedene Einflüsse mitunter ihre Bahnen ändern, müssen sie kontinuierlich beobachtet und die Karte ständig angepasst werden.

Entwickelt wurde GESTRA am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg bei Bonn für die Deutsche Raumfahrtagentur des DLR. Derzeit befindet es sich auf der Schmidtenhöhe bei Koblenz im Testbetrieb, soll aber so bald wie möglich an das DLR übergeben werden. »Das Besondere an GESTRA ist seine Phased-Array-Technologie«, verdeutlicht Dr. Lars Fuhrmann, Leiter des Bereichs Radar zur Weltraumlageerfassung beim Fraunhofer FHR. »Sie erzeugt elektronisch schwenkbare Radarbeams, die sich großflächig wie ein

riesiger Zaun aufspannen lassen. Objekte, die durch diesen Zaun fliegen, werden erfasst. Das Radar deckt einen Bereich von bis zu 90° x 15° am Himmel ab. Zur Veranschaulichung: Der Durchmesser des Mondes am Himmel entspricht von der Erde aus gesehen etwa einem halben Grad. Damit entspricht die Fläche des GESTRA-Suchzauns am Himmel etwa 180 x 30 Monddurchmessern.«

Weltweit einmalig ist GESTRA auch, weil es sehr kompakt und teilmobil ist – seine Komponenten passen in wenige Container. Somit lässt sich das System nicht nur leicht an andere Orte bringen, um weitere Bereiche des Himmels zu erfassen, sondern es ist auch skalierbar. Perspektivisch ließen sich also mehrere Systeme weltweit positionieren, um zum Beispiel das gleiche Objekt von mehreren Standpunkten aus zu beobachten und damit noch genauere Daten zu erhalten. Mit diesem Ziel kooperiert das Fraunhofer FHR mit der Hensoldt AG, die das Weltraumüberwachungsradar in ein serienreifes, operationell einsatzfähiges System überführen will.

## Die Weltraumaufklärer

Ein umfassender Überblick über das Geschehen im erdnahen Weltraum ist wichtig, doch manchmal sind detailliertere Informationen zu einem bestimmten Objekt – ob aktiver Satellit oder Weltraumschrott – gefragt. Ein Fall für den Weltraumaufklärungssensor TIRA (Tracking and Imaging Radar). Das ebenfalls am Fraunhofer FHR entwickelte und betriebene Radarsystem steht, etwa 60 Kilometer vom GESTRA-Standort entfernt, unter der weißen Kuppel des Radoms in Wachtberg bei Bonn. Es ist das bislang einzige System außerhalb der USA, das es erlaubt, vom Boden aus Bahnen von Weltraumobjekten mit sehr hoher Genauigkeit zu vermessen und Satelliten mit hoher Auflösung abzubilden.

Während GESTRA einen Überblick über das große Ganze gibt, schaut TIRA genauer hin: Wie ist das Objekt beschaffen? Ist ein Satellit durch eine Kollision beschädigt? Wie entwickelt sich seine Flugbahn oder sein Rotationsverhalten? Wann und wie tritt das Objekt wieder in die Erdatmosphäre ein? Um derlei Fragen zu beantworten, nutzt das TIRA-System sowohl einen leistungsfähigen Radar für das präzise Tracking der Objekte als auch einen hochauflösenden Radar für die feine Objektabbildung. Beide sind in der Großantenne mit einem Durchmesser von 34 Metern integriert.

Für das Tracking der schnellen Satelliten oder Schrottteile sind vor allem Geschwindigkeit und Präzision gefragt, denn sie sind meist schon nach wenigen Minuten wieder hinter der Erdkrümmung verschwunden. Und schnell ist TIRA: Die riesige, etwa 240 Tonnen schwere Antenne des Systems kann sich in 15 Sekunden einmal um die eigene

Achse drehen. »Das ist Weltrekord«, sagt Lars Fuhrmann und verdeutlicht: »Das System kombiniert hohe Positionierungsgenauigkeit und Empfindlichkeit. Der Radarbeam des Trackingradars kann in 1000 Kilometern Entfernung auf drei Meter genau auf ein Objekt positioniert werden. Gleichzeitig können wir zwei Zentimeter kleine Trümmerteile in gleicher Distanz detektieren.«

### Rückholmissionen für ausgediente Satelliten

Genutzt wird TIRA ebenfalls als Experimentalsystem, um neue Verfahren zur Weltraumbeobachtung am Fraunhofer FHR sowie in Kooperation mit Weltraumorganisationen wie ESA oder DLR zu entwickeln. »Die Einsatzfelder reichen von genauen Bahnberechnungen bis hin zu hochtechnischen Analysen von auffälligen oder anderweitig interessanten Satelliten«, führt Fuhrmann aus. »Wir erstellen Serien hochaufgelöster Radarbilder, zum Beispiel um den Stabilisierungszustand und die Rotationseigenschaften ausgefallener Satelliten zu untersuchen.« So halfen die TIRA-Experten im Vorfeld der für 2025 geplanten ersten europäischen ClearSpace-Mission mit der Charakterisierung eines Objekts bei der Auswahl von für die Rückholung geeigneten Objekten. Ein möglicher Kandidat für eine spätere Mission ist der ESA-Erdbeobachtungssatellit Envisat, der 2012 ausgefallen war und seither als Geistersatellit seine Kreise im All zieht. 150 Jahre würde es dauern, bis er so viel Geschwindigkeit verliert, dass er ohne Zutun in die Erdatmosphäre eintritt und verglüht. So lange wäre er mit seinen acht Tonnen Gewicht und 25 Metern Durchmesser eine riesige Gefahr für andere Satelliten. Die entstehende Trümmerwolke könnte bei einer Kollision eine verheerende Kettenreaktion auslösen.

Um einzuschätzen, welche der zur Verfügung stehenden Einfangtechniken – wie Netze oder Magnetfeldtechnologie – sich am besten eignen, um einen solchen Koloss einzufangen, und wie man sich ihm am besten nähert, beobachten die Experten den Satelliten mit TIRA über Monate und Jahre und erfassen akribisch seine Rotationsparameter und -geschwindigkeit. Diese Daten könnten zur Vorbereitung einer Rückholmission herangezogen werden. Ziel ist es, den ausgedienten Satelliten gezielt verglühen zu lassen und somit sein nachhaltiges Lebensende sicherzustellen. Dank seiner besonderen Fähigkeiten genießt TIRA weltweit einen guten Ruf. So unterstützt das Forscherteam derzeit die japanische Raumfahrtagentur bei ähnlichen Rückholaktivitäten.

### Grenzen der Souveränität

Eine andere Herausforderung bleibt weitgehend ungelöst: Wie kommen die europäischen Satelliten überhaupt ins

All? Da die EU bislang weder die nötige moderne Raketentechnik noch die Kapazitäten hat, stößt die Souveränität spätestens hier an ihre Grenzen. Nachdem russische Trägerraketen und Startplätze infolge des Ukraine-Krieges ausfallen, sind europäische Missionen auf Unternehmen wie das US-amerikanische SpaceX von Elon Musk angewiesen. Doch dort ist die Warteliste trotz vieler Flüge lang. Den 60 Starts der Falcon-Rakete von SpaceX im Jahr 2022 standen zwei Starts der europäischen Ariane 5 gegenüber.

Zwar soll der mehrmals verschobene Start der bislang leistungsfähigsten europäischen Trägerrakete Ariane 6 nun Ende 2023 in Französisch-Guayana stattfinden, doch ist fraglich, ob ihre Kapazitäten für das wachsende Satellitengeschäft ausreichen werden. Denn im Gegensatz zu den wiederverwendbaren Trägerraketen von SpaceX, die mehr Starts erlauben, wird die Ariane vorerst eine Einweg-Rakete bleiben. Nachhaltigkeit hatte man 2014, als die Planungen bei Arianespace starteten, schlichtweg nicht mitgedacht.

Hoffnung geben indes viele neue New-Space-Startups, die derzeit zusammen mit öffentlichen Entscheidungsträgern daran arbeiten, die Raumfahrtkapazitäten in der EU auszubauen. Auch Fraunhofer-EMI-Mann Frank Schäfer ist überzeugt: »Es gibt in Europa und auch bei Fraunhofer ein großes Know-how in relevanten Technologien, sei es im Bau von Satelliten, in Kommunikations-, Quanten- oder Radartechnologien. Damit wird es uns gelingen, eine eigene verlässliche Infrastruktur im All aufzubauen und uns aus bisherigen Abhängigkeiten von den USA und Russland zu befreien.« ■

Hier geht's zum Podcast:



Wachtbergs Wahrzeichen:  
Das Radom bei Bonn schützt  
den vom Fraunhofer FHR  
betriebenen Weltraum-  
beobachtungsradar  
TIRA.

## Stimme aus der Wirtschaft



Martin Daum, 63, neben dem batterieelektrischen 19-Tonner eActros mit 400 Kilometern Reichweite für urbane Räume.

# Zweispurig in die Zukunft

Nicht allein auf der IAA Mobility im September drehen sich viele Gespräche um das Thema Batterien. Der Batterie-Antrieb ist die vorherrschende Technologie, um den Autoverkehr emissionsfrei zu machen. Aber: Lkw sind keine großen Pkw.

Ein Standpunkt von Martin Daum, Vorstandsvorsitzender Daimler Truck AG

**D**ie Nutzfahrzeuge der Zukunft brauchen nicht nur Batterien, sie brauchen auch Wasserstoff. Davon sind wir bei Daimler Truck überzeugt. Vor einigen Monaten haben wir deshalb eine Absichtserklärung mit der Toyota Motor Corporation unterschrieben. Neben einer geplanten Fusion unserer japanischen Nutzfahrzeug-Töchter geht es dabei auch um eine Zusammenarbeit bei Wasserstoff-Antrieben. Zudem haben wir schon 2021 gemeinsam mit der Volvo Group das Joint Venture cellcentric gegründet, um in Europa eine der größten Produktionsstätten für Brennstoffzellen aufzubauen. Im Unterschied zu den Kollegen der Pkw-Branche verfolgen wir bei Nutzfahrzeugen also keine einspurige Technologiestrategie, sondern eine zweisepurige – und dafür haben wir gute Gründe.

**Erstens:** Lkw sind keine großen Pkw. Sie sind Investitionsgüter. Unsere Kunden müssen in der Lage sein, mit unseren Produkten Geld zu verdienen. Sie achten deshalb sehr genau auf die Kosten. Und zwar nicht nur auf die Anschaffungskosten, sondern vor allem auch auf die Gesamtkosten über die Laufzeit eines Lkw.

Heute hängen diese Gesamtkosten stark von den Preisen für Diesel ab – und morgen von den Preisen für Strom und Wasserstoff. Je nachdem, wie sich diese Preise entwickeln, wird es für Nutzfahrzeug-Kunden lohnenswerter sein, sich für einen Batterie-Antrieb zu entscheiden oder für einen Brennstoffzellen-Antrieb. Vor allem bei Lkw und Bussen für die Langstrecke werden die Energiepreise die Kaufentscheidung wesentlich beeinflussen. Deren künftige Höhe lässt sich jedoch nicht vorher sagen – und damit auch nicht der künftige Mix von Batterie- und Brennstoffzellen-Fahrzeugen. Das bedeutet: Wer heute keine Wasserstoff-Antriebe entwickelt, ist morgen bei einem möglicherweise boomenden Markt für Wasserstoff-Modelle außen vor.

Eine Ergänzung ist noch wichtig. Neben Brennstoffzellen gibt es einen weiteren Wasserstoff-Antrieb: den Wasserstoff-Verbrennungsmotor. Bei Lkw mit Aufbauten wie beispielsweise Baustellenfahrzeugen, die für diese Aufbauten deutlich mehr Energie benötigen als für den reinen Fahrbetrieb, ist diese Technologie eine gute CO<sub>2</sub>-freie Alternative. Wir verfolgen die aktuelle Diskussion um den Wasserstoff-Verbrenner deshalb sehr aufmerksam. Wenn dieses Konzept politisch aus guten Gründen unterstützt wird, sind wir gut vorbereitet

»Emissionsfreie Lkw nur mit Batterien? Jede Raststätte hätte den Energiebedarf einer Kleinstadt.«

## Martin Daum

- ▶ leitet den weltweit größten Nutzfahrzeug-Hersteller mit mehr als 100 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an über 40 Produktionsstätten. Im Mai wurde bekannt, dass Daimler Truck große Teile seines Asiengeschäfts mit Toyota zusammenlegen will, auch um die Entwicklung von Wasserstoffantrieben und weiteren Zukunftstechnologien voranzutreiben.
- ▶ ist seit 2019 Vorstandsvorsitzender der Daimler Truck AG, 2021 von der damaligen Daimler AG bei einem Börsengang abgespalten.
- ▶ kam schon 1987 nach seiner Lehre als Bankkaufmann, einem Studium der Betriebswirtschaft und drei Jahren als Unternehmensberater zur damaligen Daimler-Benz AG. 2009 wurde Daum Präsident und CEO von Daimler Trucks North America und steigerte den Marktanteil von 29,6 auf 39,3 Prozent.
- ▶ ist am 28. Oktober 1959 in Karlsruhe geboren, verheiratet und hat drei erwachsene Kinder.

und können schnell entsprechende Serienfahrzeuge anbieten.

**Ein zweiter Grund** für unsere Doppelstrategie ist die Infrastruktur. Ein paar Fakten verdeutlichen, was es bedeuten würde, wenn emissionsfreie Lkw in Zukunft ausschließlich mit Batterien betrieben würden. Dann müsste nämlich jede Autobahnraststätte über eine Größenordnung von 20 bis 50 Ladestationen verfügen. Und jede Ladestation müsste für Megawatt-Laden ausgerüstet sein. Das heißt: Jede Raststätte hätte den Energiebedarf einer Kleinstadt.

Eine solche Lade-Infrastruktur gibt es nur im Konjunktiv. Eine öffentliche Ladekapazität in dieser Größenordnung flächendeckend bereitzustellen, ist schlicht nicht realistisch. Das würde den Stromnetzausbau hoffnungslos überfordern. Schon allein aus diesem Grund brauchen wir für Lkw – parallel zur Batterie – in Zukunft also auch Wasserstoff.

Hinzu kommt: Das Beratungsunternehmen McKinsey hat in einer Studie festgestellt, dass es mit Blick auf die Kosten günstiger ist, nicht nur eine Infrastruktur aufzubauen, sondern zwei. Intuitiv würde man vielleicht ein anderes Ergebnis erwarten. Aber die Skalierung einer Infrastruktur nur für Batterien auf ein extremes Volumen ist teurer als die Skalierung von zwei Infrastrukturen – eine für Batterien und eine für Wasserstoff – auf ein mittleres Volumen.

**Beim dritten Grund** geht es um den Energiebedarf unseres Kontinents. Um Europa nachhaltig zu machen, müssen wir die aus fossilen Rohstoffen produzierte Energie komplett durch grüne Energie ersetzen. Dabei geht es um so gewaltige Mengen, dass wir sie im vergleichsweise sonnenarmen Europa nicht erzeugen können. Die gute Nachricht: Weltweit steht mehr als ausreichend grüne Energie zur Verfügung: Jeden Tag trifft 15 Mal so viel Sonnenenergie auf die Landmasse der Erde, wie wir global in einem ganzen Jahr verbrauchen. Wir müssen sie nur einfangen und dorthin transportieren, wo sie benötigt wird. Dazu ist allerdings ein kohlenstofffreier Energieträger vonnöten, der weltweit gehandelt werden kann – und schon sind wir wieder beim Wasserstoff.

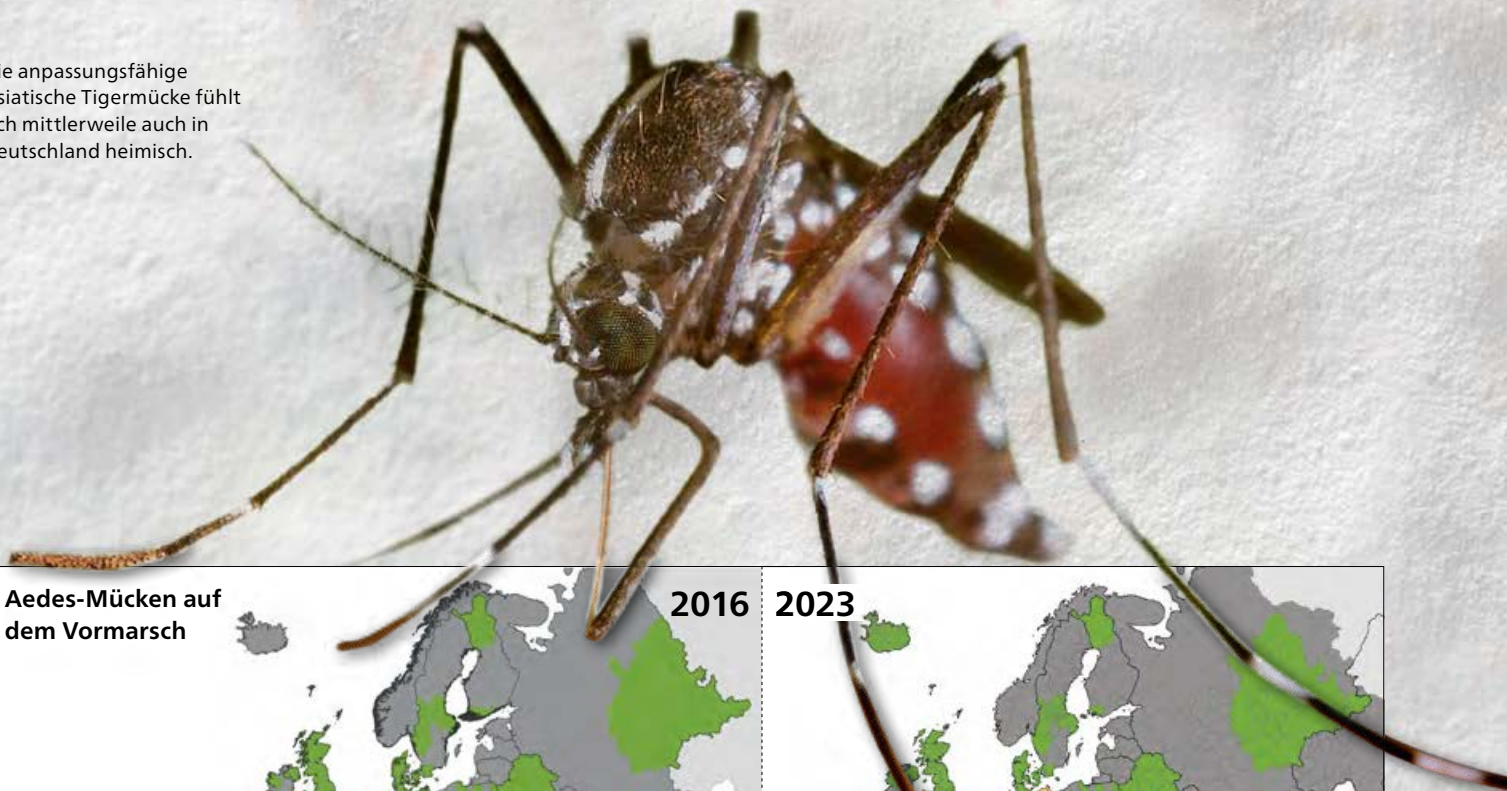
Wir können somit festhalten: Die nachhaltige Wirtschaft von morgen erfordert den Aufbau einer Wasserstoff-Wirtschaft – und es gibt gute Gründe, diesen Energieträger auch für Lkw und Busse zu nutzen. Nutzfahrzeughersteller fahren deshalb am besten zweisepurig in die Zukunft. ■

# Gefährlicher Gast

Deutschland diskutiert über Bären, Wölfe und sogar Löwen, aber kein Tier verursacht den Tod so vieler Menschen wie die Mücke. Mit dem Klimawandel bringen die Plagegeister verschiedene tropische Viren auch zu uns. Besser, dann vorbereitet zu sein.

Von Dr. Sonja Endres

Die anpassungsfähige Asiatische Tigermücke fühlt sich mittlerweile auch in Deutschland heimisch.





**S**ie reist mit dem Flugzeug, Lastwagen oder Schiff, bringt Dengue- oder Zika-Viren – und ist gekommen, um zu bleiben: die Asiatische Tigermücke. Ursprünglich in den süd- und südostasiatischen Tropen und Subtropen zu Hause, fühlt sie sich wegen des Klimawandels inzwischen auch in vielen Regionen Deutschlands wohl. Wo genau und wie sie sich ausbreitet, welche Viren sie im Gepäck hat und auf Menschen oder Tiere überträgt, untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Projekt CuliFo. Koordiniert vom Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin in Hamburg, ist das interdisziplinäre Team der *Aedes albopictus*, wie die Asiatische Tigermücke unter Fachleuten heißt, bereits seit 2016 auf der Spur. Gab es damals nur sporadische Nachweise im äußersten Südwesten Deutschlands, sind die tropischen Moskitos inzwischen in großen Teilen Süd-, West- und Ostdeutschlands eingeführt oder bereits heimisch.

Unterstützung erhalten die Forscherinnen und Forscher in Deutschlands größtem Verbundprojekt zur Stechmückenforschung seit Anfang dieses Jahres vom Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI in Leipzig. Dr. Sebastian Ulbert, Abteilungsleiter Impfstoffe und Infektionsmodelle: »Wir untersuchen in CuliFo die Verbreitung der Krankheitserreger. Dafür suchen wir in verschiedenen Tieren, insbesondere in toten Vögeln, nach Antikörpern. Sie zeugen von einer früheren Infektion durch einen Mückenstich.« Die Proben aus unterschiedlichen Landesteilen erhalten Ulbert und sein Team von Kolleginnen und Kollegen am Friedrich-Loeffler-Institut für Tiergesundheit auf der Insel Riems, mit dem sie eng kooperieren.

**Im Fokus der Forscherinnen und Forscher** stehen vor allem das Usutu- und das West-Nil-Virus. Während Usutu hauptsächlich Tieren gefährlich wird und unter anderem 2011 zu einem großen Amselsterben am Oberrhein führte, ist das West-Nil-Virus auch eine Bedrohung für den Menschen. Erstmals wurde es 1937 im West Nile District in Uganda nachgewiesen, daher der Name. Erkrankte leiden häufig an hohem Fieber, Erbrechen, Durchfall, Erschöpfung, Gliederschmerzen. In selte-

nen Fällen kann es auch zu Gehirn- oder Hirnhautentzündungen kommen – wie bei der Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME), deren Erreger ebenfalls zur Familie der Flaviviren gehören. Doch während man sich vor Zeckenbissen und damit vor einer Infektion mit FSME relativ gut schützen kann, ist das bei Mückenstichen ungleich schwieriger – zumal das West-Nil-Virus mittlerweile auch von der Gemeinen Hausmücke übertragen wird. »West-Nil ist ein Generalist«, sagt Ulbert. »Es ist nicht wählerisch, was den Wirt angeht, in dem es sich vermehren kann. Wir kennen allein 350 Vogelarten, in denen es sich repliziert. Deshalb ist West-Nil das weltweit verbreitetste durch Stechmücken übertragene Virus.« Bei Dengue- oder Zika-Viren, die ebenfalls zur Familie der Flaviviren gehören, sei das glücklicherweise anders. Sie nutzen bisher fast ausschließlich *Aedes*-Mücken als Wirt und Vektor. Außerdem brauchen diese tropischen Viren über einen langen Zeitraum ununterbrochen hohe Temperaturen, um in den Moskitos so zahlreich zu werden, dass deren Stich infektiös wird – ein weiterer wichtiger Unterschied zur West-Nil-Verwandtschaft. Für die reicht es aus, wenn die Temperaturen für 10 bis 15 Tage nicht unter 20 Grad sinken. So kann sich West-Nil wesentlich schneller verbreiten.

Da alle Flaviviren einander sehr gleichen, trifft das auch auf die von den Immunzellen zu ihrer Abwehr erzeugten Antikörper zu. Die Entwicklung von Testsystemen, die eine eindeutige Identifikation erlauben, ist daher eine Herausforderung. »Bisher sind Tests im Einsatz, die viele gegen FSME geimpfte Menschen als West-Nil-positiv ausgeben«, erklärt Ulbert. Ihm und seinem Team ist es gelungen, Tests zu entwickeln, die einen wesentlich treffsichereren Antikörpernachweis ermöglichen. Gemeinsam mit den Kolleginnen und Kollegen am Friedrich-Loeffler-Institut wollen sie im Projekt CuliFo die Testsysteme weiter verbessern, um die Verbreitung der Viren noch zuverlässiger detektieren zu können. Ziel ist es unter anderem, Frühwarnsysteme aufzubauen, um für größere Ausbrüche besser gerüstet zu sein.

Im Sommer 2020 gab es einen ersten solchen Ausbruch in der Region Leipzig.

Zehn schwer an West-Nil-Fieber Erkrankte mussten auf der Intensivstation behandelt werden, zwei verstarben. »Das hat natürlich wegen der Corona-Pandemie zu dieser Zeit kaum interessiert. Vermutlich hatten wir über hundert Infizierte in der Stadt«, schätzt Ulbert. Mithilfe eines Blutspende-Screenings versucht er zurzeit gemeinsam mit der Leipziger Uniklinik, rückwirkend genauere Zahlen zu ermitteln.

**Im norditalienischen Padua** ist die Situation bereits wesentlich angespannter. Hier kam es vergangenen Sommer zu einem Ausbruch der Krankheit; 200 schwere Fälle brachten die lokalen Intensivstationen an ihre Grenzen. Dutzende der intensivmedizinisch Betreuten verstarben. Ulbert prognostiziert: »Die Fallzahlen sind erst mal noch gering, aber in den nächsten Jahren ist ein Anstieg sehr wahrscheinlich, und auch die Verbreitungsgebiete werden bei uns wachsen.« Vor allem ältere Menschen ab etwa 60 Jahren und Menschen mit Vorerkrankungen sind gefährdet. »Die Risikogruppen sind die gleichen wie bei Corona«, erklärt er. »Im Unterschied dazu haben wir bei West-Nil jedoch weder eine wirksame Impfung noch ein Medikament.« Zurzeit könne man lediglich die Patientinnen und Patienten stabilisieren und auf die Kraft ihres Immunsystems hoffen. Ulbert und sein Team arbeiten daran, das zu ändern. Einen vielversprechenden Impfstoff-Kandidaten haben sie schon identifiziert.



Bisher konnten sie jedoch keinen Partner aus der Pharma-Industrie finden, um klinische Studien durchzuführen. Auch an einem Wirkstoff forschen sie. Er blockiert die Vermehrung der Viren in der Wirtszelle und könnte ebenfalls gegen Dengue- und Zika-Viren eingesetzt werden. Ulbert: »Noch ist es denen bei uns zu kalt. Aber auch sie werden kommen. In Südeuropa sind sie schon.« ■

# Gezielt ausschalten

Impf- und Wirkstoffe gegen tropische Krankheiten zu entwickeln, dauert viele Jahre – Zeit, die wegen des Klimawandels kaum bleibt. Schutz vor Epidemien in Europa ist trotzdem möglich, indem man das Problem an den Wurzeln packt: den Moskitos, die die Viren übertragen.

Von Dr. Sonja Endres



Einzelne Plagegeister kann man so zur Strecke bringen, für Tausende braucht es bessere Ideen.

**B**ei der bisher letzten Malaria-Epidemie in den extrem heißen Sommern 1945 und 1946 behalf sich Deutschland noch mit Dichlordiphenyltrichlorethan, kurz DDT. Das damals gebräuchliche Insektizid wurde großflächig versprüht. Noch heute lassen sich Spuren etwa im Schlachtensee in Berlin nachweisen. Seit 1972 ist DDT verboten, weil es den menschlichen und tierischen Hormonhaushalt stört und in Verdacht steht, Krebs auszulösen.

An einer zeitgemäßen Lösung der Mückenbekämpfung arbeitet Prof. Andreas Vilcinskas, Leiter des Institutsteils »Bioressourcen« am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME in Gießen. Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen am LOEWE-Zentrum Translationale Biodiversitätsgenomik haben er und sein Team die Genome verschiedener tropischer Moskitos sequenziert, anhand derer sie die Larven im Wasser aufspüren können. »Die Analyse der Umwelt-DNA ermöglicht uns eine relativ präzise Überwachung großer Flächen. Rasant anwachsende Populationen können wir frühzeitig erkennen, das ist quasi unser Feuermelder. Auch die Viren kann man so nachweisen«, erklärt Vilcinskas. Dann muss es so schnell gehen wie beim Löschen eines Brandherds. »Mit unserer Feuerwehr, der innovativen RNAi-Technologie, können wir die Larven gezielt und umweltverträglich eliminieren.«

Die Forscherinnen und Forscher planen, den heranwachsenden Mücken eine speziell designte, doppelsträngige RNA zu fressen zu geben und damit einen natürlichen Mechanismus anzustoßen, mit dem höhere Organismen sich vor eindringenden Viren schützen – die RNA-Interferenz, kurz RNAi. Das Prinzip: Im Unterschied zu Tier- und Pflanzenzellen produzieren Viren doppelsträngige RNA. Wird diese in den Zellen entdeckt, wird sie als fremd identifiziert und vernichtet. Der Abbau betrifft jedoch nicht nur die RNA-Doppelstränge, sondern auch alle körpereigenen RNA-Einzelstränge derselben Sequenz. Die Folge: Die dazugehörige, komplementäre Gen-Sequenz kann nicht mehr ausgelesen, ein bestimmtes Protein nicht mehr hergestellt werden.

Vilcinskas und sein Team zielen auf überlebenswichtige Gene, sogenannte Letalgene. Werden sie mittels RNAi ausgeschaltet, stirbt die Mücke. »Solche Gene zu finden, ist nicht das Problem. Rund ein Drittel aller Gene, die wir beispielsweise beim Reismehlkäfer ausgeknipst haben, führten zum Tod des Insekts. Die können wir aber bei Weitem nicht alle für unsere Zwecke nutzen. Nur solche sind verwertbar, bei denen bereits eine winzige Dosis der doppelsträngigen RNA wirksam ist.« Schließlich nehmen die Larven nur einen Haps in Einzeller-Größe zu sich, den sie aus dem Wasser filtern.

### Auf die Verpackung kommt es an

Damit die RNA nicht zerfällt, muss sie sicher verpackt werden. Die passende Formulierung für die schützende Hülle zu finden, ist anspruchsvoll. Sie darf sich erst dann auflösen, wenn die RNA im Darm der Larve angekommen ist, wo sie ihre Wirkung entfalten kann – auf keinen Fall früher, denn Moskitos und viele Larven haben im Speichel Enzyme, die RNA abbauen. Die Formulierung muss außerdem individuell an ihr Zielinsekt angepasst sein. So filtern beispielsweise einige Larven im Wasser schwebend, die Japanische Buschmücke beispielsweise aber am Gewässergrund. Die RNA-Partikel müssen für sie also so beschaffen sein, dass sie sinken.

Bei der Erbsenblattlaus waren Vilcinskas und sein Team schon erfolgreich. Sie konnten unterbinden, dass der Schädling ein bestimmtes Eiweiß bildet, das beim Kontakt mit dem Saftstrom der Wirtspflanze aushärtet und der Laus als Trinkhalm dient. Ohne diese Saughilfe verhungert sie. »Das Besondere an der doppelsträngigen RNA ist, dass wir sie artspezifisch designen können. Sie ist wie ein chirurgisches Präzisionsinstrument, während Pestizide immer Kollateralschäden verursachen.«

Vilcinskas betont die Dringlichkeit. Allein die Asiatische Tigermücke könne 20 verschiedene Viren übertragen, die für den Menschen gefährlich sind. »Niemand bezweifelt in der Wissenschaft noch ernsthaft, dass die Viren kommen. Wir müssen uns schützen und brauchen dringend umweltfreundliche Bekämpfungsoptionen.« ■

»Mit unserer Feuerwehr, der innovativen RNAi-Technologie, können wir die Larven gezielt und umweltverträglich eliminieren.«

Prof. Andreas Vilcinskas,  
Fraunhofer IME



Allein die Asiatische  
Tigermücke kann

# 20

verschiedene Viren  
übertragen.

# Von der Invention zur Innovation

Wie krank ist die deutsche Krankenversorgung? Und wie lässt sie sich wieder auf die Beine stellen? Der Kampf gegen demografische Veränderungen, Kostenexplosion und Fachkräftemangel kann nur durch Input aus der Forschung gewonnen werden.

Von Beate Strobel

**W**äre das deutsche Gesundheitssystem ein Mensch, dann läge dieser aktuell auf der Intensivstation. »Wir würden einen Patienten sehen, der an einer chronischen Erkrankung mit einer Vielzahl sich verschlimmernder Symptome leidet«, beschreibt es Prof. Gerd Geißlinger, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP und Gesundheitsforschungsbeauftragter der Fraunhofer-Gesellschaft. Woran krankt es? »In unserem Gesundheitssystem wird wesentlich mehr Geld ausgegeben als eingenommen«, diagnostiziert Geißlinger. »Damit Einnahmen und Ausgaben wieder in Relation zueinander stehen, sind Lösungen gefragt, die nicht nur kurzfristig, quasi symptomatisch wirken, sondern nachhaltig greifen.« Für den Arzt und Apotheker steht fest: »Deutschland braucht nicht nur eine Klima-, Energie- oder Zeitenwende. Es ist auch allerhöchste Zeit für eine Gesundheitswende.«

2022 machten die gesetzlichen Kassen ein Defizit von 17 Milliarden Euro. Der Anteil der Gesundheitsausgaben am Bruttoinlandsprodukt (BIP) steigt kontinuierlich an, inzwischen nimmt Deutschland innerhalb der EU den Spitzenplatz ein. Ein Großteil der Krankenversicherungen erhöhte deshalb 2023 die Beitragssätze, wieder einmal. Mit durchschnittlich 16,2 Prozent des Bruttolohns zahlen die Deutschen nun für

ihre gesetzliche Krankenversicherung so viel wie nie zuvor.

**Kostenintelligenz ist die Therapie**, die Prof. Geißlinger dem kranken Gesundheitssystem verschreibt: »Forschung und Entwicklung können maßgeblich dazu beitragen. Als Schnittstelle zwischen Grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung und der Wirtschaft können die Fraunhofer-Institute in der Gesundheitswende die treibende Kraft sein. Aus Inventionen müssen schneller kostenintelligente Innovationen werden, die ähnlich schnell beim Patienten ankommen.«

Kostenintelligent sei es, so Geißlinger, wenn beispielsweise Erkrankungen in einer frühen Phase der molekularen und zellulären Immunstörung erkannt und schon vor den ersten klinischen Symptomen gestoppt werden können. Das Fraunhofer ITMP hat in Kooperation mit der Goethe-Universität Frankfurt am Main und dem Karolinska-Institut in Stockholm die erste therapeutische Impfung gegen die rheumatoide Arthritis präklinisch entwickelt – eine Diagnose, die in Deutschland rund 800 000 Menschen betrifft und bei leitliniengerechter Behandlung jährliche Behandlungskosten von 15 000 bis 25 000 Euro pro Patient nach sich zieht. Aktuell erfolgt die klinische Prüfung des innovativen Impfstoffs im Rahmen einer Ausgründung (aidCURE).

Patient Gesundheitssystem: Kostenintelligenz durch neue Technologien ist essentiell für die Genesung.



NOTAUFNAHME

Mehr als die Hälfte aller 76 Fraunhofer-Institute und -Einrichtungen bringen sich inzwischen in den als die »4D« bekannten Themenfeldern der Gesundheitsforschung ein: Drugs, Devices, Diagnostics und Data. Eine exponierte Rolle spielt aktuell das Data-D, denn die Verfügbarkeit medizinischer Daten für Forschung und Entwicklung ist eine Grundvoraussetzung für Kostenintelligenz.

Das Fraunhofer-Leitprojekt MED<sup>2</sup>ICIN etwa, für das sich unter der Sprecherschaft des Fraunhofer IGD sechs weitere Fraunhofer-Institute zu einem interdisziplinären Forschungsverbund zusammengetan haben, will auf der Basis medizinischer Daten nicht nur die individuelle Prävention, Diagnose und Therapie verbessern, sondern zugleich ein intelligentes Kostenmanagement ermöglichen. Eine Software führt möglichst viele krankheitsrelevante Daten – beispielsweise Vorerkrankungen, Laborwerte oder Ultraschallaufnahmen – des Patienten oder der Patientin zusammen und analysiert sie mittels KI-basierter Algorithmen. Das System stellt außerdem aktuelle klinische Leitlinien, mögliche Therapiepfade und die anonymisierten Daten vergleichbarer Fälle zur Verfügung. Der Arzt oder die Ärztin hat so in einem interaktiven Dashboard nicht nur den Überblick über alle Daten und Behandlungsoptionen, sondern sieht – dank Kooperation mit diversen Universitätskliniken – auch die Therapieergebnisse anderer



Betroffener. Zusätzlich setzt das System den erwarteten Behandlungserfolg in Relation zu den Kosten, beispielsweise gibt es Hinweise auf kostengünstigere Alternativen.

Das Fraunhofer-Institut für digitale Medizin MEVIS entwickelt die Software OncoChange für eine automatische, effiziente und zuverlässige Tumorverlaufskontrolle. OncoChange unterstützt Ärztinnen und Ärzte dabei, krankheits- und therapiebedingte Veränderungen von Tumoren in CT-Bildern zu erkennen und die Größenentwicklung von Tumoren quantitativ zu bestimmen; dies ermöglicht im Vergleich zu herkömmlichen Methoden die schnellere Erstellung von Befunden. So können unwirksame Therapien früher durch Alternativen ersetzt werden, was die Lebensqualität der Betroffenen verbessert oder sogar Lebenszeit verlängert – und Kosten spart.

Die OncoChange-Software soll in bereits bestehende klinische Software-Infrastrukturen integrierbar sein – ein entscheidender Vorteil, um Lösungen schnell und bezahlbar in die Anwendung zu bringen. Denn aktuell, so Gerd Geißlinger, »haben wir in der Gesundheitslandschaft ein Stückwerk einzelner Systeme, die nicht immer gut miteinander kommunizieren«. Untersuchungen werden dadurch mitunter mehrfach gemacht oder aufgrund lückenhafter Datenlage ineffektive Behandlungen gestartet. Beides belastet den

kranken Menschen und das Gesundheitssystem gleichermaßen. »Die Digitalisierung in Praxen und Kliniken ist noch nicht so weit fortgeschritten, wie wir es uns wünschen«, formuliert es Geißlinger. »Das müssen wir dringend entschieden angehen, auch wenn das zunächst viel Geld kostet. Doch am Ende ist die Digitalisierung eine von mehreren Maßnahmen, um das Gesundheitssystem zu retten.«

**Ein anderer Hebel ist die Automatisierung** in Diagnostik, Therapie und auch Pflege. Die kluge Implementierung robotergestützter Systeme an relevanten Stellen im Gesundheitswesen kann dem medizinischen und pflegenden Personal etwa Routinetätigkeiten oder körperlich schwere Arbeiten abnehmen, sodass das Fachpersonal länger körperlich fit bleibt und im Alltag mehr Zeit hat für die eigentliche Aufgabe: zu helfen und zu heilen.

Im europäischen Forschungsprojekt DIH-HERO (Digital Innovation Hubs in Healthcare Robotics) bringt das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA sein Wissen über assistierende Robotik für medizinisches Fachpersonal ein. Entwickelt wurde im

»Es ist allerhöchste Zeit für eine Gesundheitswende.«

Prof. Gerd Geißlinger,  
Fraunhofer ITMP



Fraunhofer IPA bereits ein intelligenter Pflegewagen, der das Personal in der Klinik oder in Pflegeheimen autonom begleitet und entnommenes Material selbstständig dokumentiert. Cousins dieses Pflegewagens sind der robotische Service-Assistent, der mit Getränken und

Snacks befüllt werden kann und diese dann autonom den Patienten oder Heimbewohnern anbietet, sowie ein Transportroboter, der Pflegewagen und Container schnell und sicher an ihren Bestimmungsort bringt. Robotik spielt aber nicht nur bei Routineaufgaben, sondern auch im OP eine zunehmend wichtige Rolle. Roboterassistierte und (teil-)automatisierte chirurgische Eingriffe mit vernetzten Systemen haben das Potenzial, chirurgische Interventionen mit nie dagewesener Flexibilität und Präzision auszuführen und in Kombination mit intelligenten Assistenzsystemen die Qualität von Eingriffen zu erhöhen und gleichzeitig Kosten zu sparen.

Die Automatisierung betrifft aber auch die Produktion von Therapeutika. Die Herstellung von Arzneimitteln für personalisierte Zell- und Gentherapien etwa im Bereich schwerer Krebskrankheiten ist extrem zeitaufwendig, personalintensiv und teuer, denn bislang werden Zelltherapeutika, die zu den sogenannten Arzneimitteln für neuartige Therapien (ATMP) gehören, manuell hergestellt. Gefragt sind also innovative Lösungen für eine automatisierte, digitalisierte und damit kosteneffektive Produktion dieser Therapeutika. In dem White Paper »Skalierbare Herstellung von ATMPs« haben Expertinnen und Experten mehrerer Fraunhofer-Institute modular aufgebaute Strategien entwickelt, die auf hochautomatisierte und voll digitalisierte Technologien aufsetzen, ein höheres Tempo bei besserer Produktqualität ermöglichen und dadurch signifikante Kostenersparnis bringen.

Das Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI arbeitet seit 2021 in dem EU-Projekt AIDPATH an der Entwicklung einer KI-gesteuerten ATMP-Produktionsanlage für Krankenhäuser. Ziel ist die Produktion sogenannter personenspezifischer CAR-T-Zellen – genetisch veränderter T-Zellen von Krebspatientinnen und -patienten, die durch Einschleusen eines speziellen Rezeptors in die Lage versetzt werden, Tumorzellen zu erkennen und zu zerstören. Die Implementierung einer solchen Anlage direkt am Behandlungsort würde wertvolle Zeit und teure Logistikprozesse einsparen. ►



**Schneller und kostenintelligent Medikamente auf den Markt und an den kranken Menschen bringen:** Das ist das Ziel des sogenannten Drug Repurposing, also der Suche nach neuen Einsatzmöglichkeiten für in der Praxis bereits bewährte Medikamente. In dem von der EU geförderten Projekt REMEDI4ALL beteiligen sich die Fraunhofer-Institute für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP und für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI sowie das Fraunhofer IZI an einer Technologie-Plattform, die eine Evaluation zugelassener Medikamente hinsichtlich neuer Anwendungsgebiete ermöglicht.

Die Produktion von Arzneimitteln findet bereits weitgehend im nicht-europäischen Ausland statt. Auch wenn dies seit der Corona-Pandemie immer wieder zu Engpässen in der Medikamentenversorgung geführt hat, sieht Prof. Gerd Geißlinger wenig Chancen, dies rückgängig zu machen. »Die Arzneimittelentwicklung und -forschung und insbesondere die klinische Forschung allerdings müssen wieder verstärkt nach Deutschland und Europa geholt werden«, fordert er. »Dies hat auch eine wirtschaftliche Komponente: In die Entwicklung und klinische Prüfung fließt viel Geld. Wenn wir dies im Land behalten, kommt das auch der Volkswirtschaft zugute.«

»Aber auch Therapien können kostenintelligent optimiert und unnötige Behandlungen und damit Kosten vermieden wer-

den«, betont Prof. Geißlinger. Oft werden Medikamente miteinander kombiniert, weil jedes für sich allein Wirkungen zeigt und daher synergistische oder additive Effekte erwartet werden. Im Rahmen der deutschlandweiten Behandlungsstudie MUST bei Patientinnen und Patienten mit Psoriasis-Arthritis konnte das Fraunhofer ITMP beweisen, dass die Monotherapie mit einem bestimmten Biologikum genauso wirksam ist wie die vorher übliche Kombination mit einem anderen Medikament. Nebenwirkungen des Kombinationsmedikaments werden so vermieden und unnötige Behandlungs- und Überwachungskosten eingespart.

Problematisch sieht der Fraunhofer-Experte die noch eingeschränkten Erhebungs- und Nutzungsmöglichkeiten von Gesundheitsdaten aus der Versorgung für Forschung und Industrie. »In diesem Bereich sind uns beispielsweise Israel, die skandinavischen Länder oder auch Großbritannien haushoch überlegen«, konstatiert Geißlinger. Die Entwicklung eines Gesundheitsdatennutzungsgesetzes im Rahmen der Digitalisierungsstrategie des Bundesgesundheitsministeriums hält er deshalb für einen notwendigen Meilenstein und bedeutendes Signal in Richtung Forschung: »Nur wenn wir die wissenschaftliche Nutzung von Gesundheitsdaten ermöglichen und erleichtern, können wir die forschende Industrie im Land halten.«

Zugleich warnt Geißlinger aber davor, die deutsche Krankenversorgung vor-

schnell als gescheitert abzuschreiben: »Um unser Gesundheitswesen beneiden uns immer noch viele Länder weltweit.« Damit dies auch künftig so bleibt, muss jedoch dringend an vielen Stellschrauben gedreht und müssen intelligente Systemlösungen entwickelt und implementiert werden. Die Gesundheitswende, so Geißlinger weiter, könne nur gelingen, wenn ressortübergreifend gearbeitet wird. Die von Bundesgesundheitsminister Karl Lauterbach betonte Notwendigkeit eines nationalen Hitzeplanes etwa zeigt, dass Gesundheitspolitik und Klimawandel durchaus Schnittmengen haben. Die Erhaltung oder Wiederherstellung der Arbeitskraft eines Menschen liegt nicht nur im Interesse des Gesundheitssystems, sondern auch in dem des Klima-, Bildungs-, Wirtschafts- und Finanzministeriums.

**Viel Potenzial schlummert noch in der interdisziplinären Zusammenarbeit,** insbesondere in der Konvergenz von biomedizinischen und ingenieurwissenschaftlichen Forschungsergebnissen zu Systemlösungen für bezahlbare Gesundheit. Bei Fraunhofer arbeiten Fachkräfte aus Medizin, Naturwissenschaften, Ingenieurwesen und Informatik unter einem Dach eng zusammen an der Gesundheitswende – frei nach der Arthur-Schopenhauer-Weisheit, dass Gesundheit vielleicht nicht alles, aber ohne Gesundheit alles nichts ist. ■

# Plagiat oder Original?

Egal, ob Arzneimittel, Aftershave oder Autobremsten – Produktpiraten machen vor nichts Halt und werden immer raffinierter. Per Smartphone sollen Verbraucherinnen und Verbraucher jetzt einfach überprüfen können, ob es sich um eine Fälschung handelt.

Von **Andrea Kaufmann**

**D**ie deutschen Zollbehörden beschlagnahmten im vergangenen Jahr gefälschte Waren im Wert von 435 Millionen Euro – ein Anstieg von 38 Prozent gegenüber dem Vorjahr. Das Geschäft mit minderwertigen Kopien ist für Kriminelle lukrativ, für Konsumentinnen und Konsumenten ist es häufig gefährlich. Schlechte Qualität und problematische Inhaltsstoffe bergen hohe Risiken. Im Projekt SmartID entwickeln Forschende der Fraunhofer-Institute für Angewandte Polymerforschung IAP, für Sichere Informationstechnologie SIT und für Offene Kommunikationssysteme FOKUS ein innovatives Kennzeichnungssystem, das Produktpiraten künftig das Leben erschwert. Per App und Smartphone-Kamera lässt sich damit schnell und einfach überprüfen, ob ein Produkt echt ist. Der besondere Clou: Der Check funktioniert offline und ohne Anbindung an eine Datenbank.

Jede Verpackungs- oder Produktoberfläche weist eine charakteristische Textur auf, die durch zufällige Unregelmäßigkeiten im Herstellungsprozess entstehen. Die Forscherinnen und Forscher machen sich diese Einzigartigkeit zunutze: Sie untersuchen die individuellen Merkmale der Oberflächentextur, die als Fingerabdrücke der jeweiligen Verpackung oder des Produkts gelten. Um diese Informationen zu analysieren, werden am Fraunhofer SIT Algorithmen entwickelt. Die Fingerabdrücke werden mit der digitalen Signatur des Produktherstellers zu einer sicheren und einzigartigen Kennzeichnung – der SmartID – verknüpft. »Damit der Fingerprint einzigartig ist, müssen ausreichend repräsentative Merkmale vorhanden sein, die zuverlässig erkannt werden können«, erläutert Dr. Waldemar Berchtold, Spezialist für IT-Forensik und Multimedia-Sicherheit am Fraunhofer SIT. »Unser Scanbereich für

die Oberflächentexturen hat derzeit eine Größe von mehreren Quadratzentimetern. Innerhalb dieses Bereichs können wir eine Million Merkmale identifizieren, die von allen Endgeräten auch bei schlechten Lichtverhältnissen gelesen werden können.«

Noch sicherer machen die SmartID speziell maßgeschneiderte Quantenmaterialien, die von einem Team des Fraun-



Die deutschen Zollbehörden beschlagnahmten im Jahr 2022 gefälschte Waren im Wert von

# 435

**Millionen Euro.**

hofer IAP entwickelt werden. Sie leuchten im spektralen Nahinfrarotbereich (NIR) und werden mit einer neuartigen Tintenformulierung auf das Objekt gedruckt. SmartID-Projektleiter Dr. Tobias Jochum vom Zentrum für Angewandte Nanotechnologie CAN des Fraunhofer IAP erklärt:

»Da wir zusätzlich zum sichtbaren Bereich auch den NIR-Spektralbereich erfassen, detektieren wir auf gleicher Fläche mehr Merkmale der Oberflächentextur.« Um die Einführung dieses Prozesses zu erleichtern, werden die Tinte und der Druckprozess so optimiert, dass er auf herkömmlichen Produktionsanlagen der Produkt- und Verpackungsindustrie ablaufen kann.

Die SmartID wird auf die Verpackung oder das Produkt in Form eines QR-Codes gedruckt. »Prinzipiell ist es möglich, die sichere und einzigartige Kennzeichnung in jeder Art von zweidimensionalem Barcodesystem abzuspeichern. Im Projekt SmartID haben wir uns auf den QR-Code fokussiert, denn dieser wird sowohl von der Industrie als auch von den Endkonsumenten akzeptiert«, sagt IT-Experte André Paul vom Fraunhofer FOKUS. Die Datenmenge, die benötigt wird, um den Fingerabdruck in herkömmliche QR-Codes zu integrieren, sprengt deren Speicherkapazität. Das Team von Fraunhofer FOKUS arbeitet daher daran, höhere Speicherkapazitäten zu erreichen und trotzdem kompatibel mit klassischen QR-Codes zu bleiben. Dadurch lässt sich die Technologie leicht in bestehende Abläufe innerhalb der gesamten Lieferkette einbetten.

Um ein Produkt zu authentifizieren, scannt die Konsumentin oder der Konsument später mit der Smartphone-Kamera gleichzeitig den QR-Code und die Oberfläche. Die SmartID-App auf dem Smartphone vergleicht beide Datensätze miteinander. Stimmen sie überein, ist die Echtheit erwiesen. »Da kein Abgleich mit einer Datenbank erfolgt, ist auch keine Internetverbindung notwendig«, erklärt Jochum. »Das spart Kosten, die durch die Installation und den Betrieb zentraler Datenbanken entstehen, und wirkt sich positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz aus.« ■

# Forschungs- preise

Seit 1978 verleiht die Fraunhofer-Gesellschaft Preise für herausragende wissenschaftliche Leistungen ihrer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

## Mikrolautsprecher Energieeffizienz für In-Ohr-Kopfhörer

Das Smartphone als ständiger Begleiter könnte von In-Ohr-Kopfhörern abgelöst werden, die kabellos im Gehörgang stecken. Das Herzstück dafür – die integrierten Mikrolautsprecher – entwickelte ein Forscherteam des Fraunhofer-Instituts für Photonische Mikrosysteme IPMS und der Bosch Sensortec GmbH.

Von Dr. Janine van Ackeren



Dr. Sergiu Langa (l.) und Dr. Bert Kaiser (M.) vom Fraunhofer IPMS wollen gemeinsam mit Holger Conrad von der Bosch Sensortec GmbH die Lautsprechertechnologie revolutionieren.



Sollte uns das Handy anfangs lediglich das Telefonieren unterwegs ermöglichen, vereint es mittlerweile Bankfiliale, Einkaufscenter, Musikanlage, Navigationssystem, Fernseher und vieles mehr. Und die technologische Entwicklung geht weiter: Den Platz des Smartphones könnten künftig intelligente In-Ohr-Kopfhörer mit direkter Internetschnittstelle einnehmen. Elementar dafür sind ein minimaler Energieverbrauch und ein kleines Bauvolumen, eine geringe Leistungsaufnahme bei hohem Schalldruck sowie niedrige Produktionskosten. Dafür bieten sich Mikroelektromechanische Systeme, kurz MEMS, an. Doch bislang mangelte es an der Basis solcher In-Ohr-Kopfhörer: der geeigneten Lautsprechertechnologie. Die Technologien, die derzeit auf dem Markt sind, eignen sich für solche anspruchsvollen Anwendungen noch nicht – sei es aufgrund des Miniaturisierungsgrads, der Integrationsfähigkeit, der Kostenreduktion, der Skalierbarkeit der Produktion oder der Leistungsaufnahme bei sehr hohen Schalldrücken.

### Mikrolautsprecher – erstmals funktional und sparsam

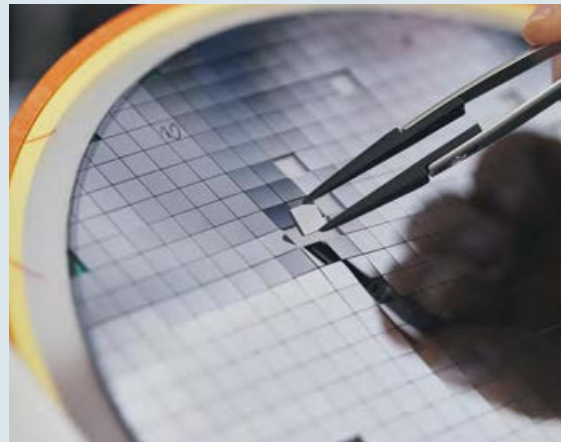
Forschende des Fraunhofer-Instituts für Photonische Mikrosysteme IPMS haben nun einen wichtigen Schritt in Richtung eines intelligenten In-Ohr-Kopfhörers gemacht – und entwickelten die bislang fehlende Basis: Mini-Lautsprecher aus Silizium, die sich über Mikroelektronik-Technologien herstellen lassen und die vom Markt geforderte Lautstärke von 120 Dezibel ohne hohen Energiebedarf erreichen. Für ihre Entwicklung erhalten Dr. Bert Kaiser und Dr. Sergiu Langa vom Fraunhofer IPMS sowie Holger Conrad von der Bosch Sensortec GmbH den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Zwei neuartige wissenschaftliche Ansätze ermöglichten die Entwicklung der Mini-Lautsprecher: Einerseits ein gänzlich neues Design des Lautsprechers, der nicht wie üblich auf einer vertikal auslenkbaren Membran beruht, sondern bei dem sich die schallverdrängenden Elemente senkrecht in einem Silizium-Chip befinden. Andererseits eine neue Antriebstechnologie für diese Elemente, den »Nano e-drive«-Aktoren, die die Schallerzeugung gestatten. Beide Neuerungen sind kaum voneinander zu trennen. »Mit der Aktorik, einem elektrostatischen Hebel, haben wir ein grundlegendes Problem gelöst: Man kann damit sehr große Auslenkungen und somit große Lautstärken realisieren«, sagt Bert Kaiser. Legt man eine Spannung an, bewegt sich der Hebel – wie ein elektrostatischer Muskel. Auf diese Weise konnten die Forschenden mit kleinen Spaltabständen große Bewegungen realisieren. Wie dieser Hebel genau aussehen muss, damit er sich besonders effizient und mit großen

Auslenkungen bewegt, untersuchte Bert Kaiser in seiner Dissertation. Zahlreiche solcher Hebel stapelten die Forschenden hochkant in den Chip. Sie bilden quasi eine Lautsprechermembran, allerdings nicht wie bisher an der Oberfläche, sondern in das Volumen des Chips hinein. Bewegen sich die Hebel angeregt durch eine Spannung, pressen sie das Luftvolumen über eine Auslassöffnung aus dem Chip heraus und erzeugen somit die Töne. »Diese Idee wurde in zahlreiche Diskussionen auch mit dem Institutsleiter des Fraunhofer IPMS, Prof. Harald Schenk, geboren«, sagt Sergiu Langa.

»Mit der Aktorik, einem elektrostatischen Hebel, haben wir ein grundlegendes Problem gelöst: Man kann damit sehr große Auslenkungen und somit große Lautstärken realisieren.«

Dr. Bert Kaiser, Fraunhofer IPMS



Die schallverdrängenden Elemente sitzen senkrecht in einem Silizium-Chip.

Um die Lautsprecher zu vermarkten, wurde 2019 die Arioso Systems GmbH als Spin-off des Fraunhofer IPMS gegründet. Einen wesentlichen Beitrag zu diesem Erfolg, sowohl auf Technologie- als auch auf Modellierungsseite, lieferte Dr. Hermann Schenk während seiner Zeit am Fraunhofer IPMS sowie später als Geschäftsführer der Ausgründung. Die Arioso Systems GmbH wurde im Sommer 2022 von der Bosch Sensortec GmbH übernommen – mit dem Ziel, Spitzenprodukte auf Grundlage der MEMS-Lautsprechertechnologie für den globalen Massenmarkt zu entwickeln. ■

## Gebäudedämmung

# Nachhaltig und kostengünstig mit Aerogelen

CO<sub>2</sub>-Emissionen konsequent einzusparen, ist entscheidend für das Erreichen unserer Klimaziele. Eine wesentliche Stellschraube ist dabei die Dämmung von Gebäuden. Da kommt ein nachhaltiger, kostengünstiger, mineralischer Dämmstoff wie gerufen, der Styropor und Co. in den Schatten stellt.

**M**it den Superlativen ist das so eine Sache: Sie werden vielfach inflationär verwendet. Doch im Fall der Aerogel-Dämmstoffe, die das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT gemeinsam mit der PROCERAM GmbH & Co. KG entwickelt hat, ist der Superlativ alles andere als eine Werbefinte: Es dürfte sich tatsächlich um den derzeit besten Dämmstoff der Welt handeln. Schließlich basieren Aerogele nicht nur auf dem unkritischen mineralischen Rohstoff Siliziumdioxid, aus dem sich auch Sand zusammensetzt, was sie nachhaltig und unabhängig von petrochemischen Quellen macht. Sie sind auch der leichteste Feststoff der Welt – sie bestehen bis zu 99,8 Prozent aus Luft – und haben es als bester Dämmstoff ins Guinness-Buch der Rekorde geschafft. Der Haken an der Sache: Aerogele, bekannt seit 1930, waren bisher extrem teuer, die Herstellung war aufwendig und langwierig.



Kleine Köner: Das Aerogel wird in den Dämmputz integriert.

### Das Ziel: Eine Revolution im Dämmwesen

In dieser Herausforderung sah die PROCERAM GmbH & Co. KG eine Chance. Das Ziel lag in der kostengünstigen, massentauglichen Herstellung von Aerogelen. Anders gesagt: Das Unternehmen wollte nichts anderes als eine Revolution im Bereich der Dämmung, mit einem günstigen mineralischen Dämmstoff, der besser isoliert als seine auf fossilen Energien basierenden Ebenbilder und nicht brennbar ist. Dazu holte es sich die Expertinnen und Experten des Fraunhofer UMSICHT ins Boot. Der Plan ging auf: Innerhalb von sechs Jahren stellte das Team ein neuartiges Produktionsverfahren für Aerogele auf die Beine, das vollständig ohne umweltschädliche Chemikalien auskommt – vom Labor bis in den vorindustriellen Maßstab. Die Herstellungskosten der Aerogele sanken um 70 Prozent, die Produktionszeit von mehr als 10 Stunden auf 2,5. Für diese Leistung werden Nils Mölders und Andreas Sengespeick vom Fraunhofer UMSICHT sowie Christoph Dworatzky von der PROCERAM GmbH & Co. KG mit dem diesjährigen Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet.

### Kohlenstoffdioxid als Ersatz für Säuren

Um Kosten und Produktionszeit des Aerogels in diesem Ausmaß senken zu können, setzte das Forscherteam beim Produktionsprozess an. Üblicherweise wird zur Aerogelherstellung ein Sol, eine feine Verteilung fester Stoffe in einem Medium, mittels Säure geliert – dazu braucht es sechs Kilogramm Säure für ein Kilogramm Aerogel, ätzende Substanzen also, die die Umwelt schädigen können. Das Gel wird gealtert, das Lösungsmittel getauscht und getrocknet. »Wir haben den Stand der Technik konsequent infrage gestellt«, erläutert Mölders. »Während

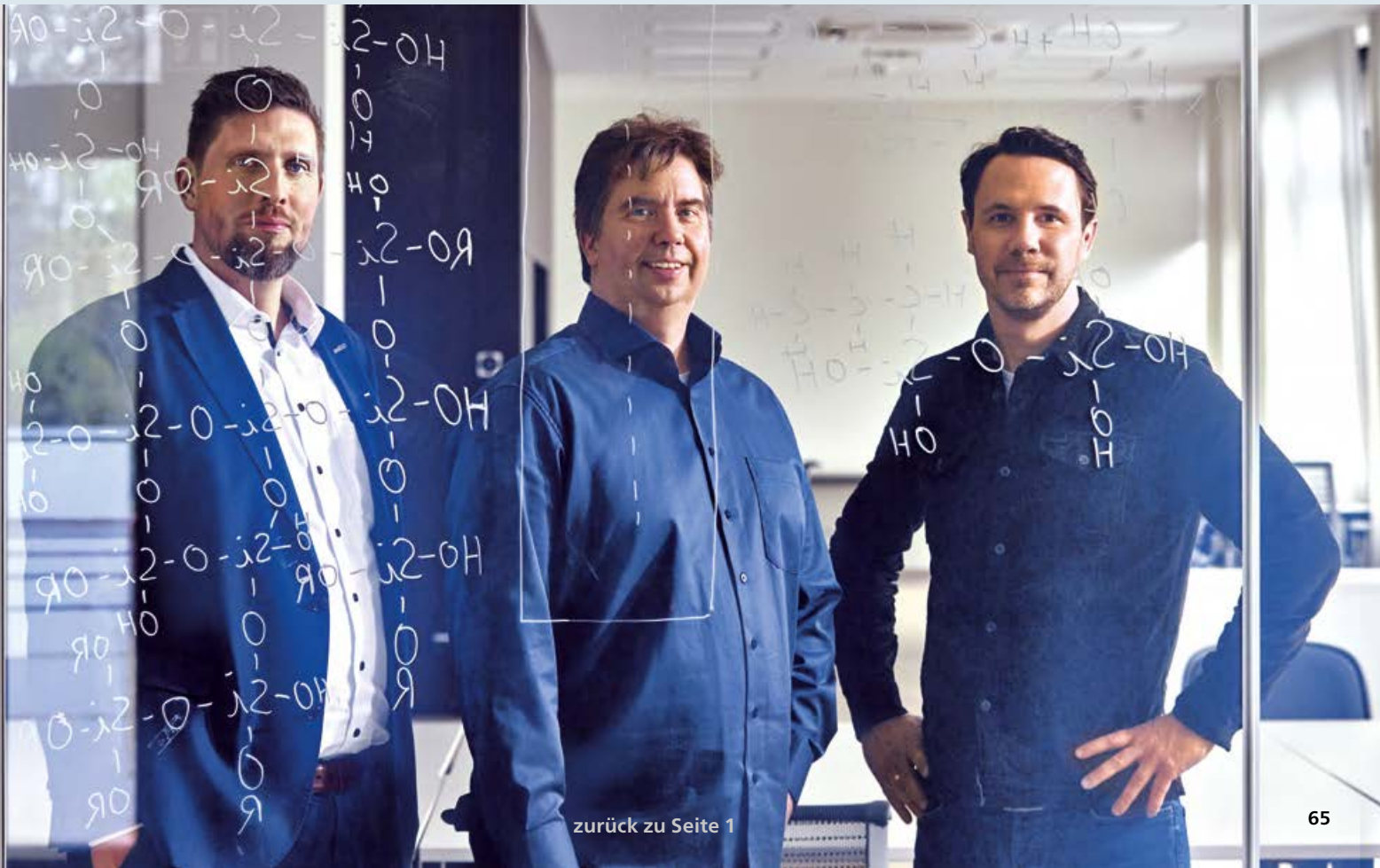
überkritisches Kohlenstoffdioxid, dessen Eigenschaften zwischen denen von Gas und Flüssigkeit liegen, bisher lediglich für die Trocknung genutzt wird, setzen wir es für alle Prozessschritte ein. So können wir auf die Säuren verzichten.« Auch die Rohstoffe stehen im Zeichen der Nachhaltigkeit: Die Forschenden testeten über 20 verschiedene silikatische Sole, die gut verfügbar, kostengünstig und nicht toxisch sind – im Gegensatz zu oftmals teuren etablierten Solen.

### Starke Dämmleistung in mineralischem Putz

Um schließlich als Dämmmaterial von Gebäuden zum Einsatz zu kommen, wird das Aerogel auf eine Korngröße von zwei bis vier Millimetern gebracht und in einen rein mineralischen Putz integriert. Die Masse verfügt über gute Dämm- und bauphysikalische Eigenschaften, die diejenigen der klassischen Dämmstoffe wie Styropor oder Mineralwolle übertrifft. »Das Netzwerk in unserem Aerogel ist so fein, dass es möglich ist, einzelne Luftmoleküle in ihrer Bewegung zu behindern, sodass beinahe keine Wärmeübertragung erfolgt. Integriert in den Putz, können

die Aerogele die Wärmeleitfähigkeit um den Faktor zwei senken verglichen mit Styropor – das ist wirklich enorm. Wir haben damit ein stark dämmendes Material auf rein mineralischer Basis«, fasst Dworatzky zusammen. Es ist also auch nur die Hälfte der Schichtdicke von Styropor nötig, um die gleiche Dämmleistung zu erreichen. Ein weiterer Pluspunkt: »Wir verwenden hier nur Materialien wie Sand oder Kalk, die sich wieder in die Stoffkreisläufe einbringen lassen. Muss der Putz in 50 oder 60 Jahren mal von der Wand, könnte man daraus wieder neuen Putz generieren«, ergänzt Sengespeick. Mehrere Plattenbausiedlungen schützt der Dämmputz bereits seit einigen Jahren vor der Kälte, ebenso verschiedene denkmalgeschützte Kirchen-Ensembles und Siedlungen. Das Potenzial des neuartigen Produktionsverfahrens ist für Gebäudetechnik und Klimaschutz also gleichermaßen groß. ■

Nils Mölders (r.) und Andreas Sengespeick (M.) vom Fraunhofer UMSICHT haben mit Christoph Dworatzky von der PROCERAM GmbH & Co. KG eine Lösung für klimafreundliches Dämmen entwickelt.



## Audiotechnologie

# Personalisierbare Hörerlebnisse in 3D

Ob beim Musik- und Filmstreaming, beim Fernsehen oder im Auto: Das MPEG-H Audio-System macht es möglich, vollständig in Klangwelten einzutauchen und diese an die eigenen Präferenzen anzupassen.

**D**ie Dialoge des Fernsehfilms lauter schalten, die Hintergrundgeräusche dimmen? Per Knopfdruck den Lieblingskommentator bei der Fußballübertragung aussuchen? Oder beim Musikhören das Schlagzeug ein bisschen leiser machen? Mit dem MPEG-H Audio-System des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS lässt sich 3D-Klang ganz einfach personalisieren. Für die Entwicklung des Systems werden – stellvertretend für das Team – Harald Fuchs, Dr. Achim Kuntz und Adrian Murtaza mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2023 ausgezeichnet.

### Metadaten für individuelle Klangerlebnisse

Das MPEG-H Audio-System bringt die dreidimensionale Klangwelt auf immer mehr Wiedergabegeräte. Der dafür nötige Prozess unterscheidet die Technologie aus dem Fraunhofer IIS deutlich von anderen 3D-Soundsystemen: Statt ausschließlich klassische Tonspuren zu verwenden, wird in der Produktion mit Audio-Objekten gearbeitet. Einem solchen Objekt, zum Beispiel einem singenden Vogel, werden mithilfe von Metadaten Eigenschaften wie Position und Lautstärke zugewiesen. Über sie wird festgelegt, was mit dem Ton passiert: Der Vogelgesang bewegt sich im dreidimensionalen Raum, wird lauter und leiser. All diese Informationen werden an das Wiedergabesystem gesendet und hier mit Informationen zur Wiedergabesituation kombiniert. Erst jetzt entstehen – im Unterschied zu üblichen Surround-Formaten wie 5.1 oder 7.1 – die Lautsprecher-signale.

Dieser neue Ansatz ermöglicht auch die Personalisierung von Inhalten: Verschiedene Sprachen oder besser verständliche Filmdialoge werden als Audio-Objekte mitgesendet und ermöglichen es dem Publikum, zwischen



Jeder Mensch hört anders. Das MPEG-H Audio-System trägt dem Rechnung.

ihnen zu wählen. Über die Metadaten kann eine Produzentin oder ein Produzent sogar die Option hinterlegen, den Kommentator – etwa bei einem Fußballspiel – selbst im Raum zu positionieren. »Bei der Entwicklung von MPEG-H Audio haben wir dafür gesorgt, dass diese technische Revolution sich vergleichsweise einfach in bestehende Systeme integrieren lässt. Nur so können wir Kreative, Infrastrukturanbieter und Publikum davon überzeugen«, erklärt Fuchs.

### MPEG-H: Innovatives System von der Produktion bis zur Wiedergabe

Das Team des Fraunhofer IIS hat somit ein Gesamtsystem entwickelt, das die komplette Kette von der Tonproduktion über die Übertragung bis hin zur Wiedergabe umfasst. Und zwar nicht nur in der Übertragungskette von Fernsehproduktionen. »Wir möchten sicherstellen, dass sich jede Produktions-, Übertragungs- und Wiedergabesituation in MPEG-H Audio abbilden lässt«, erläutert Kuntz. »Das MPEG-H Audio-System geht daher weit über einen



Adrian Murtaza, Harald Fuchs und Dr. Achim Kuntz (v.l.) vom Fraunhofer IIS machen Musik zu einer persönlichen Angelegenheit.

reinen Audiocodec hinaus: Es umfasst Produktionswerkzeuge, Datei- und Übertragungsformate und neuartige Wiedergabeverfahren ebenso wie Softwarelösungen für Unternehmen, die das System in ihre Produkte integrieren, und ein Markenprogramm für Produkte, die das MPEG-H Audio-System unterstützen.« Ein weiteres Beispiel für eine der zahlreichen Entwicklungen rund um MPEG-H Audio ist das immersive objektbasierte Musikformat 360 Reality Audio des Elektronik Konzerns Sony. Es findet sich schon heute bei vielen Streamingdiensten – ein mit dieser Technologie produziertes Album erhielt 2023 sogar den Grammy für das beste immersive Album.

### Das Ende der Testphase

Ein so umfassendes Audiosystem zu entwickeln, kann nur mit einem großen Team gelingen: Bis zu hundert Personen gleichzeitig arbeiteten zu Spitzenzeiten in dem Projekt, das bereits 2012 startete – derzeit sind es noch etwa 50 Mitarbeitende. »Es war viel Know-how aus verschiedenen Erfahrungsbereichen nötig«, erläutert Fuchs.

Wichtig war darüber hinaus internationale Unterstützung. Industrie- und Technologiepartner auf der ganzen Welt trugen dazu bei, MPEG-H Audio fit für den Einsatz in unterschiedlichsten Umgebungen zu machen. Als Erstes wurde das System im Mai 2017 im südkoreanischen Fernsehen eingeführt. Ein weiterer Erfolg war, dass sich Brasilien nach groß angelegten Vergleichstests im Dezember 2021 entschied, es als verpflichtenden Audiostandard für seine neue Fernsehinfrastruktur einzusetzen. Auch in Europa kam MPEG-H Audio bereits bei einer Reihe von Tests zum Einsatz. »Auf diese Weise ist es uns gelungen, das System optimal an bestehende Workflows anzupassen und in die Umgebungen für Live- und Studioproduktionen zu integrieren«, sagt Murtaza. Parallel dazu entstanden Werkzeuge für die Audioproduktion. Dies trug sowohl dazu bei, das System zu optimieren, als auch Partnerschaften in der Kreativindustrie aufzubauen und so die Nachfrage in der Tonbranche anzuregen. Damit ist das MPEG-H Audio-System das weltweit einzige offen standardisierte System zur Übertragung der nächsten Generation von Audioformaten. ■



## Satellitentechnologie

# Nachhaltiger Wasser-Einsatz in der Landwirtschaft

70 Prozent unseres Trinkwassers landen als Bewässerung auf den Äckern – mehr als die Hälfte davon unnötig, da der Boden noch ausreichend feucht ist.

**E**ine neuartige Satellitentechnologie, die in Form eines Prototyps mit dem Namen »LisR« bereits auf der Internationalen Raumstation ISS erprobt wurde, ermöglicht es künftig, Pflanzen bedarfsgerecht zu bewässern und einen nachhaltigen Umgang mit der lebenswichtigen Ressource sicherzustellen. Für diese Entwicklung erhält ein Team aus Forschenden der Fraunhofer-Institute EMI und IOF sowie

der beiden Spin-offs constellr GmbH und SPACEOPTIX GmbH den Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt«.

In Deutschland sind wir es gewohnt, ausreichend Wasser zur Verfügung zu haben. Noch, möchte man sagen. Denn künftig dürfte es knapp werden – schließlich geht der Weltklimarat davon aus, dass infolge des Klimawandels die Intensität und Häufigkeit von Dürren zunehmen.

Hoch hinaus mit neuer Satellitentechnologie: Dr. Matthias Beier von der SPACEOPTIX GmbH und Dr. Henrik von Lukowicz vom Fraunhofer IOF (r.).

Darüber hinaus wächst die Weltbevölkerung immer weiter: Bis 2050 werden Schätzungen zufolge knapp zehn Milliarden Menschen auf der Erde leben. Menschen, die mit Nahrungsmitteln versorgt werden müssen. Was das mit Wasser zu tun hat? Jede Menge, denn 70 Prozent unseres Trinkwassers werden der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen zufolge aktuell für Bewässerung genutzt. Eine besonders erschreckende Zahl in diesem Zusammenhang: 60 Prozent davon werden durch übermäßige Besprengung verschwendet.

Geleitet durch die Gründungsidee der constellr GmbH entwickelten die Forschenden der Fraunhofer-Institute für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI und für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF sowie der Unternehmen constellr und SPACEOPTIX – beides Ausgründungen dieser Institute – die Infrarotkamera LisR, kurz für »Longwave infrared sensing demonstratoR«. Nach erfolgreicher Demonstration auf der internationalen Raumstation ISS sollen die Erkenntnisse der LisR-Mission als Grundlage für eine Satelliten-Konstellation genutzt werden. Mit dieser lässt sich künftig aus dem Orbit die Landoberflächentemperatur messen und die Bewässerung auf den tatsächlichen Bedarf abstimmen. Schon ab 2026 könnten auf diese Weise jährlich 180 Milliarden Tonnen Wasser und 94 Million Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden, während die globale Ernte durch eine gezieltere Versorgung der Pflanzen um bis zu vier Prozent steigen könnte. Dies entspräche Nahrung für über 350 Millionen Menschen. Für ihre Entwicklung des Technologie-Demonstrators LisR werden Clemens Horch vom Fraunhofer EMI, Dr. Henrik von Lukowicz vom Fraunhofer IOF, Cassi Welling von der constellr GmbH und Dr. Matthias Beier von der SPACEOPTIX GmbH mit dem Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt« 2023 ausgezeichnet.

### Messung der realen Landtemperatur

Doch wie ermöglicht es die Technologie, solche großen Mengen an Wasser und CO<sub>2</sub> einzusparen? »Von einem Satelliten aus behält LisR die Erdoberfläche im Blick und detektiert die von dort ausgesandte Infrarotstrahlung – also die Wärmestrahlung«, erläutert Welling. »Während andere Lösungen lediglich die Landoberflächentemperatur modellieren, messen wir die Temperatur des Blätterdachs oder der Landoberfläche der Vegetation direkt. Auf diese Weise können wir eine genaue Bewertung von Wasserverfügbarkeit gegenüber -bedarf vornehmen und Stress früher als je zuvor erkennen.« Über die Bewertung lässt sich damit auch auf den Bewässerungszustand der Pflanzen schließen: Sind die Pflanzen nicht ausreichend versorgt, verdunstet weniger Wasser über ihre Blätter –

die Temperatur steigt. Die Wärme an bestimmten Stellen des Ackers kann den Landwirtinnen und Landwirten daher einen direkten Anhaltspunkt geben, wo Beregnung nötig ist und wo nicht.

Elementar für die Entwicklung des Technologie-Demonstrators war das Zusammenspiel der verschiedenen Partner mit ihren Expertisen, die wie Zahnräder ineinandergriffen. Während das Fraunhofer IOF die kompakte und leicht zu integrierende Optik für das Kameramodul konstruierte, fertigte SPACEOPTIX die dafür nötige Freiform-Spiegeloptik in Nanometer-Präzision. Die Forschenden des Fraunhofer EMI wiederum steuerten ein patentiertes Messverfahren bei, mit dem sich aus den Kameraaufnahmen die präzise Oberflächentemperatur bestimmen lässt. Die Missionsplanung sowie die Auswertung der Daten übernahm die constellr GmbH.

### Große Ehre für ein kleines System: Test auf der Internationalen Raumstation ISS

Gemeinsam konnten die Forschenden nicht nur der technologischen Herausforderung begegnen, sondern auch der zeitlichen: Mit Feuereifer schafften sie es, innerhalb eines Jahres den Demonstrator zu entwickeln, fertigzustellen und die nötigen Testläufe durchzuführen. »Von der ISS aus konnten wir etwa zehn Millionen Bilder aufnehmen, mit einer Auflösung von rund 80 Metern«, freut sich Horch. Aufbauend auf diesem Erfolg plant constellr, bis 2028 mit 16 Kleinsatelliten die Temperatur der kompletten Landoberfläche der Erde täglich mit einer Auflösung von mehr als 50 Metern präzise zu messen. ■

Wärme im Acker aus der Ferne erfassen: Cassi Welling (constellr GmbH) und Clemens Horch (Fraunhofer EMI).







# Auf der Sonnenseite

Die Energiewende erfordert eine engere Verknüpfung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität – nicht nur innerhalb eines Hauses, sondern auch in Wohnquartieren. Dafür müssen neue Konzepte, Werkzeuge und Geschäftsmodelle entwickelt werden.

Von Beate Strobel

Synergien nutzen:  
Kluge Energiekonzepte verbinden Stromerzeuger und -verbraucher im Wohnquartier.

**N**ach der Mobilität ist jetzt auch das Wohnen ins Zentrum der Nachhaltigkeitsdebatten gerückt. Aus gutem Grund:

Rund 17 Prozent der Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland gehen auf Kosten von Privathaushalten. Vor allem das konventionelle Heizen der Räume und die Bereitstellung von Warmwasser verursachen CO<sub>2</sub>-Emissionen und befeuern so den Klimawandel, da bei Bestandsimmobilien vorwiegend Erdgas (49,5 %) und Heizöl (24,8 %) als Energieträger genutzt werden – Heiztechnologien also, die fossile Ressourcen nutzen.

Bisher beschränkt sich Klimaschutz im privaten Bereich vor allem auf den Appell, die Menschen zum Energiesparen zu bewegen und dazu, ihre Gebäude energetisch zu sanieren sowie in Erneuerbare-Energie-Technologien zu investieren – also etwa in die PV-Anlage auf dem Dach oder in die mit grüner Energie betriebene Wärmepumpe. An einem anderen Ansatz arbeitet Fraunhofer. »Im Wohnquartier treffen mit Wärme, Strom und Mobilität die wichtigsten Energiesektoren aufeinander«, sagt Prof. Peter Bretschneider, Direktor des Institutsteils für Angewandte Systemtechnik AST des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB. »Die intelligente Kopplung dieser Sektoren innerhalb eines Quartiers und die dadurch optimierte Nutzung von lokal erzeugter erneuerbarer Energie sind ein entscheidender Hebel

für das Gelingen der Energiewende.« Dass das Ganze mehr sein kann als die Summe aller Teile, hatte schließlich bereits der griechische Philosoph Aristoteles vermerkt.

Synergetische Lösungen entwickeln, die nicht nur eine sichere, sondern auch ökonomisch wie ökologisch sinnvolle Energieversorgung in Wohnquartieren ermöglichen: Dieser Idee hat sich der Verein Open District Hub (ODH) verschrieben. Dass neben Forschungsinstituten wie Fraunhofer auch Unternehmen aus der Energie- und Immobilienwirtschaft, aus Mobilität, IT und Consulting sowie diverse Vereine und Verbände am ODH beteiligt sind, zeugt von den vielfältigen interdisziplinären Verflechtungen dieser Aufgabe: Die Energiewende hat viele Stakeholder.

## Ein Reallabor in Kaiserslautern

Sieben Referenzquartiere – reine Wohnquartiere sowie Mischquartiere aus Wohnungsbestand und Gewerbe – stehen dem ODH zur Verfügung, um innovative Ideen zur Sektorenkopplung in der Praxis zu erproben. Im PFAFF-Quartier Kaiserslautern etwa wurde das Gelände der ehemaligen Nähmaschinenfabrik Pfaff zu einem Reallabor gemacht. Bis 2027 soll hier ein CO<sub>2</sub>-neutrales Mischquartier entstehen. Für die Stromgewinnung sind Photovoltaik-Anlagen geplant, dazu für eine klimaverträgliche Mobilität eine gute Anbindung an den ÖPNV. Auch ▶

Foto: Hartz, Piranka/istockphoto



Mobilität und Flexibilität: Geladen wird das E-Auto vorwiegend, wenn ausreichend Solarenergie vorhanden ist. So dient das Fahrzeug auch als mobiler Stromspeicher.

Carsharing-Angebote und Ladesäulen für Elektrofahrzeuge soll es geben.

PV-Anlage auf dem Dach, Lademöglichkeiten am Haus: Das ist bereits für viele Gebäudearten angedacht und heute überwiegend in Einfamilienhäusern vorzufinden. Was also ist das Innovative an den Quartierlösungen, die im ODH erprobt werden? Entscheidend ist das Extra an Flexibilität, um erneuerbare Energiequellen – Sonnenschein und Wind – trotz ihrer Volatilität bestmöglich lokal nutzen zu können. Die Flexibilität entsteht zum einen dadurch, dass die energieabhängigen Sektoren – Wärme, Strom, Mobilität – im Quartier miteinander verknüpft werden und Synergien zwischen sektorenübergreifenden Energiebedarfen und Erneuerbare-Energie-Bereitstellung gehoben werden können. Dadurch wird die erneuerbare und CO<sub>2</sub>-neutrale Energie nicht nur im Stromsektor, sondern auch zur Wärmeerzeugung und Fortbewegung genutzt. Beides spart fossile Primärenergie ein.

Zum anderen resultiert aus der Quartiersbetrachtung mehr Flexibilität auf Verbraucherseite durch die höhere Anzahl an variabel betreibbaren Anlagen wie Energiespeicher, Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge, die koordiniert im Quartier dazu beitragen können, die Verbraucherseite an die Seite der Erneuerbare-Ener-

gie-Bereitstellung anzupassen. Wird beispielsweise weniger Strom durch Haushalte benötigt, als lokal erneuerbar erzeugt wird, kann in diesem Zeitraum stattdessen ein E-Auto CO<sub>2</sub>-neutral laden. Sowohl die Erschließung von Synergieeffekten als auch die Nutzung von Lastenflexibilitäten zur gezielten Anpassung an die Bereitstellung erneuerbarer Energien im Quartier sparen energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Ein zusätzlicher Hebel steckt in der Option, Energie zumindest kurzzeitig zu speichern. Wenn ausreichend Solarenergie vorhanden ist, da die Sonne ausgiebig scheint, sinkt entsprechend der Bedarf an Raumwärme. Idealerweise wird die überschüssige Solarenergie dann in Kurzzeitspeicher geleitet. Aber auch Batterien von E-Fahrzeugen können als mobile Stromspeicher dienen und so einen Beitrag zur Netzstabilität leisten.

Viele Anlagen, viele Akteure: Um derlei komplexe dezentrale Energieversorgungssysteme klug zu steuern und zu regeln, führt kein Weg an der Digitalisierung und Automatisierung vorbei. Die Datenerhebung durch intelligente Messsysteme (Smart Meter) ist Grundvoraussetzung für eine energieeffiziente Sektorenkopplung. Das Smart Meter Gateway verarbeitet die Messwerte und gibt sie weiter. Bis 2032

sollen alle Haushalte in Deutschland über Smart Meter verfügen.

Wegen des hohen zeitlichen Aufwands lohnt es sich, das Quartiermanagement einem Dienstleister zu übertragen. »Durch die Sektorenkopplung in Vor-Ort-Systemen entstehen neue Geschäftsmodelle«, konstatiert Peter Bretschneider vom Fraunhofer IOSB-AST. »Da die großen Energieversorger hier aktuell noch zurückhaltend sind, wird diese Chance von Start-ups genutzt.« Das Unternehmen AMPEERS ENERGY etwa, gestartet 2019 als Spin-off der Fraunhofer-Gesellschaft, hat mithilfe der Software- und Entwicklungskompetenz des Fraunhofer IOSB-AST bereits Applikationen für das Management und die Optimierung von Energie- und Datenflüssen im Quartier im Portfolio. »Wir liefern die komplette softwareseitige Unterstützung zur einfachen, vollständigen und skalierbaren Umsetzung dezentraler Geschäftsmodelle mit erneuerbaren Energien«, formuliert es Dr. Karsten Schmidt, Gründer und CEO von AMPEERS ENERGY und zugleich stellvertretender Vorsitzender im Verein Open District Hub.

### Sonnenenergie besser nutzen

AMPEERS ENERGY ist auch Projektpartner bei der Weiterentwicklung des Wohn-

quartiers Bochum-Weimar innerhalb des Open District Hubs. Das Immobilienunternehmen Vonovia ist hier Eigentümer von 232 Mehrfamilienhäusern mit insgesamt mehr als 1500 Wohnungen. Da die Gebäude aus den 1950er- und 1960er-Jahren stammen, ist das Quartier ein idealer Stellvertreter für viele Bestandsimmobilien mit hohem Sanierungsbedarf. Der Fraunhofer-Exzellenzcluster Integrierte Energiesysteme CINES (unter Beteiligung des Fraunhofer IOSB-AST sowie der Fraunhofer-Institute für Solare Energiesysteme ISE und für System- und Innovationsforschung ISI) hatte einen Teil des Quartiers in Bochum-Weimar ausgewählt, um die Nutzung von Energieflexibilitätsoptionen von Vor-Ort-Systemen zu untersuchen. Die 13 betrachteten Gebäude sind mit neun PV-Anlagen ausgerüstet. Die Wärmeversorgung erfolgt über ein lokales Nahwärmenetz, das durch zwei Erdgas-Brennwertkessel, zwei Luftwärmepumpen und eine Erdwärmepumpe gespeist werden kann. Zum Strombedarf der Haushalte kommen zwei Ladesäulen mit je einem Ladepunkt hinzu, genutzt vom Quartiers-Carsharing.

Die Ergebnisse der Kurzstudie »Vor-Ort-Systeme als flexibler Baustein im Energiesystem« zeigen klar den Nutzen von Sektorenkopplung und gebäudeübergreifenden Versorgungsstrukturen: Bereits durch den einfachen Zusammenschluss mehrerer Gebäude zu einem Quartier steigt der Eigenverbrauch der lokal erzeugten Solarenergie um 18 Prozent. Dieser Wert erhöht sich um weitere 15 Prozent durch Ergänzung des Systems mit einem elektrischen Quartiersspeicher. Ein intelligentes Quartiersmanagement mit der Nutzung aller Flexibilitätsoptionen jedoch steigert den Eigenverbrauch der lokal bereitgestellten erneuerbaren Energie auf 78 Prozent; der Kohlendioxid-Ausstoß verringert sich parallel um 19 Prozent. »Werden anstelle des Erdgas-Brennwertkessels vorrangig Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung genutzt, könnte der energiebedingte CO<sub>2</sub>-Ausstoß sogar mehr als halbiert werden«, sagt Projektleiter Sebastian Flemming vom Fraunhofer IOSB-AST. Im Quartier benötigte zudem nicht jedes Gebäude eine eigene Wärmepumpe, mehrere Häuser können sich eine teilen.

In der Thüringer Wachstumskerninitiative SMOOD (»smart neighborhood«) haben sich 2019 – wissenschaftlich begleitet unter anderem vom Fraunhofer IOSB sowie dem Fraunhofer-Institut für keramische Technologien und Systeme IKTS – regionale Unternehmen und der Verein Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk (ThEEN) zusammengetan, um eine Art Werkzeugkasten für die synergetische Weiterentwicklung von Wohnquartieren zu entwickeln. SMOOD soll dabei entlang der kompletten Sanierungs- und Modernisierungskette unterstützen.

SmoodPLAN etwa beinhaltet Tools zur Bestandserfassung und -bewertung. GeoHoP entwickelt ein Verfahren zur Gewinnung von Erdwärme in urbanen, dicht bebauten Gegenden. GeoHeatStorage trägt einen großskaligen, aber zugleich auch kostengünstigen Wärmespeicher bei, der für ein ganzes Quartier die saisonale Wär-

»Wenn Mieter einen nicht nur ökologischen, sondern auch monetären Vorteil erkennen, sehen sie die Photovoltaik auf dem Dach und das Windkraftträd in der Nähe mit anderen Augen.«

Sebastian Flemming,  
Projektleiter der CINES-Studie

mespeicherung übernehmen kann. Für das Modul EStorage haben Forschende des Fraunhofer IKTS eine vollständig rezyklierfähige Natriumchlorid-Batterie namens Cerenergy entwickelt, die aus heimischen Rohstoffen hergestellt wird und Strom aus Solaranlagen speichern kann. SmoodACT bildet schließlich das Gehirn zum intelligenten Quartiersmanagement: In der Steuerzentrale laufen die Daten zur Optimierung des Systems zusammen; sie steuert letztlich die gebäudetechnischen Prozesse.

All das klingt nach viel Aufwand und hohen Investitionen gerade bei älteren Bestandsimmobilien. »Doch wenn wir rund 60 Prozent der erneuerbaren Energie lokal

nutzen, amortisieren sich die Investitionen über einen sektorengestützten Ansatz binnen rund sieben Jahren«, schätzt Prof. Bretschneider, wissenschaftlicher Bündnispartner von SMOOD. Hinzu käme eine verbesserte Taxonomie des Gebäudes infolge der energetischen Maßnahmen – auch das ein wichtiges Argument für die Immobilienbranche. Die Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Energieversorgungsstrukturen hängt außerdem eng zusammen mit der Kostenentwicklung für fossile Energien. Das Jahr 2022 hat klar gezeigt, dass diese – anders als bei den erneuerbaren Energien – selbst kurz- und mittelfristig schwer kalkulierbar sind.

Für Sebastian Flemming, Projektleiter der CINES-Studie zu Vor-Ort-Systemen, zählt aber noch ein anderer Aspekt: Sektorengestützte Quartierlösungen hätten das Potenzial, die Partizipation der Bürgerinnen und Bürger an der Energiewende zu erhöhen. »Mieter haben oft keine Verbindung zur PV-Anlage auf dem Dach oder zur Windkraftanlage in Sichtweite, da sie das Gefühl haben, dass andere damit Geld verdienen, während ihre eigenen Energiekosten steigen«, erklärt er. »Wenn sie einen nicht nur ökologischen, sondern auch monetären Vorteil erkennen, sehen sie die Photovoltaik auf dem Dach und das Windkraftträd in der Nähe mit anderen Augen.« Ohne Akzeptanz bei den Menschen in Deutschland könne die Energiewende nicht ausreichend beschleunigt und umgesetzt werden, um die Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen.

Um Lösungen für ein intelligentes Quartiermanagement aus dem Reallabor umzusetzen und in die Fläche zu tragen, ist nun der Gesetzgeber gefordert: Erst die passenden regulatorischen Rahmenbedingungen ermöglichen eine Skalierung der Technologien und Geschäftsmodelle. Das bereits existente Modell »Mieterstrom«, bei dem der Vermieter Strom aus erneuerbaren Quellen lokal gewinnt und direkt oder über den Stromanbieter an die Mieter verkauft, habe sich als »zu kompliziert« erwiesen, urteilt Sebastian Flemming. Die CINES-Studie hingegen beweise, dass es auf mehreren Ebenen Sinn ergibt, in Sektorenkopplung im Quartier zu investieren, bilanziert Peter Bretschneider: »Wir haben gezeigt, wie es anders und besser gehen kann.« ■

# Das neue Bodengold

Pflanzenkohle speichert Wasser, Nährstoffe und Kohlenstoff über längere Zeit im Boden. Das könnte Landwirten helfen, klimabedingte Ernteauffälle zu reduzieren. Doch die bisherigen Herstellungsverfahren sind nicht nachhaltig genug. Zwei Fraunhofer-Institute wollen das ändern.

Von Kerstin Beckert

Der Trockenheit entgegenwirken: Speziell hergestellte Pflanzenkohle kann die Bodenqualität in der Agrarwirtschaft nachhaltig verbessern.

**D**er Klimawandel ist für die Agrarwirtschaft eine extreme Herausforderung. Hitze, starker Wind und Trockenheit verringern den für das Pflanzenwachstum so wichtigen Humusgehalt auf den Feldern. Der verdichtete Boden kann das Wasser bei Regenfällen nicht speichern, es fließt oberflächlich ab. Gülle oder Gärreste können zwar neue Nährstoffe liefern. Doch ohne verfügbares Nass nehmen die Pflanzenwurzeln diese kaum auf, was wiederum die landwirtschaftlichen Erträge verringert.

Mit Pflanzenkohle ließe sich »die Bodenstruktur durchaus verbessern«, sagt Antoine Dalibard vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB in Stuttgart. Das hochporöse Material verfügt über viele Hohlräume. Wie ein Schwamm saugt es Wasser und Nährstoffe auf, speichert diese über längere Zeit und gibt sie bei Bedarf an Erde und Pflanzenwurzeln ab. »Das verbessert die Wachstumsbedingungen« und fördere langfristig »den Aufbau der Humusschicht«, erklärt Christopher Kick vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Er warnt jedoch davor, die Kohle »pur« auf dem Acker auszubringen: Vor ihrem ersten Einsatz muss sie zunächst mit Nährstoffen aufgeladen werden. Andernfalls saugt sie den Pflanzen alles weg.

### Hitziger Entstehungsprozess

Zur Herstellung des schwarzen Feststoffs haben die Fraunhofer-Institute IGB und UMSICHT den thermochemischen Umwandlungsprozess weiterentwickelt. Beide nutzen für ihre Verfahren das folgende Grundprinzip: Restbiomasse wird unter Ausschluss von Sauerstoff erhitzt und zersetzt sich. Ein Großteil des Kohlenstoffs verbleibt im Feststoff zurück, hochwertige Pflanzenkohle entsteht. Leicht flüchtige Bestandteile steigen derweil mit dem Wasserdampf auf, werden abgekühlt und kondensieren. So lassen sich in dieser »Kondensat-Suppe« enthaltene Verbindungen wie etwa Öl, Aromastoffe, Essigsäure oder Wasserstoff isolieren. »Unser Fokus ist es,

alle Endstoffe mittels weiterer Trennprozesse in möglichst reiner Form zu erhalten«, so Antoine Dalibard. Welche Stoffe aus dem Kondensat gewonnen werden können, hängt vom jeweiligen Pyrolyseverfahren ab.

Dalibard leitet am Fraunhofer IGB die Fachgruppe für thermische Trennverfahren. Zur Herstellung von Pflanzenkohle verwenden er und sein Team die sogenannte Torrefizierung mittels überhitztem Wasserdampf. Dabei handelt es sich um eine milde Form der Pyrolyse, bei der die Bioabfälle in zwei Stufen auf maximal 300 Grad Celsius erhitzt werden.

In der ersten Stufe verdampft größtenteils das in den organischen Abfällen enthaltene Wasser (Dampftrocknung). In der zweiten Stufe findet die eigentliche Torrefizierung statt. Durch die Verwendung von überhitztem Wasserdampf könne die investierte Energie einfach rückgewonnen werden, erklärt der promovierte Ingenieur. Dank des komplett geschlossenen Kreislaufs gebe es zudem keine Emissionen, keine Geruchsprobleme; die Pflanzenkohle lasse sich im Freien gut lagern, sie verschimmele nicht.

Im oberpfälzischen Sulzbach-Rosenberg am Fraunhofer UMSICHT ist Christopher Kick »der Mann für die Pflanzenkohle«. Der Umwelttechniker leitet die Forschungsgruppe »Aufbereitung thermochemischer Konversionsprodukte«. Dazu gehört auch das Projekt InterPyro, das sich mit Einsatzmöglichkeiten des kohlenstoffhaltigen Feststoffes beschäftigt. Hergestellt wird dieser mithilfe des thermo-katalytischen Reformings (TCR): eine mittelschnelle Pyrolyse, bei der die Bioabfälle länger im Prozess verweilen als bei der Torrefizierung. Außerdem ist die Temperatur insgesamt höher. In einer ersten Stufe werden die vorzerkleinerten Reststoffe unter Sauerstoffabschluss bei 450 Grad Celsius verkohlt. Im zweiten Schritt fungiere die Pflanzenkohle dann selbst »als eine Art von Katalysator«, so der promovierte Ingenieur: Sie falle in einen Behälter, »der auf 700 Grad Celsius aufgeheizt wird«. Durch dieses heiße Kohlebett werden dann die Pyrolyseprodukte geführt, was die Qualität

der entstehenden Pyrolyseprodukte noch einmal erhöht.

### Kohlenstoffspeicher im Boden

Das Verrotten von Bioabfällen setzt normalerweise Methan und Kohlendioxid frei. Pflanzenkohle hingegen wird nur sehr langsam von Mikroorganismen abgebaut. Auf diese Weise wird der in ihr enthaltene Kohlenstoff langfristig im Boden gespeichert. Experten bezeichnen dies als Kohlenstoffsänke. Wie lange die Kohle stabil ist, hängt vom Herstellungsverfahren ab. Bei der Torrefizierung können dies Hunderte, bei der mittelschnellen Pyrolyse sogar Tausende von Jahren sein. Auf diese Weise könnte das Einbringen von Pflanzenkohle in den Acker nicht nur die Bodenqualität verbessern, sondern auch das Treibhausgas CO<sub>2</sub> langfristig als Kohlenstoff im Boden halten.

Die zur Kohlegewinnung verwendete Restbiomasse muss schadstofffrei und nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion verwendbar sein. Infrage kommen hier etwa Waldrestholz, Bioabfälle, Gärreste aus Biogasanlagen, Grünschnitt oder auch Pferdemist. Je nach Ausgangsstoff und Pyrolyseverfahren kann sich jedoch die Zusammensetzung der Pflanzenkohle verändern, »wir bekommen dann eventuell ein anderes Produkt«, erklärt Dalibard. Daher muss jeweils geprüft werden, ob dieses für den Einsatz im Boden geeignet ist. Auch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) gibt zu bedenken, dass »negative Auswirkungen auf Bodenfunktionen ausgeschlossen werden« sollten. Ein entsprechendes Gütesiegel soll helfen, wie das freiwillige Europäische Pflanzenkohle Zertifikat (EBC). »Da sind wir aktuell dran«, sagt Kick. Ziel sei »ein dezentraler Kreislauf, in welchem Abfallstoffe, die keiner mehr benötigt, zu einem Nutzprodukt werden, das den Boden wieder fruchtbarer macht«. Die Verfahren – das des Fraunhofer IGB sowie das des Fraunhofer UMSICHT – lassen sich nicht nur gut kombinieren, sondern sind auch bereits auf dem Sprung zum industriellen Einsatz. ■

# Manipulation erfolgreich bekämpfen

Millionen von Meldungen fluten Tag für Tag die großen Social-Media-Plattformen. Das innovative Analyse- und Beobachtungstool NewsHawk hilft, Propagandakampagnen zu entlarven.

Von Dr. Sonja Endres

**D**er Preis der Unwahrheit? 279 Euro. So viel zahlte ein Forschungsteam für 1385 Fake-Kommentare, 13 859 Fake-Likes und 5808 Fake-Shares auf Facebook, Instagram und Co. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchten im Auftrag der NATO im Jahr 2021 Manipulationen auf Social-Media-Plattformen. Ein Ergebnis der Studie: Die professionelle Meinungsmache ist ein florierendes Geschäft – und eine ernsthafte Bedrohung für die Demokratie. Der Bericht fordert die Gesetzgeber auf, den Verkauf »nichtauthentischer Information« zu verbieten.

Prof. Ulrich Schade, Forschungsgruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE: »Dass es gezielte Beeinflussungskampagnen auf Social Media gibt, zum Beispiel zur Manipulation von Wahlen, ist bekannt. Sie schnell und sicher zu identifizieren, war bisher jedoch nicht möglich.« Daher hat sein Team in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Informationsvisualisierung und Interaktion unter Leitung von Dr. Carsten Winkelholz das Social-Media-Beobachtungs- und Analysetool NewsHawk entwickelt, das Posts filtert, kategorisiert und clustert, sie mittels Visual Analytics grafisch darstellt und intuitiv erfassbar macht. »So können auch Laien rasch Muster erkennen und Kampagnen entlarven, die von automatisierten Bot-Netzen befeuert werden.«

Die Fraunhofer FKIE-Teams testeten NewsHawk zunächst bei Twitter. Das Tool nimmt vor allem Anomalien in den Metadaten der Tweets und die Interaktionen zwischen verschiedenen Accounts ins Visier. Schade erklärt: »Wir überprüfen: Wann wurde der Account gegründet? Wie viel Tweets wurden seitdem geteilt? Wer sind Freunde und Follower?« Wenn der Account 24 Stunden am Tag sieben Tage die Woche retweetete, dann sei die Wahrscheinlichkeit hoch, dass es sich um einen Bot handle, also um ein Computerprogramm und keinen Menschen. Ein wei-

teres Indiz dafür sei, dass nichts kommentiert wird. Es geht lediglich ums Teilen, um die schnelle Weiterleitung eines Posts im Internet – und damit um die Suggestion, die Meinung werde von vielen Menschen vertreten. Zudem haben Bot-Netze sich häufig gegenseitig als Follower, was die Verbreitung der Tweets potenziert. »Wir sehen eine geschlossene Struktur«, so Schade. Die Reaktionszeiten von Bots seien zudem sehr kurz, die meisten Retweets erfolgen innerhalb einer Stunde.

## Hunderte Fake-Accounts wurden gezielt angelegt

Schade und sein Team untersuchten mithilfe von NewsHawk unter anderem Propagandakampagnen im Kontext des Ukraine-Krieges – und wurden massenweise fündig. »Meist ist es das gleiche Muster: Ein prominenter Unterstützer oder eine prominente Unterstützerin des russischen Narrativs wie Sahra Wagenknecht postet etwas, und der Tweet verbreitet sich innerhalb kürzester Zeit über die identifizierten Netze.« Eine Manipulation mit System: Schade ermittelte, dass kurz vor dem russischen Überfall auf die Ukraine im Februar 2022 Hunderte von Twitter-Accounts angelegt wurden, die heute der Verbreitung russischer Positionen dienen.

NewsHawk erlaubt es, die Masse der Meldungen auf Social Media gezielt nach bestimmten Begriffen zu filtern. Das Tool kann so auch als Warnsystem eingesetzt werden, das nicht nur frühzeitig Kampagnen erkennt, sondern auch bedrohliche Ereignisse detektiert – wie zum Beispiel einen Giftgas-Angriff oder Atomunfall. Schade: »So ist man schneller reaktionsfähig und gewinnt Zeit.« Als Beobachtungstool könne es permanent Social-Media-Plattformen scannen, kritische Meldungen identifizieren und es somit ermöglichen, kommunikativ rechtzeitig gegenzusteuern. Damit sei NewsHawk auch für große Unternehmen interessant. ■



Der Hipster-Papst in stylischer Daunenjacke ging viral. Verräterisch ist allein das Kreuz, das nur einseitig an der Kette hängt, und eine unnatürlich wirkende Hand – eine häufige Schwachstelle von KI-generierten Bildern.



So sähen viele den Herrscher im Kreml gerne: Auch von Putin hinter Gittern kursieren zahlreiche Fälschungen im Netz.



Bilder von Donald Trumps angeblicher Verhaftung machten im März auf Social Media die Runde. Erstellt und veröffentlicht hatte sie der amerikanische Journalist Eliot Higgins im Zusammenhang mit dem Verfahren gegen Trump vor einem New Yorker Gericht.



Mittlerweile kaum noch als Fälschung zu erkennen: mithilfe von Künstlicher Intelligenz generierte Bilder. Sie verhelfen Fake News zu mehr Glaubwürdigkeit – und bewirken dadurch, dass ihre Reichweite steigt.



EUROPA

## Achtsame Industrieroboter

Schwerlastroboter mit der notwendigen Intelligenz auszustatten, um eine effizientere und trotzdem sichere Zusammenarbeit mit ihren menschlichen Bedienern zu ermöglichen, ist das Ziel des europäischen Kooperationsprojekts Sharework. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU haben ein umfassendes modulares Planungstool zur Wahrnehmung des Roboterumfelds entwickelt, das eine schnelle und flexible Risikobeurteilung in der Mensch-Roboter-Kollaboration erlaubt. Ausgehend von der Grundannahme, dass nicht alle festen und beweglichen Objekte oder Personen in der Roboterzelle ein einheitliches Kollisionsrisiko haben, teilte das Team die Wahrnehmungsbereiche neu ein: Die Umfelderkennung wird über eine laser-gesteuerte Sensorik mit großem Sichtfeld erkannt und kategorisiert, während Kameras das Nahfeld überwachen. So kann der Roboter quasi mit zusätzlichen Augen seine Umgebung besser einschätzen und schneller agieren. Zwar müssen die Roboterbewegungen bei menschlicher Annäherung immer noch verlangsamt werden, die smarte Umfelderkennung erlaubt jedoch eine Steigerung der Schnelligkeit um rund 25 Prozent. Das System wurde bereits erfolgreich in der laufenden Produktion getestet.



Mensch und Maschine: Sichere Zusammenarbeit dank Umfelderkennung.

# Fraunhofer international



● Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft



Eine neue Katalysatoren-Generation soll die Effizienz der Wasserstoffproduktion steigern.



KANADA

## Wasserstoff-Elektrolyse zukunftsfähig machen

Ressourcenschonende und kostengünstige Hochleistungs-Elektrolyseure sind eine zwingende Voraussetzung für die Wasserstoffproduktion im industriellen Maßstab. An einer neuen Generation von Wasserspaltern mit Anionenaustauschmembranen (AEM), die den Anforderungen im Megawattbereich standhalten, forscht das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM im kanadisch-deutschen Verbundprojekt Integrate gemeinsam mit produzierenden Unternehmen und Universitäten. Um die noch junge Technologie zu optimie-

ren, entwickelt das Fraunhofer IFAM edelmetallfreie und langzeitstabile Katalysatoren, die auch in verdünnter alkalischer Umgebung eine hohe Leistung zeigen. Entscheidend für deren Wirksamkeit sind unter anderem die strukturellen Merkmale des Trägersubstrats, sogenannte poröse Transportschichten, die zusammen mit dem Katalysatormaterial die Effizienz beeinflussen. Sind Material- und Prozessparameter, z.B. beim Beschichtungsprozess, verstanden, können die für die Elektrolyse optimierten und energieeffizienten Elektroden konzipiert werden.





Meeresfarmen belasten die Wasserqualität. Ein neues System will das ändern.



## NORWEGEN Nachhaltige Aquakultur

An einer umweltfreundlichen Technologie zur Reinigung von kontaminierten Abwässern in der Lachszeit arbeiten Forschende aus Norwegen, Belgien und Deutschland im Projekt WeBoat. Zur Bekämpfung von Läusen werden Lachse aus Aquakulturen mit Medikamenten behandelt. Die Prozedur wird auf sogenannten Wellboats durchgeführt – Boote, die über Meerwassertanks mit einem Fassungsvermögen von durchschnittlich 3000 Kubikmetern

verfügen. Anschließend wird das verunreinigte Entlausungsabwasser wieder ins Meer geleitet. Zukünftig sollen in einem mehrstufigen Verfahren aus Filtration und u. a. UV-Bestrahlung die Entlausungsmittel an Bord neutralisiert werden. Für das Wasseraufbereitungssystem entwickelt das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS nanoplasmonische optische Biosensoren. Diese reagieren mit ihrer angepassten Oberfläche gezielt und hochsensitiv auf die Entlausungsmittel, die so detektiert und in ihrer Konzentration bestimmt werden können. Mit der Überwachung in Echtzeit kann sichergestellt werden, dass nur geprüftes Abwasser ohne Medikamentenrückstände zurück ins Meer gelangt.



## ÖSTERREICH Styropormüll verringern

Expandiertes Polystyrol, auch als Styropor oder EPS bekannt, ist zu 100 Prozent recyclingfähig. In Österreich wird es derzeit zu etwa einem Viertel bei Baumaterialien und zur Hälfte bei Verpackungen wiederverwertet – allerdings meist nur als Schüttgut, mit dem man beispielsweise unebene Böden ausgleichen und dämmen kann. Forscherinnen und Forscher von Fraunhofer Austria arbeiten im Projekt EP-Solution mit zwölf Partnern daran, den Anteil von recyceltem EPS deutlich zu erhöhen und es in neuen Styropor-Produkten zum Einsatz zu bringen. Ein Schwerpunkt des Projekts liegt auf



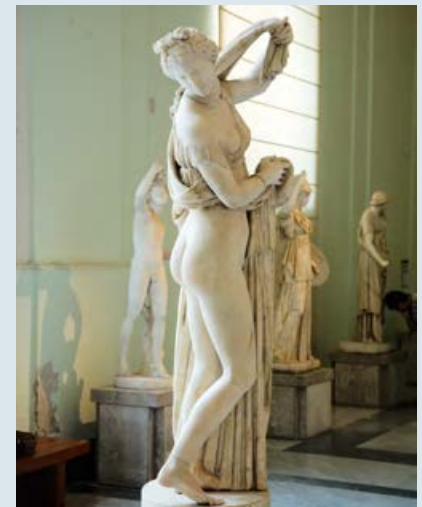
Bauen muss klimafreundlicher werden – auch durch Einsatz von Rezyklaten.

stark verunreinigtem Baustyropor, das zudem mit dem Flammschutzmittel HBCD belastet ist. Dem Forschungsteam gelang es, das EPS von den Fremdkomponenten fast vollständig zu trennen. Mit dem vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV entwickelten lösemittelbasierten Recyclingprozess CreaSolv lässt sich auch das HBCD lösen und Polystyrol-Rezyklat zurückgewinnen.



## ITALIEN KI als Restaurator

Verschwundene Farben auf antiken Statuen, verblasste historische Textilien oder Gemälde – Kunstwerke in ihrer ursprünglichen Farbgebung erlebbar machen und bewahren wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im EU-Projekt PERCEIVE. Das Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD entwickelt eine Künstliche Intelligenz (KI), die sowohl die Farbgestaltung rekonstruiert als auch die Veränderung über die letzten Jahrhunderte nachzeichnet und den künftigen Zustand vorhersagt. Die KI wird unter anderem mit Daten zu Materialien und Oberflächentexturen, historischen Farbveränderungen oder chemisch-physikalischen Eigenschaften von Farben trainiert. Sie kann sogar abschätzen, wie das Kunstwerk und seine Farben bei unterschiedlichem Lichteinfall wirken. Das Forschungsprojekt startete mit einer Auftaktveranstaltung im Archäologischen Nationalmuseum Neapel. Ziel ist es, die Instandhaltung von Kunstwerken europaweit zu koordinieren und zu optimieren. Die KI soll auch virtuelle Ausstellungen bereichern.



Wie sah diese Statue der Aphrodite (Archäolog. Nationalmuseum Neapel) ursprünglich aus?

# Interoperabilität für den Erfolg der NATO

Die NATO-Mitglieder wollen zukünftig noch enger zusammenarbeiten. Doch gemeinsame Übungen und Aktivitäten unterschiedlicher Streitkräfte stoßen immer wieder an Grenzen, wenn Kommunikation und Datenaustausch nicht richtig funktionieren.

Von Mehmet Toprak

**D**as Thema »Interoperable Schnittstellen zum Datenaustausch für heterogene Systeme« klingt sperrig. Doch geht es dabei um Menschenleben. Während sich die öffentliche Diskussion zur Modernisierung der Bundeswehr meistens um Kampfflugzeuge, Hightech-Waffen oder Munition dreht, debattieren Verteidigungsexperten zunehmend darüber, wie die Technik in Fahrzeugen, Lagezentren und Kommandoständen der Streitkräfte beschaffen sein muss, damit sie Daten und Informationen nahtlos senden und empfangen sowie einheitlich interpretieren und verarbeiten kann. Funktionierende Technik und gemeinsame Schnittstellen sind eine Voraussetzung für Interoperabilität. Ebenso wichtig sind ein gemeinsames Verständnis der Informationen und der jeweils aktuellen Lage. Nur so ist am Ende abgestimmtes Handeln möglich.

»Die Interoperabilität der Schnittstellen in Führungsinformationssystemen werden mithilfe von Simulationen ausgetestet. So kommen wir schnell und kostengünstig zu funktionierenden Lösungen.«

Magdalena Dechand,  
Fraunhofer FKIE



Aktuell zeigt der Krieg in der Ukraine, dass Interoperabilität und einheitliche Informationsstandards für die Zusammenarbeit der Streitkräfte verschiedener Nationen immer wichtiger werden. Der reibungslose Austausch von Informationen über Ländergrenzen hinweg kann in kritischen Situationen Leben retten.

Um dieses komplexe Thema und all seine Facetten kümmert sich das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE an den Standorten Wachtberg und Bonn. Die Forschenden arbeiten an Standards, Werkzeugen und Testumgebungen, um die Interoperabilität zu beschleunigen.

General a.D. Jörg Vollmer, zuletzt Inspekteur des Heeres und Befehlshaber Allied Joint Force Command Brunssum, berät hierzu das Fraunhofer-Team als Chief Advisor Military Affairs. »In den vergangenen Jahrzehnten haben viele Länder ihre eigenen Lösungen entwickelt und die Interoperabilität vernachlässigt«, befindet der Mann der Praxis mit 44 Jahren Berufserfahrung in Uniform. »Jetzt müssen wir sie vorantreiben. Denn ohne schnellen und flüssigen Informations- und Datenaustausch auf Basis gemeinsamer Standards kann die NATO nicht erfolgreich operieren.«

## Daten, Schnittstellen, Lagebilder

Bei der Erstellung von taktischen Lagebildern fließen zahlreiche Informationen verschiedener Teilstreitkräfte oder der Streitkräfte verbündeter Nationen zusammen. Je schneller und je besser automatisiert die Daten über Schnittstellen weitergegeben werden können, desto flexibler können die Streitkräfte agieren. »Für Soldatinnen und Soldaten im Feld bedeutet dies, dass sie in gefährlichen Situationen bestmöglich geschützt sind und zugleich beim Einsatz von Wirkmitteln keine Kollateralschäden erzeugen«, erklärt Dr. Daniel Ota, Forschungsgruppenleiter am FKIE.

Um den Fluss der Daten auch bei vielen Kommunikationsteilnehmern zu untersuchen, haben die Fraun-





International verständlich:  
Der Rank Patch dieses  
Stabsunteroffiziers der  
Bundeswehr nennt auch  
seinen Dienstgrad in NATO-  
und US-Rangcodes.

hofer-Forschenden eine Analyse- und Testumgebung (AuT) etabliert. Die Plattform für Integrationstests komplexer heterogener Systeme ermöglicht es bei groß angelegten taktischen Übungen, reale Fahrzeuge oder Truppen mit simulierten Systemen zu verbinden. Ota: »Man muss nicht eine ganze Kompanie auf dem Übungsplatz bewegen, sondern trainiert beispielsweise mit einer einzelnen Gruppe von Panzern, ergänzt diese mit simulierten Einheiten und erhält am Ende sozusagen ein komplettes taktisches Übungsszenario.« Erprobt wird weiterhin die Interoperabilität von neu entwickelten Geräten wie etwa Drohnen oder Fahrzeugsensoren, die in zukünftige Systeme integriert werden.

Zudem arbeitet das Fraunhofer FKIE-Team zusammen mit Partnern an unterschiedlichen internationalen Standards wie C2SIM (Command and Control Systems – Simulation Systems Interoperation) und MIP (Multilateral Interoperability Programme). Während MIP eine gemeinsame Schnittstelle für den Informationsaustausch zwischen Führungsinformationssystemen aller Beteiligten gewährleistet, koppelt C2SIM Führungsinformationssysteme mit Simulationssystemen. Projektleiterin Magdalena Dechand erklärt: »Dahinter steckt der Gedanke, die Interoperabilität der Schnittstellen in Führungsinformationssystemen mithilfe von Simulationen auszutesten. Die Simulationssysteme nimmt man später einfach heraus. Dann verhalten sich die Führungssysteme im realen Einsatz exakt so, wie es zuvor erprobt wurde. So kommen wir schnell und kostengünstig zu funktionierenden Lösungen.«

### Entscheidungen in Stresssituationen

Doch Technik und einheitliche Standards sind nur ein Baustein des Erfolgs. Nicht umsonst steht das »E« im Institutskürzel FKIE für Ergonomie. Denn die Systeme, mit denen die komplexe Informationsflut angezeigt, ausgewertet und weitergeleitet wird, müssen besonders in Stresssituationen leicht bedienbar sein. Die Expertinnen und Experten des Fraunhofer FKIE setzen hier auf die Reduktion von Komplexität; beispielsweise verwendet C2SIM vertraute Konzepte aus dem MIP-Modell.

Auch in anderer Hinsicht spielt der menschliche Faktor die entscheidende Rolle. Wenn sich unterschiedliche Nationen in der NATO, mit ihren jeweils eigenen Sicherheitsnormen und Interessen, auf gemeinsame Standards und Normen für Kommunikation und Datenaustausch einigen wollen, ist das eine echte Herausforderung. Daniel Ota sagt: »Die große Herausforderung besteht oftmals nicht darin, eine technisch perfekte Lösung zu finden. Sie besteht eher darin, einen Kompromiss zu finden, den alle Partner auch wirklich akzeptieren und umsetzen wollen.« ■

Fotos: Siegra Asmoel/imageBROKER/picture alliance, Fraunhofer FKIE



Unterschätzter Klimaschützer:  
Moore nicht nur zu erhalten,  
sondern auch wieder herzustellen,  
kann viel zum Erreichen der  
globalen Klimaziele beitragen.



Foto & Fraunhofer

# Mehr Moor

Schaurig ist's, übers Moor zu gehen? Sümpfe haben ein Imageproblem. Doch das Narrativ vom mystischen Ort der Mumifizierung hat ausgedient, denn Moore haben das Zeug zum Klimaretter: Obwohl sie nur drei Prozent der Erdoberfläche ausmachen, binden sie ein Drittel des terrestrischen Kohlenstoffs. Pro Jahr entziehen die Moorflächen der Atmosphäre außerdem bis zu 250 Millionen Tonnen des Treibhausgases Kohlendioxid.

In Deutschland allerdings sind 98 Prozent der ursprünglich vorhandenen Moorflächen trockengelegt und werden nun meist landwirtschaftlich genutzt. Dadurch kommt Sauerstoff an den im Torf gespeicherten Kohlenstoff, was zu einer Freisetzung von Kohlendioxid und des noch klimaschädlicheren Lachgases führt. Entwässerte Moore sind für gut 40 Prozent der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Die Wiedervernässung ehemaliger Sümpfe ist Bestandteil der 2022 verabschiedeten Natio-

nen Moorschutzstrategie der Bundesregierung. Doch durch derlei Renaturierungsmaßnahmen gehen der Landwirtschaft wichtige Nutzflächen verloren. In der Initiative »Biogene Wertschöpfung und Smart Farming« forschen die Fraunhofer-Institute für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV sowie für Graphische Datenverarbeitung IGD deshalb an Nutzungsmöglichkeiten für sogenannte Paludikulturen, also von Pflanzen, die in Mooren wachsen. Damit aus Schilf, Rohrkolben und Co. ein Werkstoff für biobasierte Verpackungen wird, analysieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diese Pflanzen, entwickeln Verarbeitungsverfahren, untersuchen Wechselwirkungen mit anderen Rohstoffen und führen Materialprüfungen durch. In der Hoffnung, dass sich die Renaturierung ehemaliger Sümpfe für Klima und Landwirtschaft gleichermaßen lohnt. Und es schon bald wieder mehr schaurig-schöne Moore gibt.

# Der Weg zum Notgroschen

Ohne Strom kein Geld: Wer im Katastrophenfall etwas kaufen muss, tut sich schwer. Mathematische Optimierung hilft, die Bargeldversorgung bundesweit zu sichern.

Von Stefanie Smuda

Dank mathematischer Optimierung geht es nicht ans Eingemachte.

**D**ie Deutschen lieben klimpernde Münzen und knisternde Scheine: 72 Prozent zahlen laut einer Umfrage des Marktforschungsunternehmens Statista bevorzugt in bar statt mit Karte – und sind im Krisenfall so gut gerüstet. Fällt zum Beispiel der Strom oder das IT- und Kommunikationsnetz aus, funktionieren nicht nur elektronische Bezahlungssysteme nicht mehr, sondern auch Geldautomaten. Im Projekt »Resilienz der Bargeldversorgung – Sicherheitskonzepte für Not- und Krisenfälle (BASIC)« haben Forschende des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS einen mathematischen Optimierungsalgorithmus entwickelt, der dabei hilft, den Bargeldkreislauf aufrechtzuerhalten.

Dafür haben sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit den wichtigsten Akteuren in der Bargeldlogistik zusammengesetzt. Partner waren unter anderem die Deutsche Bundesbank und das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe.

Laura Brouer, stellvertretende Gruppenleitung »Optimization« am Fraunhofer IIS, ging mit ihrem

**72 %**  
der Deutschen zahlen laut einer Umfrage bevorzugt in bar

Team der Fragestellung nach, welche Banken und Geldautomaten in Deutschland im Krisenfall unbedingt funktionieren müssen. In Notsituationen, etwa bei einer Störung im IT- und Kommunikationsnetz oder bei einer Naturkatastrophe, ist Bargeld essenziell, um weiterhin bezahlen zu können und den Wirtschaftskreislauf aufrechtzuerhalten. Bargeld funktioniert aber auch als Vertrauensanker der Bevölkerung in der Krise. Menschen tendieren dann dazu, mehr Bargeld abzuheben – die Mangelsituation spitzt sich zu. »Man hortet nicht nur Klopapier in der Krise, sondern auch Bargeld«, sagt Laura Brouer.

## Bestehende Notfallkonzepte sichern Bargeldversorgung unzureichend ab

Schon jetzt verfügen Geld- und Wertdienstleister über eigene Notfall- und Krisenkonzepte, doch oftmals sind diese gar nicht oder nur unzureichend miteinander verknüpft. Im Krisenfall kann es daher schwierig werden, die Bargeldversorgung zu gewährleisten. Hier setzt der Algorithmus der Arbeitsgruppe für Supply Chain Services



am Fraunhofer IIS an: Mit mathematischer Optimierung bestimmten Laura Brouer und ihr Team die relevantesten Bargeldbezugspunkte im Not- und Krisenfall sowie die bestmögliche Bargeldbelieferung.

»Mathematische Optimierung ermöglicht es, ein Entscheidungsproblem strukturiert darzustellen. Wenn man alle relevanten Daten bereitstellt, erhält man am Ende die optimale Lösung«, erläutert Laura Brouer und nennt ein konkretes Beispiel: »Sie wollen wissen, wie Sie Ihren Rucksack optimal packen können. Hierfür benötigen Sie Daten sowohl über den Rucksack, zum Beispiel sein Volumen und die maximale Traglast, als auch über die verschiedenen Gegenstände, die Sie einpacken wollen, wie etwa Nutzen, Größe und Gewicht. Es gibt verschiedene Möglichkeiten – man kann beispielsweise Gegenstand A und B einpacken oder Gegenstand B und C –, es existiert aber nur eine optimale Lösung, also ein gepackter Rucksack, der maximalen Nutzen bringt.«

In Bezug auf die Bargeldbezugspunkte bedeutet mathematische Optimierung: Aus den unendlichen Möglichkeiten, welche Bargeldautomaten

»Man hortet nicht nur Klopapier in der Krise, sondern auch Bargeld.«

Laura Brouer,  
Fraunhofer IIS

im Krisenfall funktionsfähig sein sollen, wählt der Algorithmus die bestmögliche Abdeckung. Den Akteuren steht dann ein Lageplan zur Verfügung, der Aufschluss darüber gibt, welche Automaten möglichst mit Bargeld beliefert und/oder mit Notstromaggregaten betrieben werden sollen.

### Zentrales Datenregister als Basis

Entscheidend ist eine umfassende und qualitativ hochwertige Datenbasis: »Um zu entscheiden, welche Geldautomaten relevant sind, muss erst mal bekannt sein, wo es welche Bezugspunkte gibt. Ein zentrales Verzeichnis existiert allerdings bislang nicht«, erklärt die Wissenschaftlerin. Deshalb haben die Forschenden auf die frei nutzbare Datenbank OpenStreetMap (OSM) zurückgegriffen. Dort werden Geodaten gesammelt und strukturiert. Einziger Nachteil: Die Qualität der Daten hängt davon ab, wie fleißig die Community die Informationen pflegt. Laura Brouer hofft jedoch darauf, in absehbarer Zeit verlässlichere Daten nutzen zu können: Derzeit arbeitet die Deutsche Bundesbank an einem zentralen Bestandsregister. ■

Gefährdetes Grün:  
Der Klimawandel lässt  
geeignete Kaffeeanbau-  
gebiete drastisch schrumpfen.



# Eine Tasse Hoffnung

Der Klimawandel macht vielen Pflanzen zu schaffen, allen voran dem sensiblen Kaffeestrauch. Mithilfe einer neuen Technologie fahnden Forschende nach resilienten Varianten.

Von Yvonne Weiß

**E**r ist der erklärte Liebling, ob in Deutschland, Europa oder weltweit: Beinahe vier Tassen Kaffee pro Kopf und Tag tranken etwa die Deutschen 2022, das entspricht 167 Litern pro Person und Jahr. Weltweit liegt der jährliche Kaffeekonsum bei durchschnittlich 42,6 Litern pro Kopf, Tendenz steigend. Und doch ist die Zukunft des Kaffees ungewiss.

Ursache ist der Klimawandel. Die weltweit steigenden Temperaturen führen dazu, dass die Anzahl geeigneter Kaffeeanbaugelände global drastisch abnimmt. Bis 2050 etwa werden vermutlich mehr als 50 Prozent der optimalen Nutzflächen verschwinden – und das bereits bei einer Erderwärmung von »nur« zwei Grad, ergab eine Studie des multidisziplinären Wissenschaftsmagazins PLOS ONE. Im Vergleich zu anderen Nutzpflanzen reagiert die empfindliche Kaffeepflanze auf die global zu erwartenden Temperaturerhöhungen besonders stark – allen voran die beliebte Arabica-Sorte.

Eine Idee, dem Kaffee die Zukunft zu sichern, hat Joelle Claußen, Gruppenleiterin am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. Ihr Gedanke: Phänotypisierung könnte helfen, die Pflanze besser zu verstehen – und somit langfristig ihr Überleben zu sichern. Dieser noch recht junge Zweig der Pflanzenforschung versucht über neue Beobachtungsmöglichkeiten herauszufinden, wie eine bestimmte Pflanze auf Umwelteinflüsse, aber auch auf Kultivierung reagiert. »Wie verhält sie sich bei extremer Hitze? Verändern sich Blattgröße und Wurzelstruktur? Wie entwickeln sich die Knollen? Diese Fragen möchten wir beantworten«, erklärt Claußen.

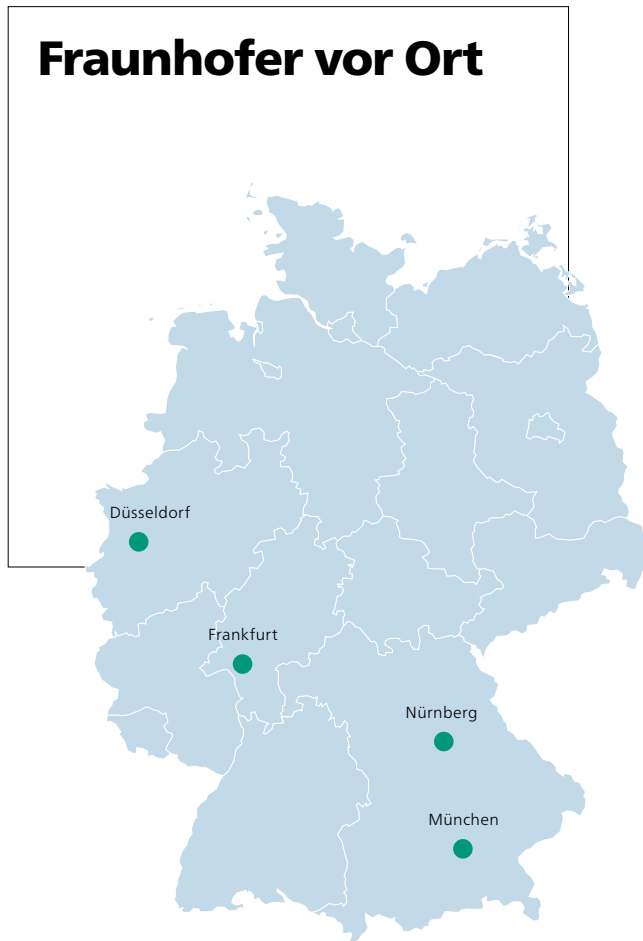
Das Besondere: Claußen und ihr Team erweitern herkömmliche Methoden am Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT: »Wir entwickeln und nutzen Röntgentechnologie zur Phänotypisierung. So können wir in die Pflanze hineinschauen – und Teile sichtbar machen, die rein optisch nicht zugänglich sind. Das liefert uns wichtige Informationen, zum Beispiel über ihre Wurzelarchitektur und Knollenanordnung.«

**Bei anderen Nutzpflanzen kommt die Technologie bereits zum Einsatz:** In einer Klimakammer setzen Forschende am Fraunhofer EZRT etwa unterschiedliche Kartoffelsorten besonders großer Hitze aus. In der vollständig kontrollierten Umgebung lassen sich Luftfeuchtigkeit, Temperatur, CO<sub>2</sub>-Gehalt sowie Licht exakt regulieren – und spezielle Klimazonen damit optimal nachbilden. Eine Reihe von Röntgenaufnahmen ergibt anschließend ein dreidimensionales Abbild der Pflanze, das detaillierte Informationen über die Hitzetoleranz der jeweiligen Sorte liefert.

Laut der Wissenschaftlerin könnte Phänotypisierung auch den Fortbestand der Kaffeepflanze in einem veränderten Klima sichern. Zwar werden am Markt aktuell hauptsächlich Arabica-Pflanzen gehandelt, weltweit existieren allerdings etwa 124 Kaffeearten – von denen einige deutlich besser mit neuen Umwelteinflüssen zurechtkommen. Mittels Röntgentechnologie lassen sich diese womöglich rechtzeitig identifizieren. Claußen: »Ich denke, das Wichtigste ist, dass wir offen für neue Sorten sind.« Der Kaffee, unser aller Lieblingsgetränk, schmeckt dann in Zukunft vielleicht ein bisschen anders – aber es gibt ihn zumindest noch. ■



## Fraunhofer vor Ort



- 🌐 **München**  
**5.–8. September 2023**  
**IAA Mobility (Summit)**  
 Internationaler Treffpunkt für die Mobilität der Zukunft
- 🌐 **Nürnberg**  
**10.–12. Oktober 2023**  
**it-sa**  
 Fachmesse und Kongress für Informationssicherheit
- 🌐 **Frankfurt a. M.**  
**7.–10. November 2023**  
**Formnext**  
 Internationale Fachmesse für additive Fertigungstechnologien
- 🌐 **Düsseldorf**  
**13.–16. November 2023**  
**MEDICA**  
 Internationale Leitmesse für Medizintechnik
- 🌐 **Düsseldorf**  
**13.–16. November 2023**  
**Compamed**  
 Internationale Leitmesse für die medizintechnische Zulieferbranche

## Fraunhofer-Magazin

Das Magazin für Menschen, die Zukunft gestalten

Wollen Sie das Fraunhofer-Magazin sofort bei Erscheinen in Ihrem Briefkasten – kostenlos? Bestellen Sie direkt online unter <http://s.fhg.de/bestellen>



Mehr Recycling durch sortenreinen Kunststoff:  
»Die Herausforderung ist, diese Technologie  
so zu skalieren, dass sie auch im Großmaßstab robust,  
schnell und günstig eingesetzt werden kann.«

Friedrike Münch (u.), Fraunhofer IPM

