

Perspektive **H₂**

So bleiben
wir mobil:
Wasserstoff –
Energie- und
Hoffnungsträger
für die Zukunft

Sebastian
Porstmann,
Fraunhofer
IWU



Hildegard Müller: »Individuelle
Mobilität muss bezahlbar bleiben!«



Prof. Reimund Neugebauer: »Der Wandel
ist nicht mehr Vision. Er ist Realität.«

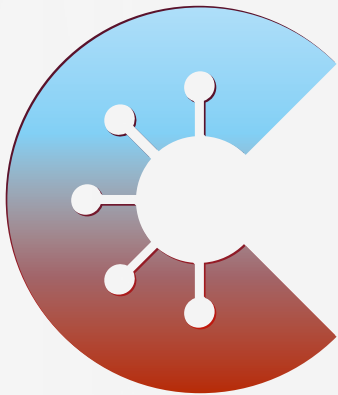


Robert Habeck: »Wir wachsen als
Gesellschaft über das Auto hinaus.«

Forschungspreise
»die Preisträger
»die Projekte

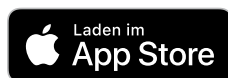
2020

#WeKnowHow
FRAUNHOFER VS. CORONA



DIE CORONA-WARN-APP:
**WIRD MIT
JEDEM NUTZER
NÜTZLICHER.**

Jetzt die Corona-Warn-App herunterladen
und Corona gemeinsam bekämpfen.



Der Spirit von Fraunhofer als Innovationstreiber im Wandel



Prof. Reimund Neugebauer
© Fraunhofer/Bernhard Huber

Gerade hat die EU-Kommission ihren Klimaplan vorgestellt. Auf 23 Seiten legt er dar, dass und wie die CO₂-Emission in Europa bis 2030 gegenüber dem Jahr 1990 um 55 Prozent reduziert werden soll.

Die deutsche Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen will, Stichwort Green Deal, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent machen. Der britische Mineralölkonzern BP senkt bereits die Öl- und Gasproduktion um 40 Prozent.

»Wir werden in weniger als 30 Jahren nicht mehr mit Flugzeugen fliegen, die etwas weniger Kerosin verbrauchen, sondern mit solchen, die komplett auf fossilen Treibstoff verzichten«, hat es gerade Peter Altmaier auf den Punkt gebracht. Und wie glaubt der Bundeswirtschaftsminister die immer ehrgeizigeren Ziele erreichen zu können? »Ich setze«, gibt er zur Antwort, »auf die Genialität unserer Ingenieure.«

Der Wandel ist nicht mehr Vision. Er ist Realität.

Wenn wir morgen räumlich mobil bleiben wollen, müssen wir heute geistige Mobilität beweisen.

Tatsächlich ist die deutsche Wirtschaft im dritten Quartal bereits wieder gewachsen. Die deutschen Autohersteller verdoppeln ihr Angebot an E-Autos. Als »Stimme aus der Wirtschaft« in diesem Fraunhofer-Magazin fordert die Präsidentin des Verbandes der Automobilindustrie (VDA), Hildegard Müller, »klimaschonende Technologien zum europäischen Exporterfolg zu machen«. Nehmen wir die Herausforderungen an.

Einer der Energie- und Hoffnungsträger für die Zukunft heißt Wasserstoff. Fraunhofer-Expertinnen und -Experten aus den verschiedensten Instituten haben den Weg zu einer funktionalen Wasserstoffwirtschaft entworfen. Die Bundesregierung hat die Nationale Wasserstoffstrategie verabschiedet und den Nationalen Wasserstoffrat einberufen, dem mit Karsten Pinkwart und Sylvia Schattauer auch zwei ausgewiesene Fraunhofer-Fachleute angehören. Als die universelle Organisation für angewandte Forschung in Deutschland und Europa hat die Fraunhofer-Gesellschaft die allerbesten Qualifikationen, um Wirtschaft und Politik in Deutschland und Europa mit umfassendem Systemwissen strategisch zu beraten.

Lassen Sie uns den Spirit der Fraunhofer-Mitarbeitenden mit der Dynamik des Wandels zu neuem Innovationspush verbinden. Einer sicheren und effizienten, einer umweltfreundlichen und allgemein akzeptierten Energieversorgung kommt in einer technikorientierten Gesellschaft eine entscheidende, vielleicht die entscheidende Rolle zu.

Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Inhalt

10 **Wie Wasserstoff die Welt in Bewegung halten kann**

Es sieht nach Geschichte aus, ist aber Zukunft: Sören Scheffler, Projektleiter am Fraunhofer IWU in Chemnitz, sitzt in seiner Silberhummel. Das Fahrzeug basiert auf Zeichnungen zu einem nie realisierten Rennwagen, den Auto Union in den 1940er-Jahren konzipiert hatte – und ist mit Brennstoffzellen-Antrieb ausgerüstet. Wie die Zukunftstechnik H₂ Mobilität schafft: Die Titelgeschichte gibt den Überblick.



42 **Homeoffice: Deutschland überrascht sich selbst**

Corona hat die Arbeit zu Hause erzwungen. Aktuelle Untersuchungen geben den Unternehmen Sicherheit, damit die Improvisation auf Dauer funktioniert.

03 **Editorial**

06 **Kurz gemeldet, Impressum**

10 **Titel: Perspektive H₂ – So bleiben wir mobil**
Corona hat gezeigt, wie schnell sich Verkehrsgewohnheiten ändern. Beginnt jetzt das Zeitalter des Wasserstoffs?

28 **»Städte müssen mutiger für Veränderungen werden«**
Ein Blick in die Zukunft mit dem Fraunhofer IAO

30 **Stimme aus der Wirtschaft**
Hildegard Müller, Präsidentin des Verbandes der Automobilindustrie (VDA): »Individuelle Mobilität muss bezahlbar bleiben!«

32 **»Steuern sollen das Verhalten steuern«**
Interview mit Grünen-Chef Robert Habeck über Mobilität als Gestaltungsaufgabe der Politik

36 **Burger mit gutem Gewissen**
Fleischgenuss ganz ohne Schlachten?
Fraunhofer IVV zeigt, wie es geht – und schmeckt

39 **Neues Kleid aus alter Jeans**
Dem Fraunhofer IAP ist es erstmals gelungen, Baumwolle zu recyceln. Jetzt kommt die Mode in den Handel

40 **My Smart Home is my Castle**
Immer mehr Technik schafft immer mehr Komfort zu Hause – und immer mehr Risiken

42 **Homeoffice: Es gibt kein Zurück**
Deutschland kann die Arbeit zu Hause. Für den Weg in eine solide Zukunft braucht es professionelle Unterstützung – neue Zahlen, neue Untersuchungen, neue Ansätze

50 **Energie in Eis**
Fast ein Fünftel der Energie verbrauchen wir für Kälteerzeugung. Das geht auch intelligenter

56 Schneller, präziser, kostengünstiger
Das kognitive Internet erreicht die Praxis – drei Lösungen für die Fabrik der Zukunft.



32 »Steuern sollen Verhalten steuern«
Die Zukunft der Mobilität ist für Grünen-Chef Robert Habeck eine Gestaltungsaufgabe der Politik. Das Interview



80 Findet Nemo? Findet den Müll!
90 Prozent der Plastikabfälle versinken auf dem Meeresboden. Die europäische Initiative SeaClear hilft beim Aufräumen.

40 My Smart Home is my Castle
Risiko Router: Jeder Vierte war schon Opfer von Cyber-Kriminellen – der Weg zu mehr Sicherheit.



- 52 Nachhaltige Akustik? Klingt gut.**
Pilze sind gesund, schmecken – und eignen sich für viel mehr als nur den Verzehr
- 54 Tierversuche – So lassen sie sich vermeiden**
Neue Wege: Das EU-ToxRisk-Projekt untersucht die Kaskade, die Wirkstoffe im Körper auslösen
- 56 Die Fabrik der Zukunft**
Das kognitive Internet erreicht die Industrie: Drei Lösungen, die helfen, Produktionen zu optimieren
- 58 Fraunhofer weltweit**
- 60 Porträt: Forschung extrem**
EUV-Lithographie als Meilenstein zu leistungsfähigeren Mikrochips – das Lebenswerk von Dr. Sergiy Yulin
- 62 Wenn Autos zum Röntgen müssen**
Vor 125 Jahren entdeckte Röntgen die Strahlen. Heute hilft die Technik auch der Autoindustrie

- 64 125 Jahre Röntgenstrahlung**
Die Meilensteine einer bahnbrechenden Entdeckung im Überblick
- 66 Campus smart gedacht**
So wird in Heilbronn an der Universität der Zukunft geforscht
- 68 Forschungspreise 2020**
Die Preisträger, die Projekte: Fünf wegweisende Entwicklungen, die des Joseph-von-Fraunhofer-Preises und des Wissenschaftspreis des Stifterverbandes würdig sind
- 78 Tödliche Splitter**
Eine neue Analysesoftware unterstützt die Polizei – und hilft, Bombenleger zu verurteilen
- 80 Klar Schiff am Meeresgrund**
90 Prozent des Plastikmülls liegen am Boden der Meere. Eine Initiative hilft beim Aufräumen

Hunderte Kilometer reisen für ein einstündiges Meeting – das war vor der Corona-Krise für viele Berufstätige Alltag. Die Pandemie zwang dazu, auf digitale Treffen umzusteigen. Die Erfahrung zeigt: Es geht! Und klimafreundlicher ist es obendrein. **90 Prozent der Unternehmen** wollen in Zukunft Dienstreisen reduzieren und stattdessen vermehrt auf Telefon- oder Videokonferenzen setzen, ermittelte eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.

90%

Kaffeesatz: Zum Wegschmeißen zu schade

Kaffeesatz landet meist im Müll. Dabei stecken in dem vermeintlichen Abfall wertvolle Inhaltsstoffe.

Kaffeesatz zu hochwertigen Zwischenprodukten zu verarbeiten, das ist das Ziel des Forschungsprojektes InKa. Die Forschenden am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT wollen aus dem braunen Pulver unter anderem Biokunststoffe und Zusätze für unterschiedliche Papiersorten machen.

Die geplanten Arbeitsschritte umfassen die Auftrennung des Kaffeesatzes in sinnvoll zusammengefasste Komponentengruppen, deren Aufreinigung und insbesondere die hochwertige Nutzung der erzeugten Intermediate.

Das Kaffeeöl ist nicht für den Verzehr geeignet, es kann jedoch in ein wertvolles chemisches Zwischenprodukt umgewandelt werden. Anschließend wird der Einsatz dieser biobasierten Bausteine in Synthesen zur Herstellung von Additiven für Kunststoffe wie Weichmacher geprüft.

Der entölte Kaffeesatz wird gleichzeitig als alternativer Rohstoff für die Papier- und Kartonindustrie untersucht. Nach der Zerkleinerung wird dieser in Faserstoffe eingebracht und die weitere Verarbeitung zusammen mit einem Partner aus der Papierindustrie getestet. Darüber hinaus können in dem Verwertungsprozess Glycerin, Fettsäuren, Polysaccharide oder Aromastoffe gewonnen und genutzt werden. Abschließend wird mittels einer Stoffstromanalyse der mögliche Einfluss auf die Rohstoffversorgung im Markt transparent gemacht.



Kaffee ist weltweit beliebt, entsprechend viel wird verbraucht – allein in Deutschland sind es rund 400 000 Tonnen gerösteter Kaffee pro Jahr. © istockphoto

Mobile Putzroboter für die Industrie

Hygiene ist in Produktionsanlagen und Arbeitsräumen der Lebensmittel-, Pharma- oder Kosmetikindustrie essentiell. Geputzt wird bisher größtenteils von Hand. Das ist zeitintensiv und fehleranfällig. Ein autonom fahrender Reinigungsroboter mit einem selbstlernenden System schafft Abhilfe.



Mit seinem ausfahrbaren Arm erreicht der Roboter auch höher gelegene Bereiche problemlos.
© Fraunhofer IVV

Mobile Cleaning Device 4.0 (MCD) heißt der Roboter, den Forschende des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Dresden entwickelt haben. Es gibt ihn bisher in zwei Varianten: Ein Modell fährt auf einem Förderband durch die Produktionsanlage und reinigt diese von innen, das zweite reinigt Boden, Decken und Wände der Räume sowie die Außenseiten der Produktionsmaschinen. Dabei kann sich der Roboter autonom bewegen, hat einen ausfahrbaren Arm mit Zielstrahlreiniger und ist lediglich für die Reinigungsmittelzufuhr über einen Schlauch mit einer Docking Station verbunden. Gesteuert wird er per WLAN.

Ausgestattet mit verschiedenen Sensoren, ermittelt das MCD seine Position im Raum sowie Grad und Art der Verschmutzung. Max Hesse, Teamleiter »Hygienegerechte Produktion, Systementwicklung und Simulation«, erklärt:

»Ein Detektor erkennt die fluoreszierenden Schmutzpartikel wie Fette, Öle und Proteine mithilfe von UV-Licht und dosiert den Schaum und das Wasser entsprechend der ermittelten Parameter wie Schichtdicke und Anrocknungsgrad. Möglich werden soll dies durch ein selbstlernendes KI-System, das die geeigneten Reinigungsparameter auswählt und die Prozessschritte vorgibt.«

Schon während des Reinigungsvorgangs überprüft das Gerät seinen Erfolg und leitet das Testergebnis an einen digitalen Zwilling weiter. Durch das selbstlernende KI-System optimiert sich der Prozess laufend selbst. So wird auch nur die Menge an Reinigungsmitteln verwendet, die tatsächlich benötigt wird. »Unsere Tests haben gezeigt, dass man auf diesem Weg bis zu 50 Prozent davon einsparen kann«, sagt Hesse.

Augen auf!

Rechtzeitig auf Schädlinge reagieren

Extreme Wetterlagen, mehr und bislang unbekannte Schädlinge – der Klimawandel stellt Winzer vor neue Herausforderungen. Mit EyesOnTraps ermöglicht das portugiesische Fraunhofer Center for Assistive Information and Communication AICOS nun eine mobile Insektenerkennung mithilfe künstlicher Intelligenz und Crowd Sensing.

Im ältesten Weinbaugebiet der Welt, dem portugiesischen Alto Douro, sind Insektenplagen bereits zu einer ernsthaften Bedrohung für die Qualität der Trauben und den Ertrag geworden. Die steigenden Temperaturen führen dazu, dass sich wärmeliebende Schädlinge zunehmend auch in deutschen Weinbaugebieten verbreiten.

Wovon genau und wie stark Weinstöcke befallen sind, lässt sich oftmals schwer einschätzen. Die Überwachung der Areale erfolgt durch den Einsatz von Insektenfallen. Um darin Schädlinge zu identifizieren, muss das menschliche Auge entsprechend geschult sein. Sogenannte Taxonomie-Experten helfen, die Funde wissenschaftlich einzuordnen. Diese Art der Risikoüberwachung ist nicht nur zeit-, sondern auch kostenintensiv. Geografische Daten über die Größe der Ausbreitung fehlen ganz.

Die automatische Identifizierung der Schädlinge

unterstützen die Fraunhofer-Forschenden mit EyesOnTraps. Das System gibt konkrete Behandlungsempfehlungen für erkannte Krankheiten und zeichnet lokale Temperaturdaten auf. Hierdurch verringert es die menschliche Fehlerquote und verbessert die Analyse.

EyesOnTraps gliedert sich in drei Module: Die mobile Anwendung (1) ermöglicht es dem Winzer, mit seinem Smartphone den Inhalt der Fallen aufzunehmen und die Insekten darin zu identifizieren, die lokale Temperaturhistorie zu erfassen und den phänologischen Status aufzuzeichnen. Ein zentrales Web-Modul (2) speichert die gemeldeten Informationen und liefert Empfehlungen. Ein Web-Portal (3) kann von externen Taxonomie-Spezialisten genutzt werden und die automatische Überwachung verschiedener Parzellen und Regionen ermöglichen. EyesOnTraps soll in Zukunft kontinuierlich erweitert werden, damit das System auch neue Insektenarten erkennen kann.



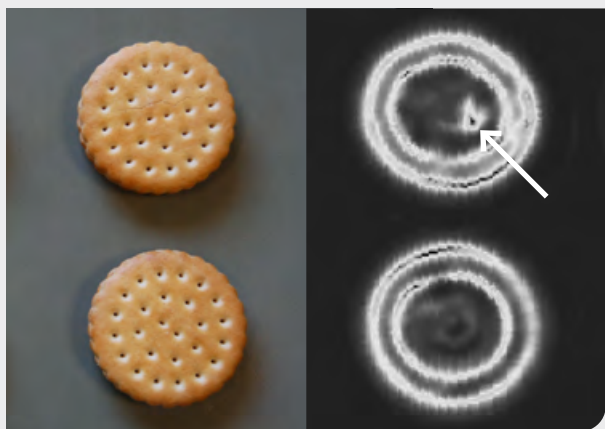
Reblaus, Traubenwickler und Co. breiten sich zunehmend aus und bedrohen den Weinbau.
© Stocksy/F1online



Glassplitter in Lebensmitteln aufspüren

Geraten Fremdkörper in Lebensmittel, ist das gefährlich. Besonders nichtmetallische Verunreinigungen sind oft schwer aufzuspüren. Mit dem Prototyp SAMMI® gelingt es nun.

Immer wieder müssen Lebensmittel zurückgerufen werden, weil bei der Produktion versehentlich Kunststoffteile, Glas-, Metall- oder Holzsplitter hineingeraten sind. Zwar untersuchen Hersteller ihre Produkte bereits mit Röntgengeräten auf solche Fremdkörper. Doch hat es dieses Verfahren besonders bei Kunststoffen, Holz und Glas oft schwer.



Im Radarbild lassen sich zum Beispiel Glassplitter in der Schokocreme von Doppelkeksen problemlos erkennen. © Fraunhofer FHR

Millimeterwellen können das etablierte Röntgenverfahren optimal ergänzen. Mit elektromagnetischen Wellen bei 90 GHz arbeitet ein Prototyp namens SAMMI®, den ein Forscherteam am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR entwickelt hat. Glassplitter, die zuvor in der Schokomasse eines Doppelkeks platziert wurden, konnten damit zuverlässig erkannt werden.

Die Anwendung ist leicht: Einfach das Lebensmittel auf ein Band legen, automatisch durch das Gerät befördern lassen, fertig. Im Inneren des Geräts strahlt eine Sendeantenne oberhalb des Bandes Millimeterwellen aus, die das Lebensmittel durchdringen und von der Empfangsantenne aufgefangen werden. Da Glassplitter das Signal auf eine andere Weise beeinflussen wie etwa die Schokocreme, lassen sie sich gut aufspüren. Der Prototyp ist mit 40 x 40 x 30 Zentimeter recht kompakt, dennoch kann er bis zu 30 x 30 x 5 Zentimeter große Lebensmittel untersuchen. Es sind jedoch auch größere Geräte denkbar, wenn es die Anwendungen erfordern.

Fitness-Tracking per Pflaster

Mithilfe eines kleinen Pflasters lässt sich in Zukunft das Herz-Kreislauf-System beim Sport in Echtzeit überwachen.

Schweiß reguliert nicht nur die Körpertemperatur, sondern enthält auch wichtige biochemische Informationen zur Fitness von Sportlerinnen und Sportlern. Forschende am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM haben zusammen mit internationalen Partnern ein flexibles Sensorsystem als Pflaster entwickelt, das diese Informationen in Echtzeit auslesen, analysieren und auf digitalen Endgeräten abbilden kann.

In dem kleinen Gesundheitsmonitor XPatch sind Antennen und integrierte Schaltkreise für die drahtlose Funk-Kommunikation mit einem Bluetooth-fähigen Endgerät, eine flexible Mikrobatterie zur autarken Energieversorgung, die Analogelektronik, der Sensorchip und das Powermanagement untergebracht. Die Mikroelektronik-Expertinnen und -Experten am Fraunhofer IZM entwickelten eine ausgefeilte Aufbau- und Integrationstechnologie, um dünne



Ist die Trainingseinheit effektiv? Aufschluss gibt das neue elektronische Pflaster XPatch. © Fraunhofer IZM/Stocksy/F1online

Biosensoren und Elektronikkomponenten als flexible Pflaster zu realisieren und eine praktische Anwendung beim Sport zu ermöglichen. Das Gesamtsystem inklusive aller eingebauten Komponenten und Funktionalitäten soll am Ende deutlich dünner als ein Millimeter sein. Die bereits voll funktionsfähigen Prototypen werden im direkten Einsatz noch dieses Jahr getestet.

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: Janis Eitner (V.i.S.d.P.),
Josef Oskar Seitz (Chefredaktion),
Dr. Sonja Endres, Roman Möhlmann

Redaktionelle Mitarbeit: Dr. Janine van Ackeren, Marina Babl, Mandy Bartel, Christine Broll, Bianca Busch, Meike Grewe, Sirka Henning, Daniela Leitner, Jacob Schmette, Eric Schütz (Zissue), Sabine Spinnarke, Tobias Steinhäuser, Beate Strobel, Britta Widmann

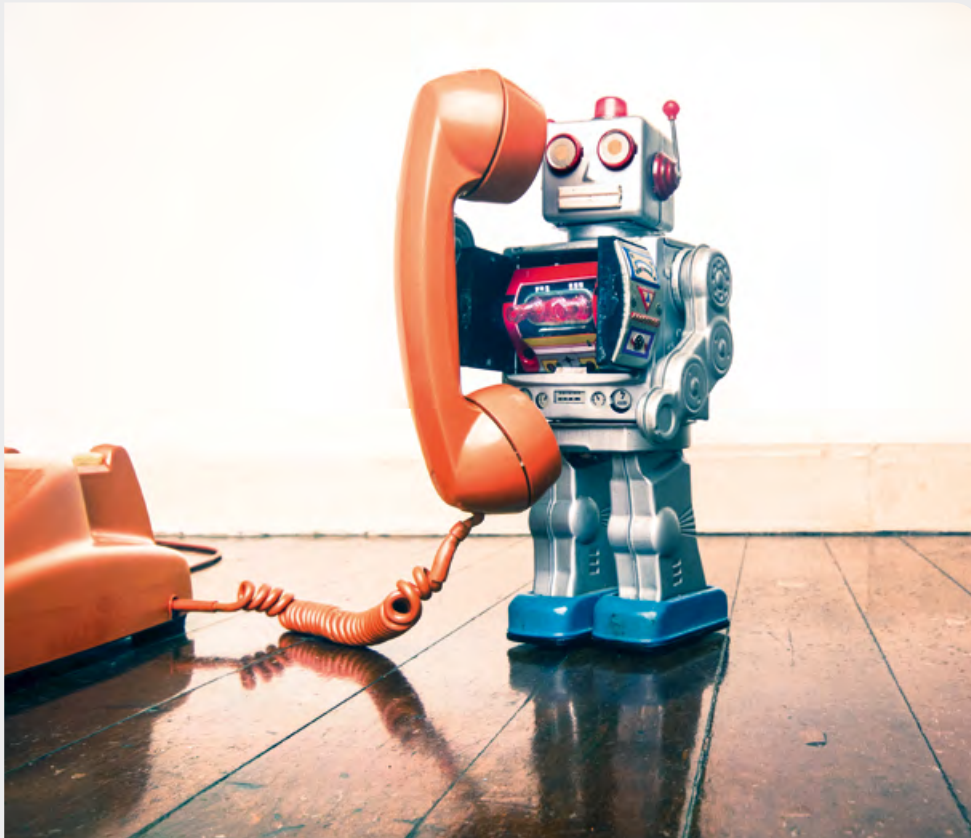
Layout + Litho: Vierthaler & Braun
Titelbild: Roger Hagmann f. Fraunhofer
Druck: H. HEENEMANN GmbH, Berlin

© Fraunhofer-Gesellschaft e.V.
München 2020



KI am Apparat

Self Service wird beim Online-Shopping oder -Banking gerne und oft genutzt. Bei der Online-Beratung sieht das bisher anders aus.



Ein Mensch ist bei einfachen Standardanfragen nur noch selten am anderen Ende der Leitung. Stattdessen übernehmen Chatbots.
© AdobeStock

Self Service

Ob der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) im Self Service eine Chance oder ein Risiko für Unternehmen darstellt, hat das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in einer Umfrage untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass fast alle (94,1 Prozent) Befragten regelmäßig Self Services beim Online-Wareneinkauf nutzen. Auch beim Online-Ticketkauf (93,3 Prozent) oder beim Online-Banking (91,9 Prozent) stehen Self Services hoch im Kurs. Die Online-Beratung durch einen Chatbot nahmen hingegen nur 23,7 Prozent der befragten Kunden in Anspruch.

Mensch-Technik-Interaktionen müssen reibungslos funktionieren, damit sie akzeptiert werden und wiederholt auf sie zurückgegriffen wird. Dies ist vor allem im Self Service entscheidend, wenn Kunden ohne menschliche Hilfe mit der Technik zurechtkommen müssen. Wenn Alexa oder Siri Verständnisschwierigkeiten haben oder sich Kunden durch zig verschiedene Sprachmenüs kämpfen müssen, hat der Self Service sein Ziel

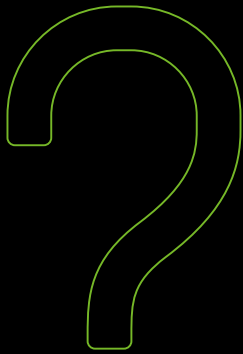
verfehlt und vergrault im schlimmsten Fall die Kundschaft.

Die Flexibilität und Zeitersparnis schätzen die Befragten an den Self-Service-Angeboten besonders. Sie versprechen sich durch den Einsatz von KI eine deutliche Verbesserung der Kommunikation zwischen Unternehmen und Kunden. Vor allem wenn die Leistungen von zu Hause aus oder mobil über das Smartphone in Anspruch genommen werden können, ist die Akzeptanz bei den Umfrageteilnehmern hoch. Für aufwendige Anliegen und Dienstleistungen in Hotels oder Geschäften bevorzugen die Befragten jedoch weiterhin den persönlichen Kontakt.

»Der Trend geht zu einer Mischung aus dem Besten aus beiden Welten«, erklärt Elisabeth Bülesfeld, die die Studie am Fraunhofer IAO durchgeführt hat. »Nun kommt es darauf an, künftige KI-gestützte Self Services entsprechend den Wünschen und Vorstellungen der Nutzer zu gestalten.«

Von einem Chatbot beraten ließen sich nur
23,7%
der befragten Kunden

Perspektive H_2



2050 werden wir 3000 Mal so viel Wasserstoff brauchen wie 2015. Wie wird er **produziert**?

Werden **Schiffe** mit Wasserstoff angetrieben?

Wie viele Wasserstoff-**Tankstellen** wird Deutschland in drei Jahren haben?

Werden **Autorenne** mit Wasserstoff bestritten?





Wie werde ich
künftig mein **Mofa**
betanken können?

Werden wir
mit Wasserstoff
fliegen?

Gibt es silberne
Hummeln, die
fahren können?

Kann Wasserstoff
die **Zukunfts-**
fähigkeit des
Industrie-
standorts
Deutschland
sichern?

© Daniela Leitner

zurück zu Seite 1



So

Sören Scheffler vom Fraunhofer IWU in seiner Silberhummel: Das Auto basiert auf Konzeptzeichnungen zu einem nie realisierten Rennauto. Es ist mit Brennstoffzellentechnik ausgerüstet.
© Roger Hagmann

bleiben wir mobil

Otto- und Dieselmotoren, die mit fossilen Kraftstoffen betrieben werden, gelten als Auslaufmodelle. Neue Antriebsmöglichkeiten für Auto, Bahn, Schiff und Flugzeug sind dringend gesucht. Beginnt jetzt das Zeitalter des Wasserstoffs?

Text: Dr. Janine van Ackeren



» Deutschland hat bereits heute eines der besten H₂-Tankstellennetze.

Prof. Christopher Hebling, Bereichsleiter Wasserstofftechnologien am Fraunhofer ISE und Sprecher des Fraunhofer-Netzwerks Wasserstoff

Die Zukunft der Mobilität geht auch sportlich. Das zeigt die HYRAZE League: Unter diesem Namen soll vom Jahr 2023 an ein gänzlich neuer Motorsport-Wettbewerb starten. Die Rennen werden mit 800 PS starken Wasserstoff-Rennfahrzeugen ausgetragen. Diese haben nahezu keine Emissionen, beschleunigen aber in weniger als drei Sekunden von null auf hundert Stundenkilometer.

Fraunhofer arbeitet daran, Historisches in die Zukunft zu tragen. Beim Projekt Silberhummel geht es dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU vor allem darum, zwei Technologiezweige zusammenzubringen: die Technologie, Autos mit der Stückzahl eins – sprich Prototypen – kostengünstig zu entwickeln, zum anderen die Brennstoffzellentechnologie. Silberhummel basiert auf Konzeptzeichnungen eines nie gefertigten Rennwagens des Automobilherstellers Auto Union AG aus dem Jahr 1940. Das Fraunhofer IWU rekonstruierte das Fahrzeug, fertigte die Außenteile des Modells und versah das Auto in einem weiteren Schritt mit einem Brennstoffzellen-Antrieb. »Unsere Silberhummel soll stets auf dem neusten Stand der Brennstoffzellentechnik gehalten werden«, sagt Sören Scheffler vom Fraunhofer IWU. »Daher werden wir die Komponenten sukzessive austauschen und durch optimierte Varianten ersetzen.«

Doch Wasserstoff kann mehr. Wasserstoff muss mehr können. Wasserstoff ist eine Schicksalsfrage zur Erreichung der Klimaziele. Dies zeigt die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung: ein Aktionsplan mit 38 Maßnahmen, der die Erzeugung, den Transport, die Nutzung und Weiterverwendung von Wasserstoff voranbringen soll – und somit notwendige Schritte zur Erreichung der Klimaziele festlegt. So sollen bis 2023 unter anderem 1,5 bis 2 Gigawatt Elektrolyse-

leistung beim grünen Wasserstoff realisiert werden, der Anteil der erneuerbaren Energien im Verkehr bereits 2030 bei 20 Prozent liegen. Kurzum: Technologien rund um den grünen Wasserstoff sind von höchster Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit des Industriestandortes Deutschland. Unterstützt wird die Bundesregierung dabei vom nationalen Wasserstoffrat, dem auch Dr. Karsten Pinkwart vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT und Dr. Sylvia Schattauer vom Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS angehören.

Was kann Wasserstoff für die Mobilität der Zukunft leisten?

Bislang spielt Wasserstoff in der Mobilität noch eine untergeordnete Rolle. Nur wenige hundert H₂-Pkw sind es, die aktuell über Deutschlands Straßen rollen. Das muss sich allerdings schnell ändern, wenn die Bundesregierung ihre Klimaziele erreichen will. Deutschland steht hinsichtlich des Wasserstoffs nicht so schlecht da, wie es die momentan noch geringen Zahlen an Wasserstoff-Autos vermuten lassen: »Wir haben bereits heute eines der besten H₂-Tankstellennetze«, weiß Prof. Christopher Hebling, Bereichsleiter Wasserstofftechnologien am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und Sprecher des Fraunhofer-Netzwerks Wasserstoff. »In den nächsten drei Jahren soll dieses von den bestehenden 100 Tankstellen auf 400 Tankstellen erweitert werden.« Sinn macht Wasserstoff vor allem da, wo größere Reichweiten gefragt sind – unter anderem beim Schwerlasttransport, bei Binnenschiffen sowie bei Zügen auf Nebenstrecken, die bislang noch nicht elektrifiziert wurden. Denn ebenso wie bei Elektrofahrzeugen kann Wasserstoff Fahrzeuge auf Basis von grünem Strom – also Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Wind und Sonne – lokal CO₂-frei antreiben. ▶

Nur wenige hundert H₂-Pkw sind es, die aktuell über Deutschlands Straßen rollen. Das muss sich allerdings schnell ändern, wenn die Bundesregierung ihre Klimaziele erreichen will.

Elementar ist die Herstellung von grünem Wasserstoff: Dieser widmet sich Dr. Sylvia Schattauer im Labor des Fraunhofer IMWS am Mini-Elektrolyseur.
© Roger Hagmann

H₂

► Soll die Mobilität der Zukunft zum großen Teil auf Wasserstoff fußen, gilt es zunächst einmal an den Grundlagen zu feilen. Sprich: Technologien wie die Brennstoffzellen und die Elektrolyseure müssen optimiert, Standards gesetzt und Infrastrukturen wie Verteilnetz und Tankstellen ausgebaut werden. Die Fraunhofer-Forscherinnen und -Forscher arbeiten in einer Vielzahl von Projekten daran, die Wasserstoff-Technologien voranzutreiben und die Industrie zu unterstützen, darüber hinaus stehen sie der Politik als kompetente Partner zur Seite. So hat die Fraunhofer-Gesellschaft beispielsweise mit der Wasserstoff-Roadmap ihre eigenen wissenschaftlichen Positionen zur Wasserelektrolyse und Wasserstoffnutzung entwickelt und diese dem Kanzleramt sowie den Ministerien, die an der Entwicklung der Wasserstoffstrategie beteiligt waren, zur Verfügung gestellt.

Mit der Initiative H₂D bündelt Fraunhofer die einzelnen Projekte, Kompetenzen und Institute in einer Gesamtstrategie. H₂D soll zudem als Impulsgeber für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft dienen. Um den Austausch der Fraunhofer-Institute in puncto Wasserstoff untereinander zu vereinfachen, wurde das Wasserstoff-Netzwerk gegründet: Über diese Plattform können 28 Institute Informationen austauschen und ihre Zusammenarbeit organisieren. Auch regional bilden sich verschiedene Wasserstoff-Allianzen: So etwa das H₂-Innovationslabor Heilbronn-Franken, mit dem eine Pilotregion zur Entwicklung von Wasserstoffkonzepten aufgebaut werden soll und an dem sich neben verschiedenen Wissenschaftseinrichtungen auch das Forschungs- und Innovationszentrum Kognitive Dienstleistungssysteme KODIS des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO beteiligt. Oder das Kompetenzzentrum Sachsen, das an drei Standorten die sächsischen Forschungsstärken rund

um Brennstoffzellen, Hochtemperaturelektrolyse und andere Wasserstoff-Technologien ausbauen soll.

Wie lässt sich ausreichend (grüner) Wasserstoff herstellen?

Das Nadelöhr hinsichtlich der Wasserstoff-Mobilität liegt in der H₂-Herstellung, dieses gilt es deutlich zu weiten. »Hatten wir 2015 eine installierte Leistung von 21 Megawatt, so ist 2050 das 3000-Fache davon nötig – wenn auch nicht allein für die Mobilität. Bereits 2030 ist eine jährliche Zubaurate von ein bis fünf Gigawatt erforderlich«, sagt Prof. Ralf B. Wehrspohn, Fraunhofer-Vorstand für Technologiemarketing und Geschäftsmodelle. Bislang jedoch werden die Elektrolyseure, die mithilfe von Strom Wasserstoff erzeugen, weitestgehend manuell hergestellt. Für die künftig erforderlichen Stückzahlen und Leistungen gilt es, die Systemzuverlässigkeit zu erhöhen und entsprechende Produktionstechnologien zu entwickeln – also die Herstellung solcher Anlagen zu automatisieren, sie in den industriellen Maßstab zu überführen und die Herstellungskosten zu senken. Das Fraunhofer ISE beispielsweise setzt gleich an mehreren Punkten an, um die Kosten für die Elektrolyseure zu reduzieren: Die Forscherinnen und Forscher entwickeln neue Membranmaterialien, verlängern die Lebensdauer der Zellen durch eine Anti-Korrosions-Beschichtung und führen entsprechende Lebensdauertests durch. Die Kollegen des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS kombinieren die Hochtemperaturelektrolyse mit der Fischer-Tropsch-Synthese – ein großtechnisches Verfahren zur Kohleverflüssigung. Die Kombi-Pilot-Anlage soll an einem Kalkwerk der Johann Bergmann GmbH & Co. KG nun zunächst auf zehn Kilowatt hochskaliert werden und als Basis für ein weiteres Scale-up dienen. ►

» Hatten wir 2015 eine installierte Leistung von 21 Megawatt, so ist 2050 das 3000-Fache davon nötig – wenn auch nicht allein für die Mobilität.

H₂D

Forscherinnen und Forscher verschiedener Fraunhofer-Institute arbeiten daran, das Nadelöhr der Wasserstoff-Herstellung zu weiten.

Katharina Pautsch und Dr. Achim Schaadt vom Fraunhofer ISE konstruieren unter anderem sogenannte Miniplants für die Umwandlung erneuerbarer Energie in flüssige Kraftstoffe und Chemikalien wie Methanol oder Oxymethylenether.

► Elementar bei all den Entwicklungsaufgaben hin zu größeren Elektrolyseuren ist es, diese zu erproben – und zwar im industriellen Maßstab. Möglich ist dies in der Elektrolysetest- und Versuchsplattform ELP in Leuna, die das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS und das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP derzeit aufbauen. Anfang 2021 soll sie in Betrieb gehen. »ELP ist die erste Versuchsplattform, die Systemtests in dieser Größenordnung technologieoffen anbietet«, sagt Dr. Sylvia Schattauer, stellvertretende Leiterin des Fraunhofer IMWS. »Die Kapazität unserer vier Außenstellplätze liegt mit insgesamt sechs Megawatt Anschlussleistung deutlich über der Testkapazität der Herstellerfirmen.« Die Infrastruktur ist ebenfalls deutschlandweit bislang einmalig: Der erzeugte Wasserstoff – bei einer Anschlussleistung von sechs Megawatt können das durchaus ein paar Tonnen sein – wird in die 157 Kilometer umfassende H₂-Pipeline der Linde AG eingespeist. Auf diese Weise kann er nicht nur effizient erzeugt, sondern auch optimal transportiert und in den Chemieparks Mitteldeutschlands, H₂-Tankstellen sowie in weiteren Projekten genutzt werden. Mit der an die ELP angeschlossenen Skalierungsplattform Hy2Chem kann der im Großmaßstab erzeugte Wasserstoff zur nachhaltigen Herstellung von Grundchemikalien und Kraftstoffen genutzt werden.

Wenn es sich um »grünen« Wasserstoff handelt, die Elektrolyseure also aus regenerativen Energiequellen betrieben werden, macht die Wasserstoff-Mobilität ökologisch Sinn. Dies führt jedoch zu einer weiteren Herausforderung: Die Energie aus Wind und Sonne schwankt stark, die Elektrolyseure laufen also in unterschiedlichen Teillasten. Wie wirkt sich das auf die Elektrolyseure aus? Und wie wiederum lassen sich die Elektrolyseure nutzen, um die Windräder bei einem Überangebot an Strom nicht wie bisher abschalten zu müssen, sondern die überschüssige Energie in Form von Wasserstoff speichern zu können? Dies untersuchen Experten vom Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES in einem Testfeld: Geplant ist eine Zwei-Megawatt-Elektroly-

seureinheit, die bis zu einer Tonne Wasserstoff pro Tag erzeugt. Hier haben Industriekunden ab 2022 die Möglichkeit, ihre Elektrolyseure und das Gesamtsystem in verschiedenen Netzszenarien zu testen.

Einen ganz anderen Weg der grünen Wasserstoff-Produktion – unabhängig von Elektrolyseuren und ebenso unabhängig von Wind- und Photovoltaik-Anlagen – entwickelt das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF im Projekt HyPerFerMent gemeinsam mit Partnern. »Wir nutzen biologische Abfälle, um Wasserstoff zu produzieren, genauer gesagt Biogasanlagen«, berichtet Dr.-Ing. Torsten Birth, Gruppenleiter am Fraunhofer IFF. Das Prinzip: Mikroorganismen produzieren bei der Dunkelfermentation aus den Bio-Abfällen CO₂ und Wasserstoff. Diesen Wasserstoff trennen die Forscher ab. »Somit könnten die 9500 Biogasanlagen in Deutschland langfristig nicht nur zur Wasserstoffproduktion beitragen, sondern auch ihre Effizienz erhöhen und wirtschaftlicher betrieben werden als bisher«, sagt Birth. Derzeit untersuchen die Forscher das Verfahren im Labor- und Technikumsmaßstab, 2021 soll eine Pilotanlage direkt an eine Biogasanlage angeschlossen werden.

Ist die Brennstoffzelle als Autoantrieb ausgereift?

Spricht man von Wasserstoff-Antrieben, ist der bisher bekannteste die Brennstoffzelle. Schließlich basieren alle H₂-betriebenen Autos, die derzeit auf dem Markt sind, darauf: der Toyota Mirai und der Hyundai NEXO ebenso wie der Hyundai ix35 FCEV und der Mercedes-Benz GLC. Technologisch ist die Brennstoffzelle die Umkehrung der Elektrolyse: Der Wasserstoff reagiert mit Sauerstoff zu Wasser, dabei entsteht elektrischer Strom, der in einem Elektromotor umgesetzt wird. Ebenso wie die Elektrolyseure werden auch die Brennstoffzellen noch weitestgehend im Manufakturbetrieb hergestellt. Doch: Sollen Brennstoffzellen standardmäßig in Autos verbaut werden, ist eine kostengünstige Produktion nötig. ►



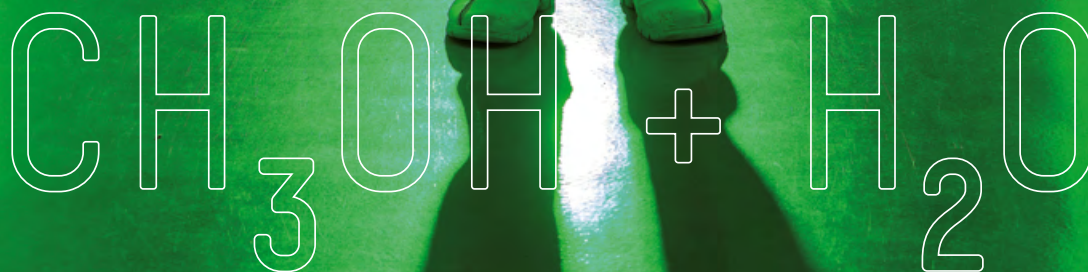
Wir nutzen biologische Abfälle, um Wasserstoff zu produzieren, genauer gesagt Biogasanlagen.

Dr.-Ing. Torsten Birth, Gruppenleiter am Fraunhofer IFF

Auf lange Sicht könnten die 9500 Biogasanlagen in Deutschland zur Wasserstoffproduktion beitragen und somit wirtschaftlicher und effizienter arbeiten als bisher.

» Mit unserem Ansatz lassen sich die Emissionen in der Schifffahrt um bis zu 97 Prozent senken.

Dr. Benjamin Jäger, Wissenschaftler am Fraunhofer IKTS



Methanol ist sein »Elixier« – zumindest wenn es um Schiffsantriebe geht. Dr. Benjamin Jäger vom Fraunhofer IKTS arbeitet im Projekt HyMethShip daran, Schiffe via Methanol nahezu emissionsfrei fahren zu lassen. © Roger Hagmann

► Schließlich wird bei Weitem nicht nur eine Brennstoffzelle pro Auto benötigt – vielmehr stapelt man bei einem 100 Kilowatt-Auto 400 Brennstoffzellen übereinander zu einem Stack. Dass in einem Autowerk pro Tag rund 1000 bis 1500 Autos vom Band laufen, macht überdeutlich, in welche Bereiche die Serienfertigung der Brennstoffzellen vordringen muss. Auch was die Kosten angeht, ist Massenerstellung nötig: Erst ab ca. 100 000 Stacks pro Jahr wird die Produktion für den breiten Einsatz in Pkw wirtschaftlich. Dafür sind viele unbewältigte Produktionsaufgaben zu lösen. Dieser Herausforderung widmet sich unter anderem das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT. »Wir bauen eine Forschungsinfrastruktur auf, auf der wir die komplette Fertigung auf einem industriellen Level durchspielen können«, sagt Dr. Christoph Baum, Geschäftsführer am Fraunhofer IPT. »Die Produktion wird dort so nachgebildet, dass für jeden einzelnen Prozessschritt keinerlei Skalierungsrisiken bestehen.«

In welchem Maße – und vor allem wie schnell – sich die Fertigung von Brennstoffzellen-Stacks optimieren lässt, zeigt auch das EU-Projekt Fit-4-AMandA, kurz für »Fit for Automatic Manufacturing and Assembly«. In nur zwei Jahren gelang es dem internationalen Projektteam – mit dabei auch das Fraunhofer IWU –, eine Anlage zur automatisierten PEM-Stack-Montagelinie für die Firma Proton Motor Fuel Cell GmbH zu entwickeln. »Diese erhöht die Fertigungskapazität je nach Stack-Größe von 300 auf aktuell bis zu 5000 Stacks pro Jahr«, sagt Sebastian Porstmann vom Fraunhofer IWU. »Gleichzeitig können damit die Montagezeit um bis zu 95 Prozent und die Montagekosten um bis zu 90 Prozent verringert werden.« Mit leicht geänderten Maschinenlayout könnten perspektivisch sogar bis zu 30 000 Stacks jährlich hergestellt werden. Die Anlage, die dies ermöglicht, wurde Ende Mai 2019 an die Proton Motor Fuel Cell GmbH ausgeliefert – entwickelt wurde sie gemeinsam von den sechs Projektpartnern. Das Fraunhofer-Forscherteam widmete sich unter anderem der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, der Analyse von Fertigungsverfahren für Bipolarplatten und der

Risikoanalyse: Wie sicher ist die Zulieferung der benötigten Bipolarplatten in einem Markt, der gerade erst entsteht?

Auch im Projekt HOKOME wollen fünf Fraunhofer-Institute – IWU, ISE, IWS, IKTS und IPT – weg vom bisherigen Manufakturbetrieb in industrielle Bereiche vorstoßen: Mit Technologien, die eine Produktion von 50 bis 60 Stacks pro Minute erlauben. »Zudem sind mit unserer Herstellungstechnik Kosteneinsparungen von bis zu 50 Prozent möglich«, weiß Sören Scheffler vom Fraunhofer IWU. »Wir setzen beim Beschichtungsprozess der Membran-Elektrodeneinheit MEA – einer der beiden Hauptkomponenten der Brennstoffzelle – komplett auf das Rolle-zu-Rolle-Verfahren«, erläutert der Fraunhofer-Experte. Die zweite Hauptkomponente, die Bipolarplatte, wird aus einer etwa 0,05 bis 0,1 Millimeter dünnen Edelstahlfolie gefertigt, ähnlich dünn wie die aus der Küche bekannte Alufolie. Abgewickelt von einer Rolle folgt der parallele Umformprozess für Anode und Kathode, die sofort anschließend zur finalen Bipolarplatte zusammengefügt werden. Im Frühjahr 2021 soll die Technologie vom Labor in die seriennahe Einsatzumgebung überführt werden.

Weiterer Kostentreiber neben der Manufakturfertigung sind bei Festkörperoxid-Brennstoffzellen Komponenten aus teuren Materialien, etwa keramische Bauteile in den Zuleitungen. Forscher am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM haben nun eine Möglichkeit gefunden, den Stahl so zu beschichten, dass er den Wasserstoff rund 3500-mal stärker zurückhält als unbeschichteter Stahl.

Welche alternativen H₂-Antriebe gibt es fürs Auto?

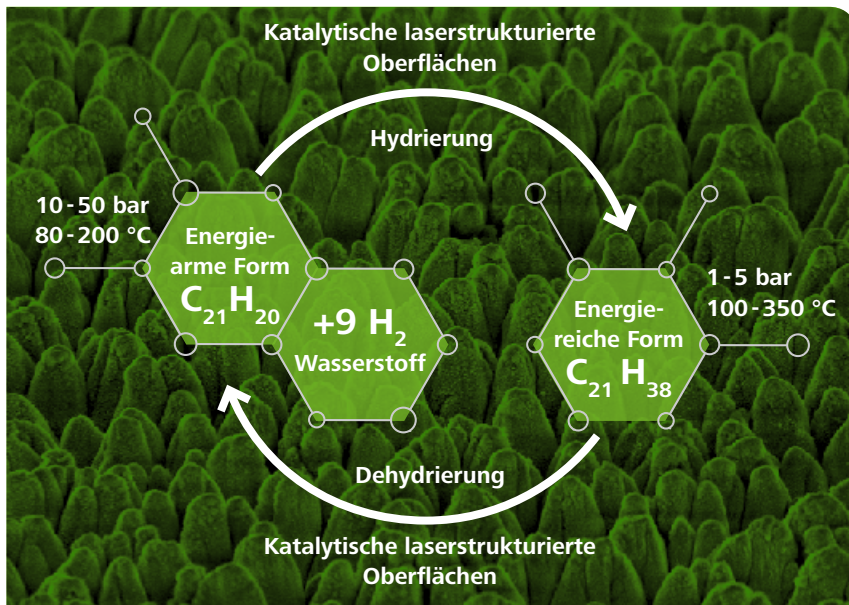
Auch wenn die Brennstoffzelle der bekannteste Energiewandler ist, der primär gespeicherte chemische Energie im Wasserstoff technisch nutzbar macht: Es gibt durchaus ernst zu nehmende Konkurrenten. Einer davon ist der Verbrennungsmotor mit seiner Flexibilität. Schließlich kann er mit unterschiedlichen Kraftstoffen betrieben werden. ►

Fit-4-AMandA



Sie ermöglicht das Wasserstoff-Tanken auch dort, wo die Infrastruktur fehlt: Dr. Marcus Vogt vom Fraunhofer IFAM schwört daher auf seine PowerPaste. © Roger Hagmann

In nur zwei Jahren gelang es dem internationalen Projektteam – mit dabei auch das Fraunhofer IWU – eine Anlage zur automatisierten PEM-Stack-Montagelinie zu entwickeln.



Wird Wasserstoff durch ein flüssiges, organisches Trägermaterial (LOHC) gebunden, lässt er sich ungefährlich speichern. Laserbearbeitete Metalloberflächen sorgen mit ihrer großen Oberfläche dafür, dass die entsprechenden Reaktionen effizient ablaufen. Quelle: Fraunhofer HHI © Grafik: Vierthaler & Braun

► Dazu wird im Brennraum des Verbrennungsmotors ein zündfähiges Gemisch aus Wasserstoff und Luft verbrannt. Interessant macht diesen Antrieb unter anderem, dass die Motoren – wenn die relevanten Komponenten entsprechend angepasst werden – sowohl mit Wasserstoff als auch bivalent mit CO_2 -neutralen Otto-Kraftstoffen betrieben werden können. Der Direktverbrennung von Wasserstoff widmet sich das Fraunhofer ICT: Die Forscherinnen und Forscher entwickeln und optimieren Brennverfahren und relevante Komponenten via Simulationen sowie experimentell in Ein-Zylinder-Forschungsmotoren. Ein Vorteil: Die hervorragenden Verbrennungseigenschaften von Wasserstoff erlauben es, den Ottomotor mit hohem Luftüberschuss zu betreiben – wobei innermotorisch nur geringe Mengen von Stickoxiden entstehen. Mit einer vereinfachten Abgasnachbehandlung können diese nahezu gen null gehen. Kohlenstoffbasierte

Schadstoffe, die bei konventionellen Verbrennungsmotoren auftreten und durch eine immer aufwendigere Abgasnachbehandlung minimiert werden müssen, entstehen bei einem Wasserstoffmotor erst gar nicht.

Eine elementare Frage bei der Direktverbrennung: Was passiert, wenn im Auto oder mit dem Auto etwas schiefeht? Schließlich ist Wasserstoff nicht nur ein potenter Energieträger, sondern auch explosiv. Die Forscher des Fraunhofer ICT betrachten verschiedene Möglichkeiten bis hin zum Worst-Case-Szenario. Unter welchen Bedingungen ist mit einer kritischen Entwicklung zu rechnen? Wo sind beispielsweise Hohlräume, in die der Wasserstoff strömen könnte? Wie groß ist der Druck, der sich dort schlimmstenfalls aufbaut? Die Wissenschaftler berechnen mögliche Fehler anhand von Kenndaten des Systems, identifizieren wahrscheinliche Szenarien, rechnen sie durch und validieren die Ergebnisse anschließend mit realen Tests. Sprich: Sie leiten Wasserstoff anhand der theoretischen Ergebnisse in Hohlräume – wobei gezielt auch ganze Autos zur Explosion gebracht werden. Das notwendige Testgelände gibt es am Fraunhofer ICT. Es ist bis drei Kilogramm TNT-Äquivalent ausgelegt.

Der zweite Konkurrent der Brennstoffzelle sind flüssige, wasserstoffbasierte Kraftstoffe. Das Prinzip: Per Elektrolyse wird Wasserstoff erzeugt – grün natürlich. Doch statt diesen H_2 in einer Brennstoffzelle wieder rückzuströmen, lässt man ihn mit CO_2 oder Stickstoff reagieren. Verwendet man CO_2 und einen geeigneten Katalysator, entsteht Methanol (CH_3OH): Ein Plattformmolekül, aus dem sich wiederum ganz unterschiedliche Kraftstoffe für Otto- und Dieselmotoren sowie Flugzeugturbinen herstellen lassen – beispielsweise Oxymethylenether (OME), welche direkt als Kerosin-, Benzin- oder Dieselerersatz verwendet werden könnten. Sinnvoll ist ein solches Power-to-Liquid-Verfahren vor allem dort, wo Fahrzeugflotten nicht so schnell erneuert werden können oder es zu teuer ist, vorhandene Infrastrukturen umzurüsten. Schließlich liegt einer der großen Vorteile dieser Antriebsart darin, dass die komplette Motorentechnik im Idealfall gleich bleiben kann und dennoch über die gesamte Wirkungskette



Die Notwendigkeit einer globalen Energiewende ist allgemein anerkannt, und da führt am Wasserstoff kein Weg vorbei.

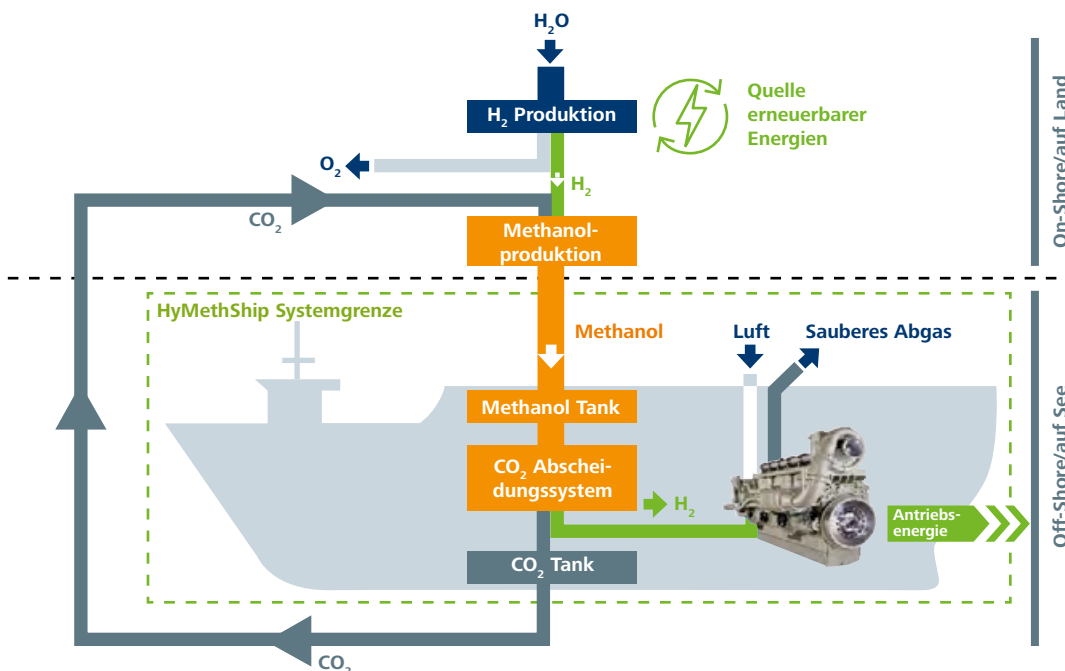
gesehen bis zu 90 Prozent weniger Treibhausgasemissionen entstehen als bei fossilen Kraftstoffen. Ferner bieten insbesondere OME den Vorteil, dass sie aufgrund ihrer spezifischen chemischen Struktur ohne C-C-Bindungen besonders emissionsarm verbrennen, wodurch auch die lokalen Emissionen stark reduziert werden. Zusätzlich bietet die am Fraunhofer ISE entwickelte CatVap®-Technologie das Potenzial, zukünftig in Kombination mit PtL-Kraftstoffen die Emissionen von Verbrennungsmotoren signifikant zu reduzieren, wie das Fraunhofer ISE beispielsweise in den Projekten »Sylink« sowie »C3-Mobility« untersucht. »Was die Effizienz angeht, so unterscheiden sich Brennstoffzelle und Oxymethylenether nicht sonderlich voneinander«, meint Schattauer, »es ist – zumindest beim Auto – eher eine ideologische Fragestellung.«

Eignet sich Wasserstoff auch für Lkw, Schiff, Zug und Flugzeug?

Weit weniger ideologisch ist die Entscheidung zwischen Brennstoffzelle und flüssigen Kraftstoffen beim Antrieb von Schiff, Lkw und Flugzeug: Hier punkten flüssige Kraftstoffe mit ihrer sehr hohen Energiedichte – schließlich zählt vor allem im Flugverkehr jedes Gramm und es sind hohe Leistungen bei langer Betriebsdauer gefragt. Im Projekt NAMOSYN, kurz für: Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe, arbeitet das Fraunhofer ISE mit zahlreichen Partnern beispiels-

weise daran, solche Oxymethylenether möglichst schnell wirtschaftlich herzustellen. Dazu bilden die Fraunhofer-Forscher die gesamte Wertschöpfungskette von den Ausgangsstoffen CO₂/H₂ bis hin zum normgerechten Kraftstoff ab – inklusive aller katalytischen Prozesse sowie Trennverfahren. Ferner untersucht das Konsortium die Nutzungsphase von OME im Verbrennungsmotor, die Kompatibilität in der Betankungsinfrastruktur, die Lebenszyklusanalyse der gesamten Wertschöpfungskette und die Integration solcher neuen Kraftstoffe. »Wir am Fraunhofer ISE schauen uns sechs verschiedene Prozessvarianten an und bewerten diese unter anderem hinsichtlich der Kosten und des CO₂-Fußabdrucks«, sagt Dr. Achim Schaadt, Abteilungsleiter am Fraunhofer ISE. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Prozesssimulationsplattform, die das Forscherteam entwickelt hat: Wie müsste der Prozess mit einer Million Tonnen erzeugtem Kraftstoff pro Jahr aussehen? »Es ist ein Wechselspiel zwischen Simulation und Experiment – wir lernen aus den Ergebnissen der kleinen Anlagen und speisen deren Ergebnisse in unser Simulationsmodell ein«, erläutert Dr. Ouda Salem, Head of Team Power to Liquids am Fraunhofer ISE. Ein Projektpartner baut ein modulares System mit einem Output von einem Kilogramm OME pro Stunde auf. Weitere Partner führen Motorentests durch. Übrigens: OMEs lassen sich nicht nur als Kraftstoffe nutzen, sondern kommen auch als hochselektive, grüne Lösungsmittel und CO₂-Sorptionsmittel in Betracht. ▶

Beim Antrieb von Schiff, Lkw und Flugzeug punkten flüssige Kraftstoffe mit ihrer sehr hohen Energiedichte – hergestellt aus Wasserstoff.



An Land tankt das Schiff Methanol, das an Bord mit Wasser zu Wasserstoff umgesetzt wird. Dieser treibt das Schiff via Direktverbrennung an. Das ebenfalls entstehende CO₂ wird in Tanks eingelagert, an Land abgepumpt und erneut für die Methanol-Herstellung genutzt. © LEC GmbH

» Wir bringen Materialproben des Tanks in eine Druckkammer ein, die mit gasförmigem Wasserstoff gefüllt ist – und zwar unter einem Druck, wie er auch im späteren Tank herrscht.

Ken Wackeremann, Wissenschaftler am Fraunhofer IWM

1,6 Megawatt Wasserstoffenergie soll eine Demonstrationsanlage liefern. Erste Versuche sind für Anfang 2021 geplant.

► Eine andere Art, möglichst viel Wasserstoff in möglichst wenig Volumen und möglichst ungefährlich zu speichern, bietet die »Liquid Organic Hydrogen Carrier LOHC«-Technologie, die an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und am Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg entwickelt wird. Dabei wird der Wasserstoff durch ein flüssiges, organisches Trägermaterial gebunden. Das Gemisch ist sehr schwer entflammbar und nicht explosiv. Sprich: Die Flüssigkeit lässt sich gefahrlos lagern, umfüllen, transportieren und tanken. Um den Wasserstoff zu entfernen und ihn nutzen zu können, ist ein Mini-Reaktor nötig – das LOHC wird darin vom Wasserstoff befreit und in einem zweiten Tank bis zur erneuten Nutzung zwischengelagert. Da zwei Tanks sowie der Reaktor nötig sind, sind LOHC-Speicher für Kleinwagen nicht optimal. Für Züge jedoch bieten sie ein großes Potenzial – schließlich ist dort ausreichend Platz. Um die Reaktion effizient ablaufen zu lassen und die Reaktoren möglichst klein zu gestalten, sind jedoch große Oberflächen nötig. Diese entwickelt ein Forscherteam am Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI. »Wir bearbeiten eine Metalloberfläche mit einem Laser«, erläutert Prof. Eike G. Hübner vom Fraunhofer HHI. »Dabei entsteht eine poröse scharfkantige Struktur, die die Oberfläche fast um den Faktor hundert vergrößert.« Der Erfolg lässt sich bereits sehen: Auf Basis bestehender Versuchsergebnisse wird derzeit ein Reaktor mit Modulen der Größe von ca. 20x20x10 Zentimeter entwickelt, der das Leistungsäquivalent von bis zu 5 kW in Form von Wasserstoff freisetzt. Mehrere dieser LOHC Power Packs sollen künftig auf einem zugelassenen Triebwagen montiert werden und genügend Wasserstoff für den Betrieb freisetzen.

Dem zukunftsweisenden, sicheren Antrieb von Schiffen widmen sich Forscher am Thüringer Standort Hermsdorf des Fraunhofer IKTS gemeinsam mit Partnern wie der Meyer Werft im EU-Projekt HyMethShip. »Mit unserem Ansatz lassen sich die Emissionen in der Schifffahrt um bis zu 97 Prozent

senken«, begeistert sich Dr. Benjamin Jäger vom Fraunhofer IKTS, der das Herzstück des Projekts – die Methanol-Reformierung – koordiniert. Das ist insbesondere vor dem Hintergrund interessant, dass Schiffe auf See nach wie vor auf Schweröl setzen, bei dessen Verbrennung unter anderem Schwefelverbindungen entstehen, und in Küstennähe auf Diesel umschalten, wobei sie wiederum Stickoxide und CO₂ in die Luft ausstoßen. All dies lässt sich beim Wasserstoffantrieb umgehen: Schwefelverbindungen treten nicht auf, Stickoxide werden weitestgehend minimiert und das entstehende CO₂ wird im Kreis geführt – es gelangt somit nicht in Form von Abgasen in die Luft. Das Prinzip des Antriebs: An Land tankt das Schiff Methanol, das sich im Gegensatz zu Wasserstoff problemlos lagern lässt – und das selbst dann kein Problem für die Umwelt darstellt, wenn der Tank im Worst Case komplett auslaufen würde. Das Methanol dient als Wasserstoffspeicher: An Bord wird es mit Wasser umgesetzt. Dabei entsteht zum einen der benötigte Wasserstoff, der, per Membran abgetrennt, in einem Motor direkt verbrannt wird und das Schiff somit antreibt – und zwar deutlich mehr Wasserstoff, als im Methanol gespeichert ist, da auch das Wasser Wasserstoff zuführt. Zum anderen entsteht CO₂, das in Tanks eingelagert, an Land abgepumpt und erneut für die Methanol-Herstellung genutzt wird. Die Wärme, die für den Prozess nötig ist, stammt aus dem Motor – was die Effizienz des Antriebs ein weiteres Stück nach oben treibt. Die Fraunhofer-Experten rund um Jäger haben die komplette Prozess- und Reaktorauslegung übernommen und die benötigten Membranen entwickelt. An der Technischen Universität Graz, einem weiteren Projektpartner, bauen die Forscher eine Demonstrationsanlage auf, die über 1,6 Megawatt an Wasserstoffenergie liefern soll. Erste Versuche sind für Anfang 2021 geplant, der Testbetrieb folgt Mitte 2021. Zudem will das Konsortium eine Studie für eine Fähre in Skandinavien mit 20 Megawatt Leistung mit dem neuartigen Antrieb erstellen. Zum Vergleich: Ein Öltanker hat eine Leistung von 50 bis 80 Megawatt.



© Daimler Truck AG

1000 Kilometer mit Wasserstoff

Die Reichweite von bis zu 1000 Kilometern ist eines der Kernargumente für den Konzept-Lastwagen GenH2 (Foto). Der Wasserstoff-Lkw soll das Herzstück des künftigen Daimler-Portfolios werden. Von 2023 an ist geplant, die ersten Fahrzeuge in die Kundenerprobung zu geben – eine Serienproduktion ist von 2025 an vorgesehen. Allerdings gelten alternative Antriebe bis auf Weiteres als deutlich teurer als Dieselmotoren. Die Unternehmensberatung McKinsey hat errechnet, dass erst von 2027 an Wasserstofftrucks in den Gesamtkosten billiger fahren können als Diesel-Sattelzüge.

Und wie stehts mit Kleinfahrzeugen wie Mofas?

Kleinfahrzeuge wie Mofas, Roller und Co. brauchen in puncto Wasserstoff eine Sonderbehandlung: Denn sie können nicht einfach Wasserstoff-Tankstellen anfahren und das Gas tanken – der Druckstoß wäre zu groß. Auf Systemebene lassen sich außerdem mit kleinen Hochdrucktanks nur unzureichende Speicherdichten erreichen. Das Fraunhofer IFAM in Dresden hat jedoch auch diese Anwendungen im Blick: mit seiner PowerPaste, die auf dem Feststoff Magnesiumhydrid basiert. Statt eine Tankstelle anzusteuern, wechselt der Roller-Fahrer einfach die entsprechende Kartusche und tankt Wasser – fertig. »Mit der PowerPaste lässt sich Wasserstoff bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck chemisch speichern«, konkretisiert Dr. Marcus Vogt, Wissenschaftler am Fraunhofer IFAM. Das ist auch dann unkritisch, wenn der Roller bei sommerlicher Hitze stundenlang in der Sonne steht, denn die PowerPaste zersetzt sich erst oberhalb von etwa 250 Grad Celsius. Auch für größere Fahrzeuge macht die PowerPaste Sinn – und zwar überall dort, wo die Infrastruktur in Form von Wasserstofftankstellen fehlt. Für den Betrieb befördert ein Stempel die PowerPaste aus einer Kartusche heraus. Die

Menge wird dabei dem Bedarf der Brennstoffzelle angepasst. Aus einem Wassertank wird Wasser zugegeben und dabei entsteht Wasserstoff. Wie beim Schiffsantrieb HyMethShip stammt die Hälfte des Wasserstoffs aus dem Wasser. »Die Energiespeicherdichte der PowerPaste ist daher enorm: Sie ist wesentlich höher als ein 700-bar-Drucktank. Verglichen mit Batterien hat sie sogar die zehnfache Energiespeicherdichte«, freut sich Vogt. Am Fraunhofer-Projektzentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS baut das Fraunhofer IFAM derzeit eine Produktionsanlage für die PowerPaste auf. 2021 soll diese eröffnet werden und dann bis zu vier Tonnen PowerPaste pro Jahr produzieren. Natürlich nicht nur für Mofas.

Wie lässt sich Wasserstoff transportieren, bereitstellen und tanken?

In Deutschland gibt es momentan etwa hundert Wasserstoff-Tankstellen. Damit verändern sich auch die Anforderungen. »Stand beispielsweise 2016 vor allem die Frage im Vordergrund, wie sich die Tanks in die Fahrzeuge integrieren lassen, überprüfen wir nun im Projekt hySafe die einzelnen Komponenten und Details von Wasserstoff-Tankstellen auf ihre Sicherheit«, erläutert Armin Keßler vom Fraunhofer ICT. ►

Bislang werden Wasserstoff-Antriebe vor allem für größere Fahrzeuge gedacht. Dass auch Mofas mit Wasserstoff fahren können, zeigt das Fraunhofer IFAM mit der PowerPaste.

► Zu solchen Details gehören unter anderem Fragen wie: Wie lässt sich ein Überdruck in einem Tank effektiv verhindern? Die Lösung der Fraunhofer-ICT-Forscher: ein mit Epoxidharz verklebtes Loch im Tank. Steigt der Druck im Tank, klettert auch die Temperatur nach oben, der Pfropfen schmilzt und gibt innerhalb weniger Sekunden den gesamten Tankinhalt frei. Weiterhin analysieren die Forscher, wie sich eine Explosion ausbildet – und welche Gegenmaßnahmen am wirkungsvollsten sind, um sie einzudämmen.

Auch die Frage, wie der Wasserstoff an den Tankstellen optimal gelagert werden kann, ist noch nicht abschließend geklärt. Bislang nutzt man Drucktanks. Diese haben jedoch Nachteile, beispielsweise sind aufwendige Druckspeicher oder Kühlanlagen nötig. Eine Alternative bieten auch hier die flüssigen Trägerstoffe LOHC: Sie ermöglichen, das ansonsten explosive Gas problemlos zu transportieren und zu speichern – ohne Verluste. Europas ersten LOHC-Speicher neuester Generation haben Forscher am Fraunhofer IAO aufgebaut: Er hat eine Speicherkapazität von 2000 Kilowattstunden. Was den Tankvorgang mit solchen LOHC-Speichern angeht: Die nötige Technologie dazu entwickeln Forscher des Fraunhofer HHI im Projekt LOReley – kurz für »Leistungsdichte H₂-Freisetzung in LOHC-Reaktoren mittels effizienter Flächenkatalysatoren«, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Kernstück des Projekts ist ein Reaktor, den die Forscher derzeit entwickeln: Er soll den Wasserstoff für den Tankvorgang effizient aus dem Trägeröl herauslösen, und zwar mit einer Dauerleistung von mindestens einem Kilowatt und einer Spitzenleistung von fünf Kilowatt bezogen auf den freigesetzten Wasserstoff. Anders gesagt: Jedes Reaktormodul soll einfach aufgebaut sein, kleine Abmessungen haben, modular bis zur benötigten Leistungsklasse kombinierbar sein und dennoch bisher unerreichte Raum-Zeit-Ausbeuten ermöglichen. Möglich machen es die laserstrukturierten Oberflächen des Fraunhofer HHI, die die Reaktion deutlich effizienter ablaufen lassen. Die LOHC-Tankstelle soll auch mobil einsetzbar sein, denn das wasserstoffbeladene LOHC kann beispielsweise in einem mobilen Tankwagen gelagert werden, auch der Reaktor ist transportabel.

Tankstellen: Wasserstoff meets Solar

Das Fraunhofer ISE setzt auf die grüne Wasserstoff-Produktion direkt vor Ort: Mit ihrer solaren Wasserstoff-Tankstelle, die das Institut seit März 2012 betreibt. »Dabei bilden wir die gesamte Prozesskette ab – also vom Photon bis zur Traktion«, erläutert Dr. Tom Smolinka, Leiter der Abteilung Chemische Energiespeicherung am Fraunhofer ISE. Soll heißen: Die Forscher erzeugen den Strom via Sonne vor Ort, betreiben damit in einem Container die Elektrolyse mit einem modernen Membranverfahren und komprimieren den Wasserstoff dann auf bis zu 900 bar, um ihn so in einem Hochdrucktank zu la-










gern. Die Betankung, die dort übrigens kostenfrei möglich ist, erfolgt bei 700 bar Speicherdruck innerhalb von drei bis fünf Minuten. »Das Ziel ist jedoch nicht, hier Hunderte von Autos zu betanken«, schmunzelt Smolinka, »vielmehr dient uns die solare Tankstelle als Forschungs- und Technologieplattform. Dazu verfügt sie über eine umfangreiche Messtechnik für das Monitoring, und die Steuerung erlaubt eine flexible Betriebsführung der Anlage.«

Fahrzeugtanks: Sicher und recycelbar

Weiterer Forschungsbedarf besteht rund um die Fahrzeugtanks. Denn Wasserstoff ist explosiv. Bevor Tanks in Fahrzeuge eingebaut werden, müssen eingesetzte Materialien daher auf ihre Belastbarkeit untersucht werden. Dies übernehmen Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IWM im hauseigenen Wasserstofflabor: Hier lassen sich Wasserstoffdrücke von 1000 bar erzeugen. »Wir bringen Materialproben des Tanks in eine Druckkammer ein, die mit gasförmigem Wasserstoff gefüllt ist – und zwar unter einem Druck, wie er auch im späteren Tank herrscht«, sagt Ken Wackerermann, Wissenschaftler am Fraunhofer IWM. »Dort belasten wir die Probe mechanisch – wir lassen eine Apparatur also daran ziehen und zerren.« Was hält das Material unter diesen real vorkommenden Bedingungen aus? Die Forscher beschreiben das Verhalten des Materials und übertragen es mit der Finite-Elemente-Methode – einer Simulationsart – auf die gesamte Tankgeometrie. Anhand der Ergebnisse machen die Forscher auch Vorhersagen darüber, wie dick das Tankmaterial sein muss – oder entwickeln neue Materialien. Die Ergebnisse der Simulation wiederum überprüfen sie zusammen mit Partnern, indem ein kompletter Tank belastet wird, bis er birst. Hält er so viel aus wie berechnet? Die Wasserstoff-Druckkammern sind noch »taufrisch«: Sie sind seit Ende August 2020 in Betrieb.

Wie sich die Wasserstofftanks recyceln lassen, gehört ebenfalls zu den Fragen, die bislang noch nicht geklärt sind: Derzeit bestehen H₂-Tanks für mobile Anwendungen meist aus duroplastehaltigen Werkstoffen – diese können am Ende ihrer Einsatzdauer jedoch nur geschreddert werden. Das Fraunhofer IPT setzt daher auf Thermoplasten: Der Liner, ein wasserstoffdichter Tank, wird mit Kohlenfasern umwickelt, die in eine thermoplastische Matrix eingebettet sind und die miteinander verschweißt werden. Auf umgekehrtem Wege lassen sich diese Materialien wieder recyceln: Man schneidet die Platten einfach wieder ab. Die Forscherinnen und Forscher arbeiten derzeit an den entsprechenden Produktionsverfahren. Schließlich soll Wasserstoff künftig nicht nur Rennwagen der HYRAZE League antreiben, sondern ist neben der batteriegespeisten Elektromobilität der größte Hoffnungsträger als Antrieb der Zukunft, um möglichst vielen Menschen das größtmögliche Maß an gewohnter Mobilität zu garantieren. ■

Im hauseigenen Wasserstofflabor des Fraunhofer IWM lassen sich Wasserstoffdrücke von tausend bar erzeugen – und Materialien optimal testen.

Turboprop		 <100 Passengers  Hydrogen Hybrid Turboprop Engines (x 2)	 1,000+nm Range  Liquid Hydrogen Storage & Distribution System
Blended-Wing Body		 <200 Passengers  Hydrogen Hybrid Turbofan Engines (x 2)	 2,000+nm Range  Liquid Hydrogen Storage & Distribution System
Turbofan		 Hydrogen Hybrid Turbofan Engines (x 2)	 Liquid Hydrogen Storage & Distribution System

AIRBUS

© Airbus

Der neue Traum vom Fliegen

Im Jahr 2030 will Airbus den Traum vom emissionsfreien Fliegen verwirklicht haben. Im September stellte das Unternehmen drei Flugzeugkonzepte vor, nach denen 100 bis 200 Passagiere bis zu 3700 Kilometer weit fliegen können sollen: eine Propellermaschine, ein Flugzeug mit Düsenantrieb und ein »Blended-wing-body«-Flugzeug, bei dem Rumpf und Tragflächen ineinander übergehen. Wasserstoff ist zwar leichter als Kerosin, benötigt als Flüssigkeit jedoch vier Mal so viel Platz, um die gleiche Energie zu liefern. Schon in wenigen Jahren soll der erste Prototyp abheben, 2035 die Serienproduktion starten.

»» Das Ziel ist jedoch nicht, hier Hunderte von Autos zu betanken, vielmehr dient uns die solare Tankstelle als Forschungs- und Technologieplattform.

Dr. Tom Smolinka, Leiter der Abteilung
Chemische Energiespeicherung am Fraunhofer ISE

»Städte müssen mutiger für Veränderungen werden.«

Bilder menschenleerer Metropolen während des Lockdowns faszinierten im Frühjahr viele. Dass das Leben in einige Städte nur zögerlich zurückkehrt, wird jedoch zunehmend zum Problem. Als Kollateralschaden von Homeoffice und Infektionsschutz sterben Restaurants, Geschäfte und Kulturbetriebe. Wir sprachen mit Willi Wendt und Claudius Schaufler, Stadtgestalter beim Fraunhofer-Institut für Arbeits- und Organisationswirtschaft IAO in Stuttgart, darüber, wie sich Städte ändern.

Interview: Mandy Bartel

Herr Wendt, wie sieht für Sie die perfekte Stadt aus?

Wendt: Da geht es für mich zunächst immer um die Lebensqualität der Bewohner. Klingt einfach, doch ist Lebensqualität ja immer etwas Subjektives. Das macht die Sache schon schwieriger. Immerhin gibt es eine Reihe von Kernelementen, die allen wichtig sind und eine Stadt lebenswert machen: Sicherheit, Natur, Begegnungsorten. In den vergangenen Jahren hat vor allem bei den jüngeren Stadtbewohnern auch der Zugang zum Internet enorm an Bedeutung gewonnen.

Welche Visionen hat Corona in weite Ferne gerückt? Und was hat uns die Pandemie näher gebracht?

Wendt: Als Begegnungsort hat die Stadt in den vergangenen Monaten eher gelitten. Dafür sind wir dem Bedürfnis nach Sicherheit näher gekommen. Und natürlich gab es auch bei den Städten einen Digitalisierungsschub. Wir haben am Fraunhofer IAO Studien dazu durchgeführt, welche Sachgebiete in den Kommunen durch Corona an Bedeutung gewannen. Da standen Digitalisierung und agile Verwaltungsprozesse auf Platz eins. Das Schlusslicht bildete interessanterweise der Klimaschutz. Das liegt daran, dass die Städte sich jetzt um so viele andere Dinge kümmern müssen, dass Klimaschutzmaßnahmen erst einmal hintanstehen. Andererseits hat natürlich der Trend zum Homeoffice und zu weniger Dienstreisen auch wieder positive Effekte auf das Klima in der Stadt.

Stichwort Mobilität: Sind die Menschen weniger oder anders mobil geworden?

Und: Was bedeutet das für Städte?

Schaufler: Die Leute bewegen sich weniger von A nach B. Im modernen Sinn der Stadtgestaltung aber sind sie sogar mobiler geworden. Schließlich haben sie mehr Möglichkeiten gewonnen. Sie können im Homeoffice bleiben oder ins Büro fahren und

durch die Digitalisierung zum Beispiel mehr verteilte Angebote wahrnehmen.

Wendt: Vor allem der Spielraum für mobilitätseingeschränkte Menschen erweitert sich dadurch. Gleichzeitig ist absehbar, dass es der ÖPNV schwerer haben wird, seinen Betrieb mit weniger Fahrgästen aufrechtzuerhalten.

Schaufler: Diesen Trend spiegeln uns auch die Kommunen wider. Dafür braucht es neue Konzepte. Viele Menschen sind vor allem im Spätsommer aufs Rad umgestiegen. Einige Städte haben darauf schnell reagiert, etwa mit Pop-up-Fahrradwegen. Aber spannend wird es im Winter. Dann erwarten wir wieder eine stärkere Nutzung der Automobile – entgegen dem Trend der vergangenen Jahre. Auch dafür brauchen die Städte eine Lösung.

Leere Bürogebäude, sterbende Gastronomie, kränkelder Einzelhandel: Sieht die Zukunft der Post-Corona-Städte tatsächlich so düster aus? Oder sehen Sie auch etwas Gutes darin?

Schaufler: Der Wandel bietet in jedem Fall Chancen. Umnutzung ist ein wichtiges Stichwort. Gerade in großen Metropolen können Bürohäuser in stark nachgefragten Wohnraum verwandelt werden. In Zukunft wird man vermehrt Nachnutzungsoptionen gleich bei der Planung von Gebäuden berücksichtigen. Monofunktionalität wird mehr Flexibilität weichen. Das gilt auch für die städtischen Verwaltungen. Die haben auf jeden Fall deutlich an Flexibilität gewonnen, denn sie mussten in den vergangenen Monaten schnell auf aktuelle Bedarfe reagieren.

Wendt: Diese Agilität ist wichtig, denn eine Stadt ist ja nicht statisch. Deshalb gilt es auch, diese typischen städtischen Planungshorizonte von 20 bis 30 Jahren zu überdenken. Ein Beispiel dafür ist der Stuttgarter Bahnhof, der Jahrzehnte in Planung war



»Diese Agilität ist wichtig, denn eine Stadt ist ja nicht statisch.«

Willi Wendt



»Es geht letztlich um neue Interpretationen des öffentlichen Raums. Den Leuten muss wieder bewusst werden, dass Städte gestaltbar sind.«

Claudius Schaufler

Mitmach-Initiative Innenstadt

Ziel der Innovationsoffensive »Innenstadt 2030+ | Future Public Space« ist es, belastbare Lösungen und Konzepte zu entwickeln, um Innenstädte resilienter, lebenswerter und anpassungsfähiger zu machen. Die Konzepte testen die Forschenden vom Fraunhofer IAO mithilfe von strategischen Zukunftsszenarien sowie konkreten Demonstratoren und Prototypen in realen Umgebungen.

www.iao.fraunhofer.de

– und jetzt in ganz wenigen Monaten von den Ansprüchen der heutigen Zeit überholt wurde.

Das IAO hat jüngst eine Innovationsoffensive gestartet, um Städten zu helfen. Welche Maßnahmen sind nützlich?

Schaufler: Ja, wir haben ganz frisch zusammen mit den »Stadtretern«, einem Zusammenschluss von derzeit 250 Kommunen, die Initiative »Innenstadt 2030+ | Future Public Space« gegründet. Voneinander zu lernen, sich austauschen ist für Städte heute so wichtig wie nie zuvor. Dieser Wissenstransfer von Best Practices – seien es Umbaumaßnahmen, geänderte Verwaltungsprozesse oder die Einrichtung von Post-Corona-Aktionsteams – fand bisher ja nicht statt. Auch Reallabore sind ein wichtiger Bestandteil. Städte müssen mutiger für Veränderungen werden. Deshalb planen wir im nächsten Jahr mehrere temporäre Experimente in den öffentlichen Stadträumen: neue Mobilitätsangebote, alternative Flächennutzungen, geänderte Verkehrsführungen oder auch Bürger mehr einzubinden. Es geht letztlich um neue Interpretationen des öffentlichen Raums. Den Leuten muss wieder bewusst werden, dass Städte gestaltbar sind. Ein Fokus wird zudem auf Urban Data liegen, um Städten künftig mehr evidenzbasierte, also faktengetriebene Entscheidungen zu ermöglichen.

Hand aufs Herz: Sind unsere Städte gut aufgestellt für die Zukunft?

Wendt: Auf jeden Fall besser als vorher. Denn die Städte mussten lernen, mit dem Unvorhersehbaren flexibel umzugehen. In der Situation hat sich gezeigt, dass es Wege gibt, die vorher undenkbar waren. Das hat auch die Denkweise von städtischen Verantwortungsträgern geändert. Wenn es gelingt, dieses neue Denken in Strukturen, neue Prozesse, auch Experimentierräume zu überführen, sind die Städte für die Zukunft gut gerüstet. ■

© Daniela Leitner

Individuelle Mobilität muss bezahlbar bleiben

Wie wir die Mobilitätswende gestalten können: ökologisch und ökonomisch, um Klimaschutz und wirtschaftliches Wachstum zu vereinen.

Ein Gastbeitrag von Hildegard Müller,
Präsidentin des Verbandes der Automobilindustrie (VDA)

Die Corona-Pandemie stellt uns vor nie dagewesene Herausforderungen. Wir erleben momentan die größte wirtschaftliche Krise seit Kriegsende. In der ersten Jahreshälfte 2020 sind die Pkw-Märkte weltweit massiv eingebrochen, eine leichte Stabilisierung ist nun zwar in Sicht, aber auf ein Vorkrisenniveau werden wir wohl nicht vor dem Jahr 2022 kommen. Gänzlich offen wären die Auswirkungen einer zweiten Welle, denn ein erneutes Stilllegen der Wirtschaft hätte katastrophale Folgen – nicht nur für die Automobilindustrie. Diese durch Corona zusätzlich erschwerte Situation zeigt, dass wir die Transformation der Branche in Richtung neuer Antriebe und Digitalisierung entschlossen angehen, aber auch sozial, ökonomisch und ökologisch nachhaltig gestalten müssen.

Der Klimaschutz gehört zu den drängendsten Herausforderungen unserer Zeit. Wir unterstützen die Pariser Klimaziele und arbeiten mit höchster Priorität an der Klimaneutralität des Verkehrssektors. All das nützt aber nichts, wenn unter dem Primat des Klimaschutzes die europäische Industrie im Wettbewerb mit anderen Märkten geschwächt wird. Wir müssen wirtschaftlichen Erfolg und Klimaschutz zusammen denken – eine intelligente Regulierung sollte genau das ermöglichen. Denn nur auf einer gesunden wirtschaftlichen Basis können wir weiterhin so stark in den Umbau unserer Wirtschaft und in Lösungen für eine klimafreundliche Mobilität investieren. Deshalb müssen unsere Anstrengungen

darauf ausgerichtet sein, klimaschonende Technologien zum europäischen Exporterfolg zu machen: moderne Industriepolitik und Klimaschutz made in Europe.

Die Corona-Pandemie hat uns mehr denn je gezeigt, wie wichtig individuelle Mobilität für die soziale Teilhabe vieler Menschen und eine funktionierende Wirtschaft ist. Mobilität muss auch in Zukunft in allen Facetten bezahlbar sein. Dafür sollten alle Perspektiven verbunden und den Bedürfnissen der Menschen in der Stadt wie auf dem Land mit durchdachten, technologieoffenen Mobilitätskonzepten gerecht werden. Einseitige Verbote sind der falsche Weg, denn sie gefährden die Akzeptanz für den Klimaschutz und verzögern die Entwicklung von intelligenten Konzepten, welche gebraucht werden, um Wohlstand mit Klimaschutz zu verbinden.

Die Transformation sozial nachhaltig gestalten

Als Industrie mit über 800 000 direkt im Automobilsektor Beschäftigten in Deutschland und vielen weiteren Arbeitsplätzen, die indirekt mit uns verbunden sind, haben wir nicht nur die Verantwortung, zum Klimaschutz beizutragen, sondern es ist auch unsere Aufgabe, auf dem Weg dieser Transformation hochwertige Arbeitsplätze in Deutschland und Europa zu sichern. Wie eine VDA-Umfrage ergeben hat, müssen sechs von zehn Unternehmen in der Zulieferindustrie aufgrund der

»Die Corona-Pandemie hat uns gezeigt, wie wichtig individuelle Mobilität für die soziale Teilhabe vieler Menschen und eine funktionierende Wirtschaft ist.«



Im November vergangenen Jahres wurde Hildegard Müller einstimmig zur Präsidentin des Verbands der Automobilindustrie (VDA) gewählt. Im Februar trat sie ihr Amt an. © Roland Horn

Hildegard Müller

... Seit 1. Februar leitet Hildegard Müller als Präsidentin den Verband der Automobilindustrie (VDA).

... Von 1998 bis 2002 war Müller die erste weibliche Bundesvorsitzende der Jungen Union. 2005 wurde sie von Angela Merkel zur Staatsministerin bei der Bundeskanzlerin und Beauftragten für die Bund-Länder-Koordination berufen.

... Nach der Ausbildung zur Bankkauffrau bei der Dresdner Bank studierte Hildegard Müller Betriebswirtschaftslehre und kehrte als Abteilungsleiterin zur Dresdner Bank zurück.

Corona-Krise und des Kostendrucks am Standort Deutschland verstärkt Personal abbauen. Nur ein Viertel der Unternehmen nennt den Transformationsprozess mit Digitalisierung und alternativen Antrieben dabei als ausschlaggebend. Deshalb sollte diese Krise Ansporn für Reformen sein, die die Unternehmen entlasten und damit den Standort stärken. Wir brauchen in Deutschland und Europa eine offensive, dem Klimaschutz verpflichtete Industriepolitik.

Deutsche Autohersteller verdoppeln ihr E-Angebot

Die Synthese aus diesen Herausforderungen und dem Ziel, den europäischen Verkehr bis 2050 treibhausgasneutral zu gestalten, macht deutlich, dass wir nun entschlossener denn je den Marktanteil von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben steigern müssen. Dazu gehört vor allem die Elektromobilität – als rein batterieelektrischer Antrieb (BEV) oder Plug-in-Hybrid. Dafür investieren deutsche Hersteller bis 2024 rund 50 Milliarden Euro und verdoppeln ihre E-Modellpalette von derzeit 70 auf 150 bis 2023. Parallel dazu brauchen wir den konsequenten und europaweiten Ausbau der Ladeinfrastruktur.

Die ambitionierten Klimaschutzziele der EU können wir aber nur erreichen, wenn zusätzlich zur Elektromobilität nachhaltige, regenerative Kraftstoffe zum Einsatz kommen, insbesondere in der Schwerlast- und Langstreckenmobilität. Darüber

hinaus können regenerative Kraftstoffe bei bereits im Verkehr befindlichen Fahrzeugen eingesetzt werden und tragen dazu bei, rasch erhebliche Mengen CO₂ im Straßenverkehr zu reduzieren. E-Fuels können fossilen Kraftstoffen schrittweise beigemischt werden.

Mit der von der Bundesregierung vorgeschlagenen Nationalen Wasserstoffstrategie ist ein wichtiger Schritt getan. Jetzt geht es um die rasche Umsetzung und die intensive Einbeziehung des Verkehrs in die Überlegungen. Damit sich diese neuen Technologien am Markt durchsetzen, wird ein gezieltes Markteinführungsprogramm benötigt. Ein solches Programm sollte zum Beispiel Mindestquoten von 23 Prozent für regenerative Kraftstoffe und fünf Prozent für E-Fuels (inklusive Wasserstoff) bis 2030 vorsehen. Erleichterungen für regenerative Kraftstoffe bei der Energiesteuer wären eine weitere, einfache Möglichkeit, den Hochlauf zu beflügeln.

Die Bewältigung der Corona-Krise und die Transformation der Branche stellen für die Automobilindustrie eine enorme Kraftanstrengung dar. Die Politik sollte erkennen, dass sie die Unternehmen in dieser kritischen Lage nicht zusätzlich mit weiteren Auflagen belasten darf, sondern die Weichen in Richtung Innovation und Wachstum stellen sollte. Denn es geht um zwei Ziele: Nachhaltig, dem Klimaschutz verpflichtet wirtschaften und dabei Wohlstand, Wachstum und Beschäftigung sichern. ■

»Mit der Nationalen Wasserstoffstrategie ist ein wichtiger Schritt getan. Jetzt geht es um die rasche Umsetzung.«



Robert Habeck,
Bundesvorsitzender von
Bündnis 90/Die Grünen
© *Andreas Chudowski*

»Steuern sollen das Verhalten steuern«

Die Zukunft der Mobilität ist für Robert Habeck eine der ganz großen Gestaltungsaufgaben für die Politik. Im Interview verrät der Grünen-Chef, was er bei der Tour de France gelernt hat, um bei seiner politischen Tour d'Allemagne 2021 in die nächste Bundesregierung zu strampeln.

Interview: Josef Oskar Seitz

Herr Habeck, Sie sind bekennender Fan: Wofür lieben Sie Handball?

Habeck: Der Sport ist schnell, er ist robust. Und bis 30 Sekunden vor Schluss ist oft nicht sicher, wer gewinnt. Alles ist möglich.

Bei Handball geht es darum, mit aller Energie in einen inneren Kreis vorzudringen, der von den Gegnern mit allem, was sie haben, verteidigt wird: Wenn ich da eine Parallele sehe zu Ihrem aktuellen Versuch, in die Regierung und ins Kanzleramt zu kommen – wäre das überinterpretiert?

Handball sieht oft aus wie eine einzige Kraftübung, aber es ist Teamwork. Die Kunst ist, so lange zu passen, so schnell zu rotieren, bis jemand freigespielt ist. Es sind nicht automatisch die Torschützen, die die wichtigste Arbeit leisten. Oder nehmen Sie den Radsport. Moderne Teams arbeiten da mit zwei Kapitänen, schon damit die anderen Mannschaften sie nicht berechnen können.

Da fällt mir ein: Habe ich eigentlich schon die Frage gestellt, ob Sie oder die zweite Kapitänin Annalena Baerbock sich für die Kanzlerkandidatur aufstellen lassen?

Ich habe Ihre Frage doch gerade beantwortet. Mit dem Prinzip, dass es nur einen geben kann, gewinnst du heute kein Handballspiel und keine Tour de France.

Und die politische Tour d'Allemagne im Herbst 2021?

Annalena und ich arbeiten gemeinsam, und die Entscheidung, wer zum Schluss von vorne zieht, treffen wir im kommenden Jahr. Wir starten aus einer sehr guten Position – nicht als Favorit, aber mit gesundem Selbstbewusstsein und großer Leidenschaft. Wollen wir doch mal sehen, was alles geht – und das mit der Erfahrung, dass wir schwierige Situationen für uns, wie die Corona-Krise, die alle Zukunftsfragen in den Hintergrund rückten und alles durch die Gegenwart bestimmt war, aus eigener Stärke wieder drehen können.

Der Wille zur Macht ist da?

Ja.

Warum?

Bei allem Respekt vor Opposition – Opposition ist der Adel in einer Demokratie! – die Gestaltungsoptionen sind in einer Regierung ungleich größer. Und natürlich wollen wir gestalten und Wirklichkeit verändern. Ich will, dass wir die Grünen in die Regierung führen.

In der Präambel zum Entwurf Ihres Grundsatzprogramms habe ich mit Interesse diesen Satz gelesen: »So offen sind unsere Arme, mitzumachen, Bündnisse zu schmieden.« Heißt das: Lieber schlecht regieren, als gar nicht regieren?

Unsere Arme sind offen – weil wir Bündnispartner einladen, mitzumachen. Daraus erwächst eine eigene Stärke. Aus dieser heraus werden wir definieren, was wir wollen. Ich war Minister in zwei verschiedenen Regierungen, einmal Jamaika, einmal Rot-Grün. Das war durchaus unterschiedlich, aber es war gutes Regieren.

Wir sitzen hier in Berlin vor Ihrer Parteizentrale auf einem wunderbaren Platz...

Geht so.

Wir sind umgeben von Autos – geparkten, fahrenden, hupenden Autos. Im Entwurf zum neuen Grundsatzprogramm der Grünen finde ich ein Bekenntnis zur individuellen Mobilität. Ich lese aber eine deutliche Absage ans Auto.

Für die meisten Innenstädte ist das perspektivisch richtig. Auf dem Land werden viele Menschen noch auf Autos angewiesen sein. Das weiß ich, ich komme ja vom Land. Mobilität ist die Realisierung von Freiheit. Doch das Auto als Freiheitsversprechen ist in vielen Situationen eine Chimäre: Wer auf dem Weg zur Arbeit stundenlang im Stau steht, ist, ehrlich gesagt, meist eher genervt als frei. Mindestens in den Städten können wir Mobilität entspannter, schneller und umweltfreundlicher organisieren. Auch hier, diesen Platz, könnte man anders und mit weniger Autos aufleben lassen. Wir sollten die Stadt vom Menschen aus denken, nicht vom Auto. Wir wachsen als Gesellschaft über das Auto hinaus. ▶

»Die Leute spüren doch, dass ein Verbrennungsmotor irgendwie nicht mehr cool ist.«

Robert Habeck

»Wir brauchen Forschung, wir benötigen jede Form von Kreativität, um den besten Weg in technische Innovationen zu finden.«

Robert Habeck

► **Ein schönes Versprechen, aber wer zahlt? Ihr Grundsatzprogramm hält fest: Abschaffung des Dieselprivilegs, höhere Besteuerung fossiler Brennstoffe...**

Diese Steuern sollen keine Haushaltslöcher stopfen, sondern Verhalten steuern. Deswegen sollen die Einnahmen pro Kopf an die Menschen zurückgezahlt werden.

Als erste Maßnahme, sobald Sie in einer Bundesregierung sind, wollen Sie schnellstmöglich Tempolimits einführen. – 130 auf Autobahnen, Tempo 30 in den Städten.

Wir haben viel vor, das Tempolimit ist nur ein vergleichsweise schnell umzusetzender Punkt. Wir sind das letzte europäische Land ohne Tempolimit. Da könnte man auf die Idee kommen, dass nicht der Einzige, der es anders macht, im Recht sein muss. In der Corona-Zeit nehmen wir so viele Anstrengungen auf uns, um Menschenleben zu schützen. Hunderte Menschen sterben jährlich auf den Autobahnen. Wir könnten diese Zahl leicht reduzieren.

Bei einer grünen Regierungsbeteiligung wollen Sie Kerosin besteuern. Auch Fliegen wird also teurer. Abschied von einem Malle für alle?

Wir werden es niemandem verbieten. Aber Billig-Städteflüge, eben mal nach Lissabon für 23 Euro, kann es so nicht mehr geben. Es ist falsch, klimaschädliches Verhalten auch noch durch Subventionen anzureizen.

Nicht jede der Figuren, die Sie als Autor von Kinderbüchern geschaffen haben, wäre mit grüner Politik wahrscheinlich glücklich. Denken Sie nur an Ihre Greta, die bei einem Wettbewerb mit dem Slogan: »Ich will Meer« eine Kreuzfahrt gewinnt!

Das ist eine Geschichte, die ich vor über 20 Jahren fürs Radio geschrieben habe und die jetzt ein Verlag ausgegraben hat. Damals hatte ich von Kreuzfahrten noch ein romantisches Bild. Diese Geschichte würde ich heute so nicht mehr schreiben.

Zurück zum Politiker Habeck. Wie schaffen wir Defossilisierung ohne Deindustrialisierung?

Die Automobilindustrie wird sich perspektivisch wandeln von einem Autoanbieter zu einem Mobilitätsanbieter. Die Frage ist doch lange schon nicht mehr, ob wir das politisch wollen oder nicht. Der Wandel hat längst begonnen. Kalifornien verbietet den Verbrenner von 2035 an. Die Menschen warten auf klimafreundlichere Entwicklungen. Umgekehrt liegen die Lieferzeiten für E-Mobile bald bei einem Jahr. Die Leute spüren doch, dass ein Verbrennungsmotor irgendwie nicht mehr cool ist. Jetzt geht es darum, die technologischen Entwicklungen voranzutreiben. In der Automobilindustrie. Bei den Antrieben. In der chemischen Industrie. In der Stahlindustrie. Wenn wir politisch klug sind, gestalten wir den Wandel und unterstützen die Industrie auf dem Weg in die nächste Phase hin zu einer decarbonisierten, fossilenfreien Industrie. Das wird ein harter Weg. Das wird, ohne Frage, Strukturbrüche bedeuten und Veränderung bei den Arbeitsplätzen. Aber: Es werden auch neue Jobs entstehen. Es werden neue Lieferketten entstehen. Es werden neue Dienstleistungen entstehen.

Ist Elektromobilität die Zukunft?

Für die kurzen Routinestrecken ja. Dafür spricht im alltäglichen Pkw-Verbrauch der bessere Wirkungsgrad gegenüber Wasserstoff. Für den Schwerlast-Verkehr – Lastwagen, Züge oder auch Schiffe – mag es Wasserstoff sein.

Wie zentral wird die Forschung sein für den Wirtschaftsstandort Deutschland?

Sehr zentral. Das Ziel ist durch das Pariser Abkommen definiert. Aber die Wege dahin sind vielfältig. Wir brauchen Forschung, wir benötigen jede Form von Kreativität, um den besten Weg in technische Innovationen zu finden. Das nennt man Wettbewerb. Das ist Marktwirtschaft.

Was kann Politik tun, um diese wissenschaftliche Kreativität noch zu fördern?

Erst einmal geht es darum, Innovationen nicht zu verhindern. So wurden allein im letzten Jahr fast 6500 Gigawattstunden Strom aus Erneuerbaren mit einem Gegenwert von 700 Millionen Euro abgeregelt, weil die Netze schon mit fossilem Strom voll waren. Die Große Koalition verhindert seit Jahren

1969

Klein-Robert, geboren am 2. September 1969, übte sich früh als Barrikadenstürmer.
© Instagram



2004

Als spätberufener Politiker wird Habeck mit 35 Jahren zum Landesvorstandssprecher in Flensburg gewählt. © dpa

2012

Für den Aufstieg als Spitzenkandidat in Schleswig-Holstein betätigte sich Robert Habeck auch als Kaminkehrer. © dpa



die Nutzung des Stroms, weil die Kostenbestandteile zu hoch sind. Aber klar, darüber hinaus muss Politik gezielt Grundlagenforschung und angewandte Forschung unterstützen. Die Forschungsausgaben müssen hoch, und das am besten europäisch. Kleinstaaterei ist nicht mehr wettbewerbsfähig gegenüber den USA und China. Europäisch aber können wir einen Unterschied machen.

Der »Arbeitskreis Steuerschätzung« hat gerade vorgerechnet, dass 2021 durch Corona 19,6 Milliarden Euro fehlen werden. Woher kommt das Geld, das Sie ausgeben wollen?

Lassen Sie mich differenzieren. Die dringend notwendigen Investitionen in Infrastruktur, Ausbau von Breitband, Umbau des Gasnetzes zu einem wasserstofffähigen Netz, wo es nötig ist, den Aufbau von Ladestellen-Infrastrukturen sollten wir in den kommenden Jahren über Kredite finanzieren. Wenn wir nicht verlässlich investieren, verschulden wir uns an der Zukunft. Die sogenannten konsumtiven Ausgaben – für Soziales, Bildung, Forschung und Wissenschaft, müssen durch höhere Einnahmen des Staates mitgedeckt werden.

Sie meinen also: durch Steuererhöhungen.

Zuerst geht es darum, gegen Steuerbetrug und gegen Gewinnverschiebung in Steuersümpfe entschlossen vorzugehen. Wenn das nicht ausreicht, finde ich es richtig und zumutbar, dass Menschen, die wirklich hohe Einkommen haben, mehr zur Finanzierung von Bildung und Gesundheit und Forschung beitragen als heute.

Vermögenssteuer?

Die Vermögenssteuer ist eine Ländersteuer. Das Geld stünde also den Ländern für ihre Ausgaben zur Verfügung, beispielsweise der Bildung. Auf der Bundesebene wird man abwarten müssen, wie sich die Haushaltslage nach Corona entwickelt. Erst dann kann man wirklich einen Vorschlag machen. Wir sollten aber nicht vergessen, dass dem Gemeinwesen Jahr für Jahr Milliardenbeträge durch Steuervermeidung entzogen werden. Hier muss die Bundesregierung viel entschlossener handeln, zum Beispiel durch eine umfassende, auch nationale Anzeigepflicht für Steuergestaltungen. Und durch Steuer-

Robert Habeck, 51, beim Interview mit dem Fraunhofer-Magazin auf dem Platz vor dem Neuen Tor in Berlin.
© Andreas Chudowski



transparenz für internationale Konzerne. Letzteres wird von der Bundesregierung auf europäischer Ebene blockiert.

Was hat ein möglicher Kanzlerkandidat Habeck von Bundeskanzlerin Merkel gelernt?

Sie hat, bei allem, was ich inhaltlich kritisieren könnte, ein klares moralisches Korsett und Rückgrat. Sie war nie korrumpierbar durch Populismus. Die mächtigste Frau der Welt hat immer menschliche Nähe ausgestrahlt. Die Bescheidenheit, die Nahbarkeit und ihre charakterliche Geradlinigkeit sollten ihre Amtszeit überstehen.

Das Amt braucht auch heute moralische Größe?

Die wirklichen Großereignisse für die Politik – Deutsche Einheit, 9/11, Corona-Krise –, die standen in keinem Koalitionsvertrag. Wie man sich darin bewährt, weiß vorher keiner. Aber man muss vorher für sich ein Prinzip gefunden haben, wie man Politik und wie man Gesellschaft denkt – und einen festen Kern, aus dem heraus man Entscheidungen ableitet. ■

»Die wirklichen Großereignisse für die Politik standen in keinem Koalitionsvertrag. Wie man sich darin bewährt, weiß vorher keiner.«

Robert Habeck



2018

Handballfan Habeck bejubelt seine SG Flensburg-Handewitt bei der Deutschen Meisterschaft 2018.
© Instagram



2018

Party! Neben einem explosiven Anton Hofreiter feiert ein etwas introvertierter Robert Habeck den Erfolg bei der Landtagswahl in Bayern. © dpa



2021

Wer gibt den Kanzlerkandidaten? Noch halten die Bundesvorsitzenden Annalena Baerbock und Habeck die Entscheidung offen. © dpa



© istockphoto

Burger mit gutem Gewissen

Am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV basteln Forscher an Lebensmitteln, die wie Fleisch und Fisch aussehen. Und auch so riechen. Und sogar schmecken. Und für die trotzdem kein Tier sterben muss. Text: Beate Strobel

Der Weg zum Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV kann auch als Lehrpfad der menschlichen Ernährung verstanden werden. In dem Dorf Giggenhausen vor Freising weist ein Schild den Weg zum »Fischladen«. Stehen Rinder auf der Wiese und der rollende Stand des »Grill Express« am Straßenrand. Fährt ein Lieferwagen gerade beim Gasthof »Metzgerwirt« vor. Mensch mag Tier. Und besonders gerne auf dem Teller.

Auch in der Versuchsküche des IVV riecht es nach Kurzgebratenem. Mit einer Gabel balanciert Lebensmitteltechnologe Raffael Osen, Leiter der Abteilung Verfahrensentwicklung Lebensmittel, ein heißes Burger-Patty aus der Teflonpfanne, reißt es langsam auseinander und drückt es zwischen Zeigefinger und Daumen leicht zusammen. Auf der rosafarbenen Innenfläche des Patty tritt glänzender Bratensaft aus. »Ich bin jedes Mal wieder begeistert, wie sehr es nach Hackfleisch aussieht«, sagt er zufrieden. »Tolle Sache!«

Der IVV-Burger sieht nicht nur aus wie Hackfleisch. Er riecht auch wie Hackfleisch und verhält sich in der Pfanne ebenso. Und doch ist er

vor allem: Erbse. Und das Ergebnis jahrelanger Forschung am IVV. Hier am Freisinger Stadtrand arbeiten die Fraunhofer-Lebensmitteltechnologien im Rahmen nationaler und internationaler Projekte beziehungsweise im Auftrag externer Unternehmen unter anderem daran, die perfekte Illusion von Fleisch zu kreieren. Und damit ein kleines bisschen die Welt zu retten.

Denn gegen den Verzehr von Steak, Schnitzel und Bratwurst spricht so einiges. Alleine für die Produktion von einem Kilo verzehrfertigem Rindfleisch werden gut 15 000 Liter Wasser benötigt, entstehen etwa 12 Kilogramm des klimaschädlichen Treibhausgases Kohlendioxid. Bei Schweinefleisch und Geflügel fällt der ökologische Fußabdruck zwar mit etwa vier Kilogramm des Treibhausgases kleiner aus – ist aber immer noch um ein Zehnfaches höher als die CO₂-Belastung durch die Produktion von beispielsweise einem Kilogramm Kartoffeln.

Auch der Einsatz von Antibiotika und Hormonen in der Massentierhaltung hat das Lebensmittel Fleisch für viele immer mehr vom Genussprodukt zum Gesundheitsrisiko gewandelt. Die reichlich auf den Feldern verteilte Gülle als Abfallprodukt

der Viehhaltung belastet das Trinkwasser. Die Lebensumstände von Schlachtvieh promovieren mitunter den Bolzenschuss zum Gnadenakt. Jüngste Berichte aus der Fleischindustrie haben zudem gezeigt, dass die Arbeitsbedingungen der Angestellten zwischen miserabel und rechtswidrig changieren können.

Der Geist ist willig, aber das Fleisch ist saftiger

All das weiß der aufgeklärte Konsument. Trotzdem prognostizieren die Experten des US-amerikanischen Landwirtschaftsministeriums (USDA) für 2020 eine Jahresproduktion von 256,4 Millionen Tonnen Fleisch. Denn der Geist ist willig – das Fleisch aber ist saftiger. Und während der Verstand noch die Fakten auflistet, hat der Bauch bereits bestellt: »Für mich das Rumpsteak bitte, medium rare.« Der innere Schweinehund als der leider treueste Freund des Menschen ist eben ein Carnivor. Um tatsächlich etwas ökologisch und gesellschaftlich zu verändern, haben die Lebensmittelexperten im Fraunhofer IVV deshalb nicht die Gruppe der Vegetarier und Veganer im Visier. Sondern diejenigen Esser, bei denen Gemüse bestenfalls als Beilage durchgeht. Und erst durch



59,5 Kilogramm Fleisch konsumierten die Deutschen pro Kopf im Jahr 2019. Mehr als die Hälfte davon ist Schweinefleisch. Danach folgen Geflügel mit 13,8 und Rindfleisch mit etwa zehn Kilogramm.

ein Stück Fleisch zur kompletten Mahlzeit wird. Den Versuch, den eingefleischten Fleischessern das Steak wegzunehmen und es schlicht durch einen Grünkern-Bratling zu ersetzen, darf man getrost als gescheitert erklären.

»Unser Ziel ist, pflanzliche Fleischalternativen zu entwickeln, die auch für Nicht-Vegetarier echte Alternativen sind«, sagt Christian Zacherl, Lebensmitteltechnologe und Geschäftsfeldmanager Lebensmittel beim Fraunhofer IVV. Fleischalternativen also, die nicht nur den Kopf überzeugen, sondern auch den Bauch. Sodass der viel diskutierte Veggie-Tag irgendwann keine Drohung mehr ist, sondern eine gute Idee.

Das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung ist einer der Vorreiter auf diesem Gebiet, geforscht wird hier schon seit mehr als zehn Jahren an den pflanzlichen Fleischalternativen. Nun haben sie auch den Zeitgeist auf ihrer Seite. Genuss mit gutem Gewissen: Der Verbraucher ist auf den Geschmack gekommen. Die Rügenwalder Mühle, Wurstfabrikant seit 1834, hat ein eigenes vegetarisches und veganes Sortiment auf den Markt gebracht. In den Tiefkühlkisten der Discounter liegen vegane Burger-Pattys, meist fabriziert auf Basis pflanzlicher Proteine aus der Sojabohne. Und selbst Fastfood-König Burger King wirbt mit »plant-based Produkten« wie den Chicken Nuggets, die ebenfalls auf Soja-Proteinen basieren und laut Eigenwerbung sogar fleischfressende Pflanzen zum Zubeißen verführen.

Das Fraunhofer IVV dagegen setzt auf die Erbse. »Das ist dem Nachhaltigkeitsaspekt geschuldet«, erklärt Raffael Osen: »Erbsen sind – im Gegensatz etwa zu Soja – traditionell ein Bestandteil der deutschen Küche und regional in ausreichender Menge verfügbar.« Die Proteinge-

winnung schließt sich an die Produktion der Erbsenstärke an: Auch das ein Pluspunkt in Sachen ganzheitlicher Rohstoffnutzung und Nachhaltigkeit. Hinzu kommt, dass Soja – ebenso wie Weizen – ein gewisses Allergenpotenzial mitbringt und deshalb nicht von allen Menschen gleich gut vertragen wird. Aber auch mit Rohstoffen wie Kichererbsen, Linsen, Ackerbohnen oder Lupinen wird am Fraunhofer IVV experimentiert.

Echtes Fleisch ist ein multisensorischer Genuss. Und so müssen sich die pflanzliche Fleischalternativen in mehrfacher Hinsicht in Imitation üben. Nicht nur der Geschmack muss stimmen, sondern auch die Optik und der Geruch: Wer ein fleischloses Pflanzlerl in das heiße Fett legt, will die typischen Röstaromen riechen. Vor allem aber auf das berühmte Mundgefühl kommt es an: Was wie Fleisch aussieht und riecht, muss auch den gewissen Biss haben. Den wichtigsten Schub hierfür lieferte die Extrusionstechnologie, also die Bearbeitung pflanzlicher Proteine in einer Verdichtungsschnecke mit Druck und Hitze. Während trockenextrudierte Proteintexturate eine härtere, poröse Struktur besitzen, entwickeln Nassextrudate eine erfreulich muskelfaserähnliche Textur. Und sind dann – je nach Farb- und Geschmackszugabe – kaum noch von Geflügel, Schweine- oder Rindfleisch zu unterscheiden.

Rote Bete macht das Blut-Gefühl

Der IVV-Burger, den Zacherl – selbst die meiste Zeit Vegetarier – in der Küche mit Stolz serviert, enthält Rapsöl und Kokosfett anstelle tierischer Fette, was auch den Anteil gesättigter Fettsäuren und Cholesterin senkt. Für den Zusammenhalt kommt das Verdickungsmittel Methylcellulose zum Einsatz, das die bindende Funktion des Muskeleiweißes im fleischlichen

Burger übernimmt. Rote-Bete-Extrakt bewirkt die blutähnliche Farbkomponente. Wichtigste Zutat des pflanzlichen Burgers aber ist die Erbse beziehungsweise das trockenextrudierte Proteintexturat dieser Hülsenfrucht. In mehreren Schritten aus der Erbse gewonnen, wird es mittels Extrusionstechnologie in ein bröseliges Trockenextrudat verwandelt. Mit Wasser versetzt und mit den genannten Zutaten vermischt ergibt es ein ziemlich leckeres Burger-Patty.

Täuschend echt oder eine Täuschung?

Zacherl verzieht das Gesicht bei dem Ausdruck, schließlich sind die Nicht-Fleischprodukte stets gekennzeichnet, »wir arbeiten mit offenem Visier«. Und doch hängen sich die Lebensmittelkonstrukteure wie kulinarische Trittbrettfahrer an jene Produkte, die seit Langem auf den Speisekarten der Kulturen stehen: Döner. Gyros. Schnitzel. Bratwurst. Man müsse eben, erklärt Christian Zacherl, den Verbraucher dort abholen, wo er steht – oder besser: am Tisch sitzt. Also bei den Speisen, die er gewohnt ist und auf die er bereits Appetit hat. Und mit denen er in der Küche etwas anfangen kann. Deshalb sind auch alle von den Experten des Fraunhofer IVV entwickelten pflanzlichen Alternativen in der Verarbeitungsweise möglichst dicht am Original. Und warum das Brät in eine neue Form pressen, wenn sich die runde Würstchen-Variante seit Jahrhunderten in der Pfanne, auf dem Teller und im Brötchen bewährt hat?

Ein besonderes Augenmerk richten die IVV-Lebensmittelfinder derzeit auf die sekundären Pflanzenstoffe, die ursprünglich bei der Proteingewinnung aus dem Rohstoff aussortiert wurden: Inwiefern können die positiven Eigenschaften dieser Bestandteile – beispielsweise antientzündlich, cholesterinsenkend, antibakteriell – das pflanzliche Endprodukt aufwerten? Und so das ►

55 Prozent der Bundesbürger stufen sich als »Flexitarier« ein – sie essen Fleisch, verzichten aber gelegentlich bewusst darauf. Weitere Ergebnisse des Ernährungsreports 2020: »Gut schmecken« soll das Essen (98 Prozent) und »gesund sein« (90 Prozent).



Man nehme: die Rohstoffe Sonnenblumenkerne, Lupinen und Erbsen (untere Reihe), extrudiere sie, um dann aus dem rehydrierten TVP (Textured Vegetable Protein) ein Burger-Patty zu formen. Der gebratene Burger präsentiert sich appetitlich auf dem Teller oben.
© Fraunhofer IVV



► Veggie-Hack oder die Veggie-Bratwurst nicht nur ökologisch besser, sondern auch noch gesünder machen als das fleischliche Vergnügen?

Die nichtfleischlichen Erfindungen des IVV sollen möglichst viele Menschen in der Küche, auf dem Teller und im Mund überzeugen. 2015 wurde deshalb in Bamberg – auch mit personeller Unterstützung aus dem Fraunhofer IVV – die amidori Food Company gegründet. Deren Produkte – etwa Veggie Cevapcici, Veggie Hacksteak, Veggie Burger – basieren auf Fraunhofer-Patenten und stehen nun unter anderem im Kühlregal der Supermarktkette Rewe. Das Hack aus Champignon, Erbsen- und Weizenprotein bringt es auf 211 Kilokalorien pro 100 Gramm bei einem Fettgehalt von 12 Prozent sowie 18 Prozent Eiweiß. Und muss sich damit nicht hinter seinem fleischlichen Cousin namens »gemischtes Hack« (234 Kalorien, 18 Prozent Fettgehalt, 18 Prozent Eiweiß) verstecken.

Pflanzlicher Fisch und Shrimps vom Acker? »Bald!«

Die Produktpalette soll weiterwachsen, nachdem der Verbraucher nun langsam kulinarisch mutiger geworden ist. Pflanzlicher Fisch? »Da sind wir bereits dran«, sagt Raffael Osen, auch wenn die Bandbreite bei Fischfleisch deutlich größer ist als beim Säugetier. Zwischen Lachs und Hering liegen geschmacklich wie optisch Welten. Doch angesichts der Überfischung der Meere und der Schwermetalle oder auch des Mikroplastiks im Fisch ist es eine gute Nachricht, dass die ersten pflanzlichen Fischstäbchen bereits im Handel erhältlich sind. Shrimps vom Acker? »Bald«, verspricht Osen. Aktuell forschen er und sein Team im Rahmen des EU-Projektes »Smart Protein« an Meeresfrüchten auf pflanzlicher Basis.

Ob sich die Forschung bei der Entwicklung von Pflanzen-Fleisch noch in der Steinzeit befindet oder aber die aktuell erhältlichen Produkte heute so etwas sind wie das iPhone der ersten Generation, darüber sind sich die Kollegen Christian Zacherl und Raffael Osen nicht ganz einig. Der Verzehr von Fleisch allerdings hat auch eine jahrhundertelange Tradition, so etwas lässt sich nicht von heute auf morgen verändern. »Wir setzen auf die Taktik der kleinen Schritte«, sagt Zacherl. Zugleich hat die Entwicklung der Lebensmittelmimikry auf dem Teller bereits eine ziemliche Distanz hingelegt. Beim Verlassen des Fraunhofer IVV-Gebäudes ertappt man sich dabei, eine nichtfleischliche Burger-Faser aus den Zähnen zu entfernen. Geht es noch authentischer? ■

Neues Kleid aus alter Jeans

Baumwolle recyceln – das war technisch bislang nicht möglich. Einem Forscherteam des Fraunhofer IAP ist es erstmals gelungen, daraus ein Viskose-Filamentgarn herzustellen.

Text: Britta Widmann

Baumwoll-Kleidung wird in der Regel verbrannt, zu Putzlappen verarbeitet oder sie landet auf der Deponie. »Künftig kann sie mehrfach wiederverwertet werden. Aus gebrauchten Hemden, Hosen und Röcken können neue hergestellt werden«, sagt Dr. André Lehmann, Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Potsdam. Im Auftrag des schwedischen Unternehmens re:newcell ist es dem Chemiker und seinem Team gelungen, Zellstoff aus recycelter Baumwolle zu Viskosefasern aus reiner Cellulose weiterzuverarbeiten – ein Schritt zu mehr Nachhaltigkeit in der Mode.

Mischgewebe trennen – ein Ding der Unmöglichkeit

Zwar werden Altkleider hierzulande wiederverwertet – allerdings zu minderwertigen Produkten wie Reinigungstüchern, nicht zu neuen Kleidungsstücken. Der Grund: Hosen, Hemden und Co. sind selten sortenrein. Das Mischgewebe aus miteinander verwobenen Fasern zu trennen, ist bislang nicht möglich gewesen.

Üblicherweise wird Zellstoff von der Textilindustrie als Ausgangsmaterial verwendet, um daraus Cellulose regeneratfasern wie Viskose, Modal oder Lyocell herzustellen. Der Zellstoff wird in der Regel aus Holz gewonnen. »Wir haben von re:newcell jedoch Zellstoffplatten aus recycelter Baumwolle erhalten und sollten prüfen, ob sie sich zu Viskosefasern weiterverarbeiten lassen. Durch Einstellen der richtigen Parameter sowohl im Lösungs- als auch im Spinnprozess, sowie durch effektive Filtrationsstufen, konnten wir die im Zellstoff enthaltenen Fremdfasern herauslösen«, erklärt der Forscher. Das Ergebnis: ein Filamentgarn, also eine mehrere Kilometer lange Endlosfaser, das zu 100 Prozent aus Cellulose besteht und qualitativ vergleichbar ist mit holzbasierten Cellulose regeneratfasern.

Aus dem Baumwoll-Zellstoff konnten im Spinnverfahren neue Fasern hergestellt werden, die sich für die Massenfertigung im industriell etablierten Viskoseprozess eignen. »Wir konnten den hohen Anspruch von re:newcell an die Reinheit der neuen Faser erfüllen«, sagt Lehmann. Das war keine leichte Aufgabe, denn das Viskoseverfahren ist komplex: Zunächst muss der Zellstoff mit Lauge aktiviert und anschließend chemisch derivatisiert werden. Auf diese Weise erhält man eine hochreine alkalische Viskose-Lösung, die mittels Spinnköpfe, die mehrere tausend Spinnlöcher mit Durchmessern von 55 Mikrometern aufweisen, in ein saures Spinnbad ausgesponnen wird. Aus den sich jeweils zu Tausenden bildenden Flüssigkeitsfädchen der polymeren Lösung regeneriert sich die derivatisierte Cellulose und fällt kontinuierlich in Fadenform im Spinnbad aus.

Umweltfreundliche Cellulose

Im weiteren Prozess wird die chemische Derivatisierung beständig rückgängig gemacht und der Faden weitergewaschen, bevor man ihn getrocknet aufspult. Er besteht dann aus reiner Cellulose. Damit ist er umweltfreundlich, denn Cellulose verrottet und trägt nicht zu den Bergen an Mikroplastik bei, die die Weltmeere verschmutzen. Ein großer Vorteil gegenüber erdöl-basierten Polyesterfasern, die noch mit einem Anteil von rund 60 Prozent den Weltmarkt dominieren. ■

»Wir konnten den hohen
Anspruch an die Reinheit
der neuen Faser erfüllen.«

Dr. André Lehmann, Abteilungsleiter
Fasertechnologie am Fraunhofer IAP

Das neue Garn kam bereits bei der diesjährigen H&M Conscious Exclusive Sommerkollektion zum Einsatz.
© H&M



»Alles, was in unseren Haushalten hängt, steht, liegt und vernetzt ist, kann über den Router erreicht werden.«

Johannes vom Dorp,
wissenschaftlicher
Mitarbeiter am
Fraunhofer FKIE



My Smart Home is my Castle

Die Heizung aus der Ferne regeln oder während des Einkaufs per App einen Blick in den Kühlschrank werfen – smarte Technologie soll das Zuhause komfortabler machen. Ohne Risiko ist das nicht.

Text: Sabine Spinnacker

Früher boten Wehrtürme
und schwere Tore Schutz vor
Angreifern, heute verschaf-
fen sich Cyber-Kriminelle
leicht über Home Router
Zutritt. © *unsplash*

My home is my castle« – dieser bekannte Ausspruch des englischen Juristen Sir Edward Coke beschreibt das zutiefst menschliche Bedürfnis nach Schutz und Sicherheit innerhalb der eigenen vier Wände. Zu Cokes Lebzeiten vor rund 400 Jahren reichten noch Schlösser an Tor und Fenster, um die Bewohner vor Eindringlingen zu schützen. Heute ergänzt das Heer der konventionellen Einbrecher eine Masse schwer greifbarer Cyber-Krimineller. Als Einfallstor in privates Eigentum dient ihnen ein unscheinbares Gerät: »Home Router sind ein beliebtes und häufiges Angriffsziel«, mahnt Johannes vom Dorp, Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE. Seit fünf Jahren beschäftigt er sich dort intensiv mit Security-Fragen.

»Alles was in unseren Haushalten hängt, steht, liegt und vernetzt ist, kann über den Router erreicht werden«, so vom Dorp. In Gegenwart der Bewohner könne der infizierte Saugroboter Bilder des heimischen Wohnzimmers an Kriminelle schicken, die Spielekonsole der Kinder, der PC oder Fernseher an einem Erpressungsversuch beteiligt sein. »Eine große Gefahr liegt zudem in einem Missbrauch des Routers als Teil eines Bot-Netzes«, ergänzt Adil Aden vom Referat Sicherheit im Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). Der Nutzer selbst merke davon in den seltensten Fällen etwas. Durch das Kapern und den Zusammenschluss von Hunderten oder Tausenden Routern und Smart Devices zu Bot-Netzen können DDoS-Angriffe gestartet werden. Bis zu 110 000 Bot-Infektionen deutscher Systeme registriert das BSI täglich. Fast jeder Vierte (24 Prozent) war bereits Opfer von Cyber-Kriminellen, ergab eine Umfrage des BSI im Jahr 2019.

Alle getesteten Geräte haben Sicherheitsmängel

Vor diesem Hintergrund ist es wenig erstaunlich, dass die Ergebnisse des Home Router Security Report 2020 des Fraunhofer FKIE hohe Wellen schlugen und zahlreiche Medien darüber berichteten. Denn die Tests am Fraunhofer FKIE

zeigten: Die Firmware von allen überprüften 127 Modellen weist fast durchgängig erhebliche Sicherheitsmängel auf.

Firmware ist, im Gegensatz zu einer App oder Software, die der Nutzer kauft und nachträglich installiert, fest an die jeweilige Hardware gebunden. Ohne Firmware weiß die Waschmaschine nicht, welcher Waschgang gewählt wurde; der Staubsauger nicht, wann er entleert werden muss, oder die smarte Glühbirne nicht, wie hell sie leuchten soll. Und natürlich ist Firmware auch die Betriebssoftware jedes Home Routers. Um diese auf Sicherheitslücken hin untersuchen zu können, hat das Fraunhofer FKIE das Werkzeug FACT entwickelt. Es soll die Sicherheitslage für Hersteller und Nutzer transparenter und die Probleme leichter behebbar machen.

»Mit FACT kann man Firmware automatisiert auf einfache Art untersuchen«, sagt vom Dorp. Entsprechende Tools existierten bis dato nicht, obwohl die Anzahl an internetfähigen Geräten seit Jahren rasant wächst. Aktuell sind es laut Statista mehr als 20 Milliarden vernetzte Geräte, fast zwei Drittel davon im Besitz von Privatpersonen.

Als Erstes entpackt FACT die Firmware. Da sie aus unterschiedlich vielen Bestandteilen besteht, die verschieden gruppiert und verpackt sind, ist das nicht ganz trivial. »In dem äußeren Container können sich zwischen 20 000 und 30 000 Dateien befinden«, weiß vom Dorp. Zu den Dateien gehören das Betriebssystem, Treiber, Funktionsbausteine ebenso wie eigenständige Programme, etwa ein Webserver. Je nach Modell und Gerät variieren Inhalt und Struktur. Hinzu kommt: Container ist nicht gleich Container. Jeder Hersteller gestaltet den äußeren Container anders, abhängig von der vorgesehenen Installationsroutine beispielsweise. »Da gibt es viele kreative Wege«, so vom Dorp. Der Extraktionsprozess ist ein anspruchsvolles Unterfangen, das von den FACT-Programmierern regelmäßig an neue Dateitypen und Hersteller angepasst werden muss.

Ist die Firmware erst einmal entpackt, geht es an die Bestandsaufnahme: »Da gibt es kleine eigenständige Programme für das Verschieben, Kopieren, Löschen von Dateien, Konfigurationsdateien, hinterlegte IP-Adressen, URLs, Prozessorarchitekturen, Passwörter und kryptografische Schlüssel«, zählt vom Dorp auf.

Abgleich mit bekannten Sicherheitslücken

Erst nach der Bestandsaufnahme kann die eigentliche Analyse starten. Dazu vergleicht das Tool unter anderem alle in der Open-Source-Datenbank CVE hinterlegten Sicherheitslücken mit dem vorhandenen Material. CVE steht für »Common Vulnerabilities and Exposures« und ist eine Sammlung öffentlich bekannter Sicherheitslücken. Die Datenbank existiert seit 1999 und wird von Hackern wie Entwicklern und Institutionen gleichermaßen genutzt. Nach dem Abgleich mit den CVE erscheint eine Übersicht aller gefundenen Schwachstellen der vorliegenden Firmware. Allerdings muss sich nicht jede Sicherheitslücke auf jedem Gerät wiederfinden. Je nach tatsächlich installierter Variante einer Software kann das Ergebnis abweichen.

Am besten schnitten im Test die weit verbreiteten Router der AVM GmbH ab. Hier sorgen regelmäßige Updates für die Schließung von vielen, jedoch nicht von allen Sicherheitslücken. Andere Hersteller warten oft jahrelang mit der Aktualisierung ihrer Software – ein sträfliches Versäumnis, weil das zu 90 Prozent genutzte Betriebssystem Linux permanent Updates bereitstellt, wie vom Dorp betont.

Um die Geräte in Zukunft sicherer zu machen, rät das BSI Herstellern, schon bei der Entwicklung die technische Richtlinie »Secure Broadband Router« zurate zu ziehen. Sie beschreibt die aktuellen Sicherheitsanforderungen und wird vom Fraunhofer FKIE, das eng mit dem BSI zusammenarbeitet, für die Weiterentwicklung von FACT verwendet. So könnten Smart Homes künftig tatsächlich sicher wie eine Burg werden. ■

Arbeit
2020:
Alles
ist
anders.





Die 20-jährige, türkische Ballerina Lagun Sengelen bleibt im Corona-bedingten Lockdown diszipliniert. Während des täglichen Online-Trainings wird ihr Haus zum Tanzstudio – Kommoden und Stühle müssen als Ballettstangen herhalten.

Ballettoffice

© dpa



Hoteloffice

Pratap Pillai, Geschäftsmann aus Indien, arbeitet an seinem Laptop in einem Zimmer des Hotels Europäischer Hof in Hamburg. Der Schiffsmanager aus Indien war wegen der Reiseverbote infolge der Corona-Pandemie zwei Monate in dem Hotel gestrandet. Zeitweise war er der einzige Gast.



90 Prozent der befragten Führungskräfte gaben an, dass die Heimarbeit für ihre Unternehmen keine Nachteile gehabt habe.

Studie »Arbeiten in der Corona-Pandemie«, Fraunhofer IAO

© istockphoto

Musikoffice

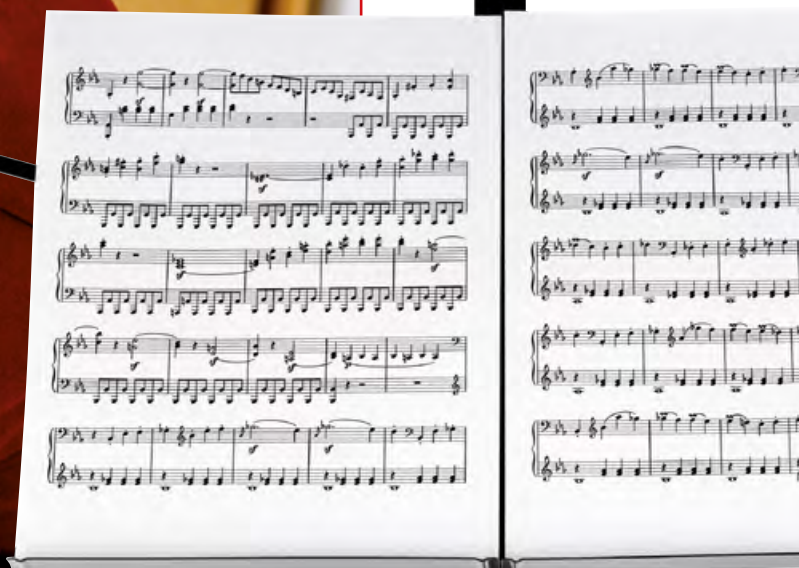
Bratschenlehrer Felix Schreer aus Karlsruhe bei seiner Arbeit im Homeoffice. Die korrekte Bogenführung demonstrieren geht auch online und ohne Instrument.





»Die Corona-Krise hat die Digitalisierung unserer Zusammenarbeit um mindestens 15 Jahre nach vorne gebracht.«

Dr. Stefan Rief, Leiter
Forschungsbereich Organisations-
entwicklung und Arbeitsgestaltung,
Fraunhofer IAO



© istockphoto

Homeoffice

Es gibt kein Zurück

Deutschland kann Homeoffice. Damit die erfolgreich improvisierte Gegenwart in eine solide Zukunft mündet, ist professionelle Unterstützung gefordert.

Text: Dr. Sonja Endres

82 Prozent der Umfrageteilnehmer sind mit der Arbeit im Homeoffice zufrieden, ermittelte die Studie des Fraunhofer FIT.

Das Homeoffice kam schnell über Deutschland, gründlich – und mit überraschend gutem Erfolg. Das zeigen erste Ergebnisse einer Umfrage des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT, die Anfang April startete und zurzeit noch läuft. Mehr Flexibilität und Selbstbestimmung, bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie, keine langen Anfahrtswege, eine bessere Konzentrations- und höhere Leistungsfähigkeit – das sind überzeugende Argumente für die Arbeit zu Hause. Auf einer Skala von eins bis sechs, wobei sechs der beste Wert ist, lag die Zufriedenheit anfangs durchschnittlich bei 4,3 und stieg nach zehn Wochen auf rund 5,0 an. »Eine Rolle spielte sicher, dass sich die Beschäftigten an die neuen Abläufe, technischen Werkzeuge und Kommunikationskanäle gewöhnt haben«, ist Prof. Wolfgang Prinz überzeugt. Der stellvertretende Institutsleiter des Fraunhofer FIT vermutet zudem einen weiteren Zusammenhang: »Zu der Zeit wurde der Schulbetrieb schrittweise wieder hochgefahren.«

Corona krepelte die Arbeitswelt in Rekordgeschwindigkeit um

Vor der Corona-Krise war Homeoffice für die allermeisten Unternehmen eine Vergünstigung, die ähnlich gehandhabt wurde wie das Sabbatjahr, der Zuschuss zum Fitnessstudio oder der Dienstwagen – kann man drauflegen, macht man aber nicht so gern. Mitte März schickten Unternehmen wegen des Virus ihre Mitarbeiter in Scharen ins Homeoffice und krepelten so die Arbeitswelt gehörig um. VPN-Verbindung, Videokonferenzen und Chats bestimmen seither den Büroalltag zu Hause – spannende Zeiten für Arbeitswissenschaftler.

»Wir befinden uns mitten in einem großflächigen Experiment der Digitalisierung von Arbeit und Kooperation, dessen Veränderungsgeschwindigkeit bis vor Kurzem noch undenkbar erschien«, sagt Dr. Josephine Hofmann begeistert. Sie leitet das Team »Zusammenarbeit und Führung« am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart. Gemeinsam mit der Deutschen Gesellschaft für Personalführung befragten die Forscherinnen und Forscher Entscheider

aus knapp 500 Unternehmen in der ganzen Republik nach ihren Erfahrungen mit der Arbeit auf Distanz und ihren Plänen für die Zukunft.

Während des Lockdowns waren 70 Prozent der Mitarbeitenden komplett im Homeoffice, 21 Prozent wenigstens zur Hälfte. Zum Umfragezeitpunkt im Mai hatten bereits 42 Prozent der Firmen entschieden: Die Möglichkeiten, von zu Hause aus zu arbeiten, sollen nach der Corona-Krise ausgeweitet werden. Ein ebenso großer Anteil war noch unentschlossen. Zurück zu weniger Homeoffice wollte kaum jemand.

»Es ist schon unglaublich, was die Unternehmen und ihre Mitarbeitenden in so kurzer Zeit auf die Beine gestellt haben, und sie sind zu Recht stolz darauf. Dass die Umstellung auf virtuelles Arbeiten in diesem Umfang ohne gravierende Einbrüche überhaupt möglich ist, hat alle überrascht«, so Hofmann. Jahrelang konnten viele Chefs dem Homeoffice nur wenig abgewinnen. Sie befürchteten technische Probleme, einen Rückgang der Produktivität und Kontrollverlust. Jetzt gab rund die Hälfte der Führungskräfte an, Vorbehalte abgebaut zu haben. Neun von zehn sind überzeugt, dass Homeoffice in Zukunft in größerem Umfang realisiert werden kann, ohne dass daraus Nachteile für das Unternehmen entstehen – ganz im Gegenteil. »Jetzt ist es an der Zeit, die aus der Not geborene neue Arbeitswelt zu gestalten«, appelliert Hofmann. Viele Unternehmen suchen dafür professionelle Unterstützung, Hofmann und ihr Team vom Fraunhofer IAO sind begehrt: »Wir können uns vor Anfragen gerade kaum noch retten.«

Den Ausnahmezustand bestmöglich nutzen

Die Forscherinnen und Forscher beginnen mit einer Bestandsaufnahme. Was hat gut geklappt, wo gibt es noch Nachholbedarf? Hofmann betont: »Die Lernerfahrungen der vergangenen Monate sind zu wertvoll, um nicht systematisch genutzt zu werden.«

Auch die Wachsfiguren von Madame Tussauds in Berlin sind im Homeoffice: Statt in der normalen Ausstellung werden George Clooney und Co. in einer möglichen Quarantäne-Situation zu Hause präsentiert. © dpa

Die Umfrage zeigt, dass die Technik von Anfang an meistens gut funktioniert hat. Technische Voraussetzungen für mobiles Arbeiten wie VPN-Zugänge und eine gemeinsame Dokumentenablage waren bei vielen Unternehmen schon vor der Krise vorhanden. Schulungsbedarf gibt es vor allem bei Führung auf Distanz, aber auch bei Selbstmanagement, Medien- oder Kommunikationskompetenz. »Häufig beruht das Führungs- und Kommunikationsverhalten auf unmittelbarer Nähe. Das fällt jetzt natürlich weg. Da muss man öfter telefonisch Rücksprache nehmen, um mitzukriegen, wie es den Mitarbeitenden geht und wo sie Schwierigkeiten haben«, empfiehlt Hofmann. Das Gelingen der neuen Arbeitssituation sei allerdings auch nicht allein Aufgabe von Führungskräften, sondern müsse vom gesamten Team mitgetragen werden. »Jeder kriegt etwas, aber jeder muss auch etwas dafür tun, damit es funktioniert. Das erfordert von allen ein gewisses Maß an Disziplin, Rücksicht und Kompromissfähigkeit.«

Was fast alle im Homeoffice vermissen, ist der persönliche, informelle Austausch mit den Kolleginnen und Kollegen. »Das Gespräch über private Themen ist wichtig, weil es viel zum sozialen Kitt und einem guten Miteinander im Team beiträgt.« Um in Kontakt zu bleiben, bilden sich Chat-Gruppen, viele treffen sich regelmäßig zum gemeinsamen Kaffeeklatsch oder Mittagessen per Videoschleife.

Auf der Strecke bleibt dabei die Spontanität. »Soziale Kommunikation wird getriggert. Ich laufe beispielsweise einen Flur entlang und höre, wie in einem Büro einige Kollegen lachen. Da frag ich natürlich nach, was los ist«, sagt Prof. Wolfgang Prinz. Er und sein Team am Fraunhofer FIT denken bereits darüber nach, wie man bestehende Kooperationssysteme wie Microsoft Teams so ergänzen könnte, dass es mehr Kommunikationsanreize gibt. »Das könnten beispielsweise tägliche Situationsberichte sein, die Aufschluss darüber geben, was in meiner digitalen Kooperationsumgebung passiert und womit sich meine Kollegen gerade beschäftigen«, erklärt Prinz.

Hofmann ist sich außerdem sicher: »Die Zeiten, die man in Zukunft tatsächlich im Büro verbringt, werden anders genutzt werden. Wir glauben, dass die neuen hybriden, flexiblen Arbeitswelten eine aktivitätsbasierte Arbeitsplatzgestaltung notwendig machen.« Feste Arbeitsplätze gehören demnach weitgehend der Vergangenheit an. Stattdessen sollen Büros mehr Raum für Begegnung, Kommunikation, Kreativität und Abstimmung bieten, aber auch Rückzugsmöglichkeiten, um in Ruhe telefonieren oder zu zweit ein vertrauliches Gespräch



führen zu können. Dabei ist wichtig, dass man bei Bedarf schnell und flexibel auf Räume zugreifen kann und sie nicht etwa fünf Wochen vorher reservieren muss.

Auf dem Markt für Gewerbeimmobilien wird sich einiges tun

Nicht nur die Büros müssen im »Neuen Normal« umgestaltet werden: Auch die Arbeitsplätze zu Hause brauchen ein Uptuning. Ergonomische Stühle und Schreibtische oder ein zweiter, größerer Bildschirm fehlen bisher bei vielen, von den Räumlichkeiten ganz zu schweigen. Hier muss die Anschaffungsverantwortung und Finanzierung geklärt werden. Auf der anderen Seite können Unternehmen durch die ausgeweitete Heimarbeit Bürofläche einsparen und damit erhebliche Kosten. »Auf dem Markt der Gewerbeimmobilien wird sich einiges tun«, sagt Hofmann. Sie warnt Unternehmen allerdings davor, vorschnell den Rotstift anzusetzen: »Die Rechnung, 50 Prozent der Leute arbeiten daheim, deswegen mieten wir 50 Prozent weniger Fläche, wird nicht aufgehen.«

Trotz aller offenen Fragen und anfänglichen Schwierigkeiten: Die neue Arbeitswelt bietet für Arbeitnehmer und Arbeitgeber viel Potenzial. Die digitalen Kooperationstools lassen räumliche Grenzen zurücktreten und bringen zum Beispiel Kollegen aus anderen Niederlassungen oder dem Ausland näher. Gemeinsame Dokumentenablage und -bearbeitung, Videokonferenzen einfach per Mausclick starten – das alles gibt einen unglaublichen Push und ermöglicht eine engmaschige, gute Kommunikation«, ist Hofmann überzeugt. Die ist auch wichtig, damit es funktionieren kann. Denn ein Zurück zur alten Präsenzkultur wird es nach der Corona-Krise in deutschen Büros nicht geben. ■

Vor der Corona-Krise gab es in 54 Prozent der Unternehmen keine oder nur wenige Mitarbeitende, die vom Homeoffice Gebrauch machen durften.

Studie »Arbeiten in der Corona-Pandemie«, Fraunhofer IAO

Energie in Eis

Fast ein Fünftel des Stromverbrauchs fließt in die Kälteerzeugung. Die ist aber nicht nur ein Stromfresser, sondern kann auch für die Stromspeicherung genutzt werden. Fraunhofer-Forschende legen mit flexiblem Netzmanagement, natürlichen Kältemitteln und effizienter Kältetechnik die Grundlagen für eine klimafreundlichere Zukunft.

Text: Sabine Spinnarke

Nordfrost Lager in Fürth.
© Harry Köster



Es sind 22 Grad minus. Dick verummumt in wattierten Jacken, Wollmützen auf dem Kopf, manövrieren Mitarbeiter der Logistikfirma Nordfrost ihre Gabelstapler zwischen Hochregalen des 9000 Quadratmeter großen Tiefkühlagers hin und her. In wenigen Minuten wachsen die Stapel mit Tiefkühlkost, bereit für den Versand an Supermärkte, Großhändler oder Gastronomen. Gegen die sommerlich warme Außentemperatur kühlen drei Kältemaschinen an. Gespeist werden sie von zwei Blockheizkraftwerken. 1100 Kilowatt erzeugen die beiden Aggregate stündlich.

»Rund 18 Prozent des Gesamtstromverbrauchs fließen in die Kälteerzeugung.

Größter Nutzer ist die Nahrungsmittelindustrie, gefolgt vom Gebäudesektor«, erklärt Dr. Lena Schnabel vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Doch Kältetechnik kann mehr als nur kühlen: Sie hat das Potenzial, eine wichtige Rolle im dezentralen Lastmanagement intelligenter Stromnetze zu spielen: »Mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien muss das Stromnetz flexibler werden. Schließlich schwanken die eingespeisten Energiemengen je nach Wind- und Sonnenschein deutlich. Überschüssige Energie sollte also sofort genutzt oder gespeichert werden. Warum nicht von Kältemaschinen oder in Kältespeichern?«, sagt Dr. Clemens Pollerberg, Gruppenleiter Thermische Speicher am Fraunhofer-Institut für Um-

welt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Die Forschenden am Fraunhofer UMSICHT starteten im Mai 2019 unter dem Namen FlexKaelte ein Projekt, das untersucht, welchen Beitrag die Kälteversorgung zur Transformation der Energiesysteme leisten könnte. »Power-to-heat gibt es schon. Power-to-cool ist neu und hat einen besonderen Charme«, meint Pollerberg. Punktuell gebe es Studien und einzelne, zumeist größere Unternehmen, die ihren Kältebedarf bereits flexibel regeln, um Netzentgelte zu sparen – aber eben nicht in der Breite.

In der ersten Projektstufe von FlexKaelte wird der vorhandene Bestand erfasst. »Welche Art von Anwendungen sind vorhanden und wie ist der Kältebedarf genau beschaffen?«, fragen die Forschenden in ihrer Metastudie. Anschließend will das Fraunhofer UMSICHT an zehn Standorten Messstationen errichten, um die tatsächlichen Lastgänge zu erfassen. Nur wenn diese verstanden sind, kann das UMSICHT-Team synthetische Lastgänge entwickeln sowie mit mathematischen Optimierungsmodellen untersuchen, welches Potenzial für eine Lastverschiebung vorliegt und wie diese am besten realisiert werden kann.

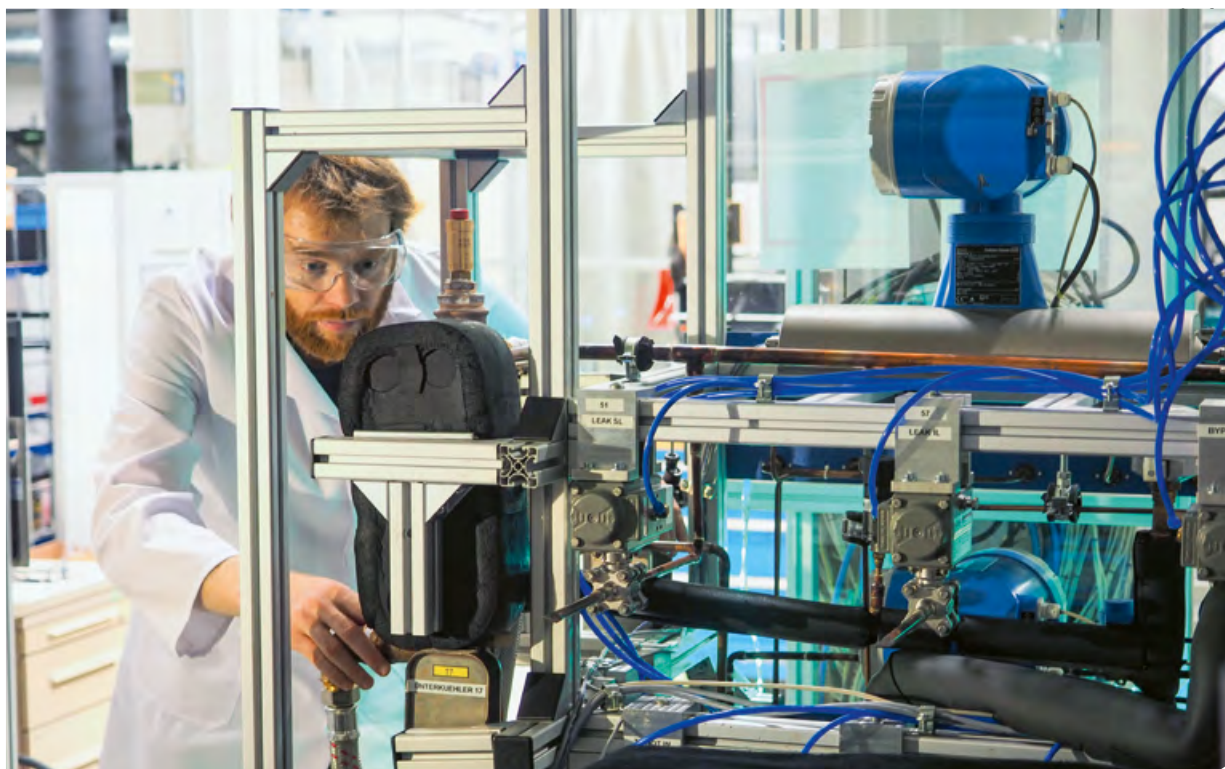
Im September veranstaltete das Fraunhofer UMSICHT dazu einen Workshop. Vertreter der Kältetechnik-Branche stellten ihre Anwendungen vor und diskutierten verschiedene Szenarien, die zu einem flexiblen Lastmanagement beitragen könnten. Drei davon kristallisierten

sich als geeignet heraus: Zum einen könnte man Energie in Form von Kälte in Kältespeichern, bspw. Kaltwasser-, Eis- oder PCM-Speichern zwischenspeichern. PCM-Speicher nutzen die Eigenschaften von Phasenwechselmaterialien und haben eine hohe Speicherdichte. In der Industrie und im Gebäudesektor finden sich schon Anwendungsbeispiele dafür.

Netze werden flexibler

Zum anderen könnten bereits vorhandene Speichermöglichkeit, wie etwa Kühlhäuser oder eventuell sogar die Kühlschränke in privaten Haushalten, zur Flexibilisierung in das Netz eingebunden werden. »Da macht es die Masse interessant«, so Kanngießner. Wenn Temperaturschwankungen von 2,3 Grad für die Art der gelagerten Produkte keine Rolle spielen, wäre eine Lastverschiebung denkbar.

Das dritte Szenarium sind Produktionsprozesse, die zeitlich flexibler betrieben werden könnten: »Ein Teilnehmer des Workshops stellt flüssigen Stickstoff her. Da der Prozess komplett automatisiert abläuft, produziert der Hersteller seinen Stickstoff dann, wenn die Strombezugpreise niedrig sind«, berichtet Kanngießner. Es sei durchaus vorstellbar, industrielle Prozesse dieser Art automatisiert zu starten, sobald der Wind weht oder die Sonne scheint. »Bei personalintensiven Prozessen ist eine Flexibilisierung dagegen schwieriger«, so Kanngießner.



Clemens Dankwerth vom Fraunhofer ISE untersucht im TestLab einen Propan-Kältekreis auf Leckage. Der Kältekreis ist eine der zentralen Komponenten der neu entwickelten Wärmepumpe LC 150, die mit Propan als umweltfreundlichem Kältemittel arbeitet.
© Fraunhofer ISE/
Marek Miara

Am Ende des Projektes soll eine Empfehlung stehen, die sowohl technische als wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt.

Während in FlexKaelte untersucht wird, welchen Beitrag die Kältetechnik für die Einbindung erneuerbarer Energien leisten kann, wollen die Forschenden des Fraunhofer ISE die Geräte und Kältemittel als Hebel nutzen, um Energie zu sparen und Kälte umweltfreundlicher zu produzieren.

Als Kältemittel verwendet die Firma Nordfrost Ammoniak. »Ammoniak ist als natürliches Kältemittel und wegen seiner vergleichsweise hohen Energieeffizienz für uns erste Wahl«, sagt Niederlassungsleiter Christian Wanke. Neben Ammoniak zählen Butan, Propan, CO₂ und Wasser zu den natürlichen Kältemitteln. Jede Substanz birgt andere Herausforderungen: Ammoniak ist giftig, Butan und Propan sind explosiv, CO₂ benötigt hohe Drücke, »und Wasser ist auch nicht ganz einfach zu behandeln«, meint Schnabel, die fasziniert ist von der Historie der Kältemittel: »Natürliche Kältemittel wurden schon vor 150 Jahren eingesetzt. Durch die technologischen Fortschritte erleben sie jetzt eine Renaissance.« Für kältetechnische Anlagen entwickelt das Fraunhofer ISE Komponenten und Geräte.

Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Kältemittelreduktion und der Entwicklung von State-of-the-Art-Kältekreisen. Gleiche Leistung bei

minimalem Einsatz von Kältemitteln – um das zu erreichen, ist hohes Anlagenwissen notwendig. Die Prozesse, die beim Sieden und Kondensieren stattfinden, sind komplex. So verändert sich die Wärmeübertragung eines Rohres je nach Geometrie, Material und Durchflussmenge. Eine breite experimentelle Basis, wie sie das Fraunhofer ISE hat, ist hier hilfreich. Mit dem natürlichen Kältemittel Propan, dessen Treibhauspotenzial rund 500-mal niedriger als das herkömmlicher Kältemittel ist, hat das Team um Schnabel bereits gute Ergebnisse erzielt. So entwickelten sie einen Propan-Kältekreis für Wärmepumpen LC150, der nur ein Viertel der Kältemittelmenge im Vergleich zu marktverfügbaren Systemen benötigt. Damit dürfte sie als erste Pumpe dieser Art in Deutschland auch ohne zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen in Innenräumen von Wohngebäuden aufgestellt werden.

Ein Kälteträger, der zugleich interessante Qualitäten als Energiespeicher aufweist, ist eine Dispersion aus Paraffin und Wasser. Sie eignet sich zur Kühlung von Autobatterien, aber auch als Kältespeicher: Nimmt die Dispersion, die am Fraunhofer UMSICHT entwickelt wurde, Wärme auf, schmelzen die festen Paraffin-Partikel zu Paraffin-Tropfen und speichern die Wärme. Kühlt die Lösung ab, erstarren die Tropfen wieder. In einem Temperaturbereich von 5 bis 20 °C ist sie eine gute Alternative zu Kaltwasser, da sie eine zwei- bis dreimal höhere Energiedichte hat.

Sinken die Temperaturen eines Tiefkühlagers unter 18 Grad minus, können die Lebensmittel nicht mehr verwendet werden – eine Katastrophe. In industriellen Prozessen bedeutet ein Ausfall der Kältetechnik häufig einen Anlagenstillstand. Den will man um jeden Preis vermeiden. Daher war die Branche bisher Innovationen gegenüber eher träge. Doch das ändert sich gerade. »Ich gehe fest davon aus, dass die Industrie in den nächsten Jahren vermehrt in innovative Kältetechnik investiert«, meint Schnabel. Denn die Entwicklung von kostengünstigen, recycelbaren und zugleich sicheren Komponenten und Geräten, ein großes Thema am Fraunhofer ISE, schreitet voran. Gleichzeitig sinken die Preise für Sensoren. Für die automatisierte Prozessüberwachung ein großes Plus. »Mithilfe von Sensorik und KI kann in der Betriebsführung noch einiges abgefangen werden«, meint Schnabel.

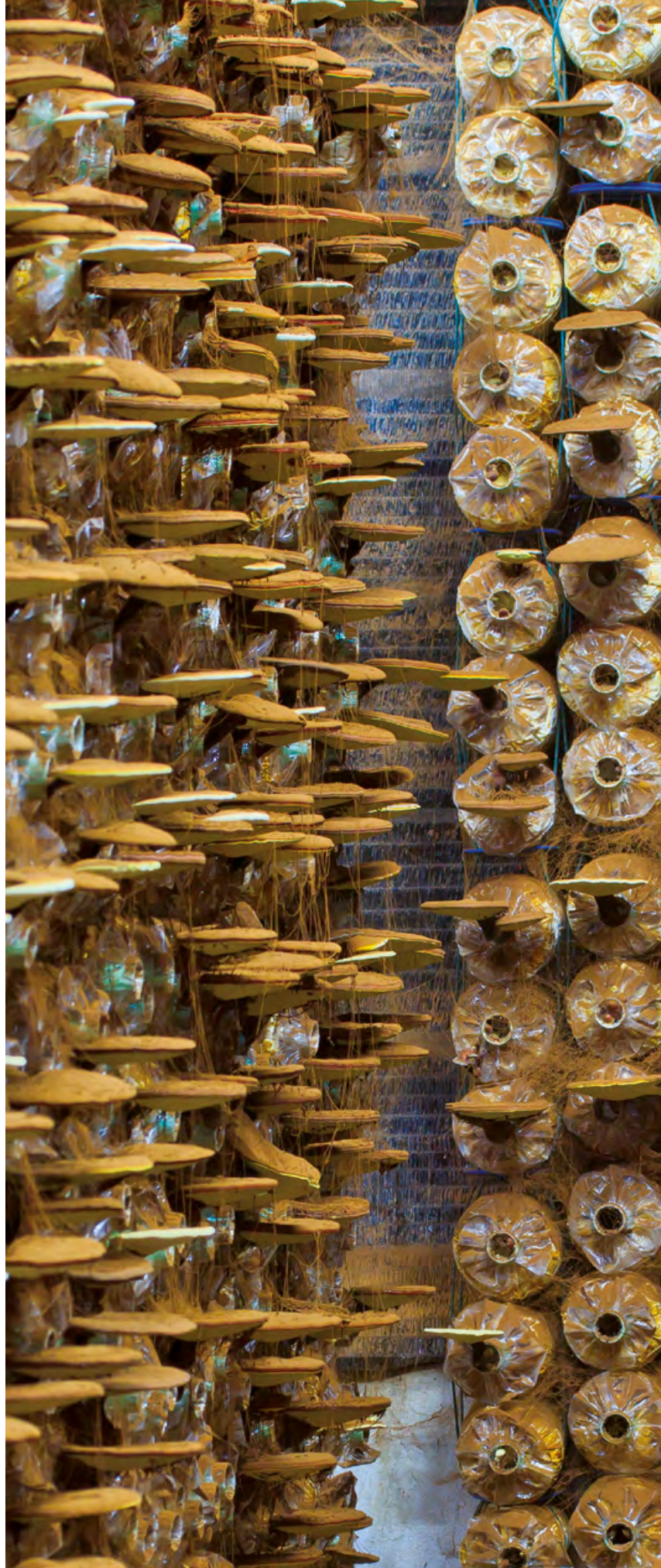
Software, die hilft, Performance zu steigern, Fehler frühzeitig zu erkennen und Degradationseffekte im Kältekreis zu erfassen, ist in der Industrie gern gesehen. Ebenso wie Modelle, die die Stromkosten reduzieren. Daher sehen Kanngießner und Pollerberg die künftige Akzeptanz der geplanten Web-App, die die FlexKaelte-Optionen berechnen und bewerten soll, positiv: »Ökonomische Vorteile sind für unsere Partner in der Industrie immer motivierend.« So erwärmt sich die Branche nach einer längeren »Eiszeit« für die Ideen und Entwicklungen der Fraunhofer-Forscher. ■

Nachhaltige Akustik? Klingt gut.

Pilze sind gesund, schmecken und eignen sich für viel mehr als nur den Verzehr. Das Fraunhofer UMSICHT forscht gemeinsam mit dem Fraunhofer IBP an pilzbasierten Materialien, die in Zukunft bei der Herstellung von umweltfreundlichen Schallabsorbern verwendet werden sollen.

Text: Jacob Schmette

Aktuell arbeiten die Forschenden im Projekt mit Pilzen aus der Ordnung der Stielporlingsverwandten, darunter Ganoderma lucidum. © Shutterstock





Das Pilzmyzel bezeichnet die Gesamtheit der fadenförmigen Zellen eines Pilzes. © mauritius images

durchwachsen und bildet so eine feste Struktur«, so Julia Kraye. Sobald das Myzel das feinkörnige Substrat durchdrungen hat, wird das Produkt im Ofen getrocknet, um den Pilz abzutöten. Das auf diese Weise entstandene Material verfügt über offene Zellwände, kann dadurch Schall aufnehmen und eignet sich mit gedruckten Porenstrukturen sehr gut als Schallabsorber.

Neben dem hohen Wirkungsgrad, den positiven Faktoren der Nachhaltigkeit sowie der Ressourcenschonung bringen die pilzbasierten Schallabsorber weitere Vorteile mit sich: »Durch die feste, vom Pilzmyzel durchwachsene Struktur wären in Zukunft Schallabsorber aus deutlich dünneren Schichten möglich«, erläutert Roman Wack, Projektpartner von Julia Kraye und Mitarbeiter des Fraunhofer IBP in Stuttgart. Der Einsatz des 3D-Druckers bei der Produktion des Materials ermöglicht eine im Vorhinein geplante Porenstruktur im Inneren des Absorbers. Diese Struktur kann durch den Drucker gezielt hergestellt und somit im Laufe der Forschung optimiert werden. Daraus ziehen die Entwickler einen zusätzlichen Vorteil und erwarten durch diese Methode einen perfektionierten Schallabsorber, der in seinem Nutzen die derzeit verfügbaren Produkte übertrifft und zusätzlich aus nachwachsenden Rohstoffen besteht.

Das pilzbasierte Material kann nicht nur im Akustikbereich angewendet werden: »Die Endprodukte wären wohl ebenfalls als Dämmmaterial einsetzbar, jedoch bräuchte es hier noch intensivere Forschung«, sagt Julia Kraye. Auch die Verwendung von Pilzmyzel zur Herstellung von Werkstoffen wie Pilz-Leder, -Gewebe und -Plastik ist denkbar und vielversprechend. Aus den pilzbasierten Stoffen könnten so in Zukunft nicht nur Schallabsorber und Dämmmaterial entstehen, sondern ebenfalls Kleidungsstücke, Möbel sowie Elektrogeräte. Um dies zu ermöglichen, hat Fraunhofer bereits mit den Forschungen begonnen. Doch im Vordergrund steht momentan die Anfertigung der nachhaltigen Schallabsorber. Das Projekt läuft seit Sommer 2019. Aktuell produzieren die Mitarbeitenden des Fraunhofer UMSICHT verschiedene Prototypen, die später im Fraunhofer IBP getestet werden sollen. Demnächst ist ein Workshop zusammen mit Anwendern wie Designern oder Innenarchitekten geplant, um Nachhaltigkeit, Ästhetik und Lebensqualität zu verbinden. ■

Blick in die Zukunft: Aus Pilzmyzel könnte auch Pilz-Gewebe entstehen, Pilz-Plastik – oder Pilz-Leder.

Die meisten der Stielporlingsverwandten wachsen in der Natur auf Totholz. © Shutterstock



Wenn im Büro die Kollegen anhaltend telefonieren oder der Nachbar zu Hause laute Musik spielt, geraten viele Menschen unter Stress. Wohlbefinden und Gesundheit hängen auch von der Akustik ab. Schallabsorber können die Raumakustik verbessern. Viele Akustikelemente, die zur Verkleidung von Wänden oder einzelnen Raumelementen dienen, bestehen derzeit im Innenarchitekturbereich aus Mineralfasern oder Kunststoffschäumen. Einige dieser Materialien sind weder besonders nachhaltig, noch lassen sie sich gut recyceln. Um eine umweltfreundlichere und gleichzeitig noch effektivere Alternative auf den Markt zu bringen, entwickeln das Fraunhofer UMSICHT zusammen mit dem Fraunhofer IBP Schallabsorber aus pilzbasierten Stoffen.

Die Idee stammt von Projektleiterin Julia Kraye vom Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen. Die wissenschaftliche Mitarbeiterin arbeitet seit Jahren an Biomaterialien: »Im Rahmen der Materialentwicklung stehen pflanzliche Substrate und Pilzmyzel im Fokus«, erklärt Kraye. Das Myzel besteht aus einem feinen Geflecht fadenförmiger Hyphen, wächst in der Natur unterirdisch und kann, je nach Art, eine Größe von über einem Quadratkilometer erreichen.

Ein 3D-Drucker bringt das Pilzmyzel in Form

Für das Projekt des Fraunhofer UMSICHT werden die Myzel-Fäden im Labor gezüchtet. Das Pilzmyzel wird zunächst mit einem pflanzlichen Substrat bestehend aus Stroh, Holz und Abfällen aus der Lebensmittelproduktion vermischt und danach mit einem 3D-Drucker in eine beliebige Form gedruckt. »Daraufhin wird das gesamte Substrat von den Myzel-Fäden

Tierversuche – So lassen sie sich vermeiden



Die Zahl der Versuchstiere in Deutschland ist seit Jahren weitgehend konstant. 2 825 066 Tiere wurden im Jahr 2018 eingesetzt. Tierstudien sind auch notwendig, um die Sicherheit und Toxizität chemischer Substanzen zu untersuchen. Dr. Sylvia Escher ist als Abteilungsleiterin In-silico-Toxikologie am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM auf der Suche nach Alternativen zum Tierversuch.

»Wir arbeiten an unserem Institut mit mehreren Gruppen an neuen Konzepten zur Risikobewertung von Chemikalien«, erklärt die Chemikerin. Als Beispiel nennt sie das EU-Projekt EU-ToxRisk. Kulturen menschlicher Zellen und Organschnitte sollen Alternativen zu Tierversuchen ermöglichen. Bei EU-ToxRisk arbeiten 39 Partner aus 13 Ländern zusammen. Das seit 2016 laufende Vorhaben verfügt über ein Budget von über 30 Millionen Euro. Neben Universitäten, Forschungsinstituten und Unternehmen sind auch regulatorische Behörden beteiligt. Die Einbindung der Behörden ist ein wichtiger Faktor für den Erfolg des Projekts. Denn nur wenn die nationalen und EU-Behörden die neu entwickelten Verfahren zur Toxizitätsprüfung zulassen, können Tierversuche auch wirklich ersetzt werden.

Das Ziel ist nicht nur eine schonendere, sondern auch eine bessere Alternative. Klassisch werden Tiere den Testsubstanzen ausgesetzt. Die Forscher beobachten: Entstehen Entzündungen? Werden Organe geschädigt? Gibt es Schäden durch eine kontinuierliche, langzeitige Exposition gegenüber geringen Konzentrationen eines Stoffes, wie sie zum Beispiel täglich durch die Atemluft aufgenommen werden? Welche Mechanismen zu den beobachteten adversen Veränderungen führen, bleibt jedoch meist unklar.

»Im Rahmen von EU-ToxRisk untersuchen wir die Kaskade, die eine Substanz im Körper auslöst«, verdeutlicht Sylvia Escher die Vorteile. Das beginnt mit ersten molekularen Interaktionen des Stoffes, etwa mit Rezeptoren auf der Zelle,

Mäuse sind die am häufigsten verwendeten Tiere in der Forschung. Seit der Entschlüsselung des Mausgenoms im Jahr 2002 ist bekannt, dass die Gene der Maus und des Menschen zu 98 Prozent übereinstimmen. © Heidi & Hans-Jürgen Koch

Zurzeit sind immer noch Daten aus Tierstudien nötig, um die Sicherheit einer Substanz für den Menschen zu bewerten. Das EU-ToxRisk-Projekt arbeitet an einem Paradigmenwechsel: weg vom Tierversuch – hin zu einem tiefen Verständnis der Wirkungsweise chemischer Substanzen.

Text: Christine Broll

geht über in eine Reaktion der Zellen und führt über die Auswirkungen auf die Organe bis hin zu Veränderungen im Gesamtorganismus.

Neun Fallstudien laufen bei EU-ToxRisk, an drei dieser Studien ist das Fraunhofer ITEM mit mehreren Arbeitsgruppen beteiligt. Dr. Tanja Hansen, Arbeitsgruppenleiterin In-vitro-Testsysteme, untersucht aktuell die Toxikologie von flüchtigen Verbindungen am Beispiel von Diketonen. Der bekannteste Vertreter dieser Stoffgruppe ist das Diacetyl, eine chemische Verbindung, die natürlicher Bestandteil von Butter ist und industriell hergestellt als Butteraroma dient – unter anderem zur Aromatisierung von Popcorn.

Simulation mit menschlichem Gewebe

Was passiert, wenn Menschen Diacetyl einatmen? Kann der Stoff die Lunge schädigen? Sylvia Escher und Tanja Hansen nutzen zur Beantwortung dieser Fragen eine Apparatur, die am Fraunhofer ITEM entwickelt wurde: den P.R.I.T.[®] ExpoCube[®]. Damit können sie simulieren, wie flüchtige Substanzen auf Zellen und Gewebe einwirken.

Menschliche Bronchialepithelzellen werden auf Membranen an der Luft-Flüssigkeitsgrenze kultiviert, um so die Situation in der Lunge zu simulieren. Mithilfe des P.R.I.T.[®] ExpoCube[®] wird gasförmiges Diacetyl über die Oberfläche der Zellen geleitet. Anschließend wird der Effekt auf die Zellen mit biochemischen Methoden untersucht. Durch umfangreiche Genexpressionsanalysen kann das Forscher-Team erkennen, welche Gene die Zellen an- bzw. ausgeschaltet haben. Aus diesen Daten lässt sich ermitteln, welche Signalwege im Inneren der Zelle aktiviert wurden. Das können zum Beispiel Signalwege sein, die zur Produktion entzündungsfördernder Botenstoffe führen.

Im nächsten Schritt erfolgt die Untersuchung auf dem Niveau der Organe. Dazu nutzen die Forschenden lebende, kultivierte Gewebeschnitte aus menschlichen Lungen, die viele Funktionen des Organs besitzen. Genau wie die Zellkulturen werden auch die Lungenschnitte im P.R.I.T.[®] ExpoCube[®] gegenüber Diacetyl exponiert und anschließend intensiv analysiert.

Um das Verhalten von Diacetyl im Körper zu simulieren, stellen die Projektpartner komplexe Modellberechnungen an, die sie als In-silico-Methoden bezeichnen. Diese computergestützten Modellierungen bilden schon weitestgehend ab, wie ein Stoff nach der Inhalation im Organismus absorbiert, verteilt und ausgeschieden wird. »Die In-vitro- und In-silico-Daten ergeben ein genaues Bild, wie Diacetyl die Lungen schädigt«, berichtet Sylvia Escher. »Sie decken sich mit den vorliegenden In-vivo-Daten aus den Tierversuchen.«

Daten ähnlicher Substanzen nutzen

Erster Schritt, um mit den alternativen Methoden Tierversuche zu vermeiden, ist der »Read-Across-Ansatz«. Will man eine neue Chemikalie nach diesem Verfahren zulassen, sucht man nach ähnlichen Substanzen, für die es bereits toxikologische Daten aus Tierversuchen gibt. Im Read-Across werden diese Daten dann auf die neue Schwesterchemikalie übertragen. »Dieser Ansatz ist heute bereits prinzipiell möglich. In der Praxis ist es bisher aber schwer nachzuweisen, dass zwei Stoffe so ähnlich sind, dass sie auch wirklich dieselbe Toxizität haben«, betont Sylvia Escher. »Daher werden die Read-Across-Ansätze bisher nur selten von den Zulassungsbehörden akzeptiert.«

Die Projektteams haben in den Fallstudien Gruppen eng verwandter Substanzen untersucht und umfassende In-vitro- und In-silico-Daten erhoben, um die Akzeptanz zu steigern. Bei diesen Untersuchungen konnten sie zeigen, dass die Methoden bestens geeignet sind, die Toxizität strukturell verwandter Stoffe zu bestimmen. Wie ein Read-Across-Ansatz durch tierversuchsfreie Daten möglich wird, haben die Kooperationspartner in einer ausführlichen Studie dargelegt. »Wir haben früh eine enge Abstimmung und Diskussion mit den Zulassungsbehörden gesucht und das Konzept permanent angepasst. Damit sind wir einen Riesenschritt vorwärts gekommen in Richtung Akzeptanz«, so Sylvia Escher.

Das nächste Ziel haben die EU-ToxRisk-Partner schon vor Augen: Sie wollen auch für Substanzen, bei denen kein Read-Across-Ansatz möglich ist, tierversuchsfreie Toxizitätstests etablieren. Das Projekt läuft bis Ende 2021. ■

»Wir haben früh eine enge Abstimmung und Diskussion mit den Zulassungsbehörden gesucht.«

Sylvia Escher, Abteilungsleiterin In-silico-Toxikologie am Fraunhofer ITEM

Die Fabrik der Zukunft

Das kognitive Internet erreicht die Praxis: drei Lösungen, die Produktionen präziser machen, die Wartungskosten senken und die Qualität steigern.

Text: Tobias Steinhäuser

Kognitives Internet, das Fähigkeiten des Menschen nachahmen kann: Zuerst war es eine Vision, dann ein Schlagwort für die Wirtschaft. Jetzt erreicht es die Praxis: Durch Werkhallen flitzen kleine mobile Einheiten, autonom bringen sie Werkstücke zu den Robotern oder zu den Mitarbeitern, holen sie nach der Bearbeitung wieder ab und steuern das nächste Modul in der Fertigungskette an. Das Ziel bringt Prof. Claudia

Eckert auf den Punkt. Die Sprecherin des Direktoriums des Fraunhofer Cluster of Excellence Cognitive Internet Technologies CCIT erklärt: »Die Fabrik der Zukunft steuert sich selbst und arbeitet Hand in Hand mit den Fachkräften. Einzelne stationäre Produktionsschritte lassen sich flexibel an kurzfristige Änderungen des Produktionsplans anpassen.« Gleich drei Lösungen stehen aktuell kurz vor dem Start in der Industrie.

»Kognitive Internet-Technologien sind der Schlüssel für die Wettbewerbsfähigkeit und die digitale Souveränität der deutschen Wirtschaft.«

Dr.-Ing. Reinhold Achatz,
Beirat Fraunhofer CCIT,
Thyssenkrupp

In der Fabrik der Zukunft steuern sich Maschinen selbst – und das zentimetergenau, damit die Zusammenarbeit mit den Menschen zuverlässig und sicher klappt.
© Volkswagen AG



Menschen und Maschinen, Werkzeuge und Bauteile müssen sich in der Fabrik der Zukunft exakt lokalisieren lassen. Der Fraunhofer CCIT hat ein in Genauigkeit und Reichweite skalierbares Lokalisierungssystem für die Industrie entwickelt.

Ortung – bis auf zehn Zentimeter genau

FlexLoc kann Gegenstände auf bis zu zehn Zentimeter genau orten. Die Technologie basiert auf der Ultrabreitband-Funktechnologie (UWB) und erhält die nötigen Informationen aus mobilen, in der Produktions- oder Lagerhalle verteilten Sensorknoten. »Die Funktechnologie besteht aus kommerziell erhältlichen Komponenten«, erläutert Marc Faßbinder, Leiter der Gruppe Industrielle Lokalisierungssysteme am CCIT-Forschungszentrum IoT-COMMs. Sie kann beispielsweise die Position fahrerloser Transport-Fahrzeuge (FTF) zur Unterstützung von Fachkräften im Produktionsprozess oder von Hallenkränen bestimmen. Dadurch können die autonomen Einheiten mit Personen interagieren oder Abstellorte von Gegenständen und Dingen, die für den Produktionsprozess benötigt werden, eindeutig ermitteln.

Beispiel Kommissionierung: Ein mobiler, selbstfahrender Wagen unterstützt die Mitarbeiter beim Verteilen der Waren. »Über einen Sensor-Tag messen wir die Distanz der Personen zum Wagen und berechnen daraus ihre Positionen zueinander. Dabei ist es wichtig, die Funkkanäle effizient zu belegen, um eine hohe Rate an genauen Positionsdaten zu erhalten. Weitere Daten aus der Sensorik des Wagens werden für die dezimetergenaue Positionsbestimmung des FTF genutzt«, sagt Faßbinder. FlexLoc kann als mobiles Adhoc-Lokalisierungssystem für ganze Fertigungshallen eingesetzt werden – beispielsweise um mobile Maschinen und Werkstücke zu lokalisieren. Dabei werden mehrere batteriebetriebene und kabellose UWB-Funkknoten um einen Arbeitsbereich verteilt. Mit vier bis fünf dieser Knoten lässt sich eine Fläche von 100 Quadratmetern abdecken.

Sensible Daten sicher teilen

Wartung ist teuer. In Deutschland summieren sich die Verluste durch wartungsbedingte Produktionsausfälle auf zweistellige Milliarden-

beiträge Jahr für Jahr. »Jede Sekunde kostet das Unternehmen Geld«, sagt Frederik Möller, Oberingenieur des Lehrstuhls für industrielles Informationsmanagement (IIM) an der TU Dortmund. Je passgenauer die Wartungsintervalle, desto geringer die Kosten. Dafür müssten Anlagenbetreiber und -hersteller Nutzungsdaten austauschen. »Der Hersteller kann diese dann mit seinem eigenen Wissen über die Maschine kombinieren und auf diese Weise die Wartungsintervalle optimieren«, erläutert Hendrik Haße vom CCIT-Forschungszentrum Data Spaces. »Doch Unternehmen scheuen sich, die sensiblen Fertigungsdaten extern weiterzugeben, weil unklar ist, wer die Daten einsieht und was mit den Daten geschieht.«

Mit dem »Shared Digital Twin« des Fraunhofer CCIT können Unternehmen Daten aus Fertigungsprozessen sicher mit Partnern und Kunden teilen. Der Datengeber behält dabei jederzeit die Datenhoheit. Die Lösung besteht aus einer IoT-Architektur, einem digitalen Zwilling und den Konnektoren der International Data Spaces (IDS). Die IoT-Architektur ermittelt aus den Rohdaten laufender Prozesse – etwa aus Schwingung, Temperatur oder Reibung – in Echtzeit aussagekräftige Kennzahlen. Die Informationen werden in einem digitalen Zwilling auf dem Unternehmensserver gespeichert. Hier entscheidet das Unternehmen, welche Daten es teilen will und wer diese wie nutzen darf. Die IDS-Konnektoren übertragen die Daten sicher und kontrolliert an den Empfänger. Beide Unternehmen haben die Gelegenheit, den digitalen Zwilling mit zusätzlichen Informationen anzureichern. Die Daten können auf unterschiedliche Analysen angewendet werden – zum Beispiel auf Verfahren des Maschinellen Lernens bzw. Methoden der Künstlichen Intelligenz. Die Technologie ist kompatibel mit bereits existierenden sicheren Lösungen für den Austausch von industriellen Prozessdaten, wie der Verwaltungsschale der Plattform Industrie 4.0 oder der IDS-Architektur. Sie ist offen für jede Art von Datenbank und Anwendung.

Um in einer laufenden Produktion Fehler zu erkennen und die Qualität von Bauteilen zu prüfen, bleiben Fachkräften in der Praxis nur wenige Sekunden. »Gelingt das nicht, werden Fehler nicht erkannt oder nur unvollständig dokumentiert, dann verzögern sich die Ausbesserungsarbeiten«, berichtet Gerrit Holzbach vom


Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB. »Ideal wäre es für die Mitarbeiter, wenn sie die Fehler einfach über Gesten oder die Stimme erfassen könnten. Das spart nicht nur Zeit im Vergleich zur manuellen Eingabe in einen Rechner. Ein digitaler Assistent stellt auch sicher, dass auf dem Weg der Erfassung und der Datenaufnahme keine Informationen verloren gehen.«

Fehler erkennen und einfach dokumentieren

Der multimodale Dialogassistent (MuDA) des Fraunhofer CCIT macht das jetzt möglich. Holzbach deutet mit seiner Hand auf einen Fehler im Bauteil und markiert allein schon mit dieser Geste die entsprechende Stelle. Eine Kamera oberhalb des Werkstücks hat die Bewegung erfasst und die Information an den digitalen Assistenten weitergegeben. Ein Projektor zeigt ihm alle erfassten Fehler direkt auf dem Bauteil an. Dann spricht Holzbach und beschreibt dabei die Art des Fehlers. Ein Sprachdialogsystem nimmt seine Stimme auf. Auch diese Information ist jetzt vollständig digital erfasst. »Wir haben die Sprachsteuerung und Mikrofonanordnung gezielt für die Aufnahmen in lauten Umgebungen optimiert, sodass keine Informationen verloren gehen«, sagt Oliver Walter vom CCIT-Forschungszentrum Maschinelles Lernen. In der Ausbesserungsphase können die Fehlermarkierungen an einer anderen Station durch eine digitale Abbildung präzise reproduziert und erneut auf das Bauteil projiziert werden. Dadurch wird kein Fehler übersehen und kann ausgebessert werden. Ist dies geschehen, bestätigen die Mitarbeiter das direkt am Bauteil. MuDA vermerkt auch die Fertigstellung direkt im System.

»Die drei Lösungen stehen kurz vor dem Einsatz in der Praxis bei unseren Industriepartnern«, unterstreicht Christian Banse, Leiter der Geschäftsstelle des Fraunhofer CCIT. Doch die Forschungsarbeit des Clusters richtet sich nicht nur an die Industrie. »Kognitive Internet-Technologien sind für die gesamte Wirtschaft relevant. Sie verbessern die Erträge in der Landwirtschaft, machen den Verkehr an Kreuzungen sicherer, optimieren logistische Prozesse, schützen sensible Patientendaten in vernetzten Medizingeräten oder gestalten den Online-Handel effizienter und nachhaltiger.«

Stürze im Alter effektiv verhindern

 Wenn der Körper altert, wirkt sich das auf Mobilität, Muskelkraft und Gleichgewichtskontrolle aus, was die Gefahr von Stürzen signifikant erhöht. Am portugiesischen Fraunhofer Center for Assistive Information and Communication Solutions AICOS entwickeln Forscher die technologische Plattform FRADE, die das Sturzrisiko einschätzt und im Fall eines Sturzes hilft.

FRADE besteht aus verschiedenen Komponenten: tragbaren Sensoren, die Bewegungsdaten erfassen und überwachen, einem Programm zur Analyse des Sturzrisikos, einer App für Tablets mit Übungen zur Sturzprävention und einem Backend-Server mit einer Web-Schnittstelle zur Datenvisualisierung.

Auf Basis der Bewegungsanalyse erfolgt eine kontinuierliche Abschätzung des Sturzrisikos. Betreuer können durch eine Alarmfunktion über Ort und Zeitpunkt eines Sturzes informiert werden und haben Zugriff auf die im Backend gespeicherten Daten des Patienten. Die App bietet Anwendern beim Sturzpräventionstraining die Möglichkeit, ihre Leistungen selbstständig zu überwachen und die eigenen Fortschritte zu beurteilen.


Zwar gibt es bereits eine Vielzahl von technologischen Lösungen zur Sturzbewältigung. Sie berücksichtigen jedoch jeweils nur einzelne Aspekte: die Bewertung von Sturzrisikofaktoren, die automatische Erkennung von Stürzen oder die Strategien zur Sturzprävention. FRADE will diese Lücke nun schließen, indem es das gesamte Sturzmanagement umfasst.

Portugal



Chile

Kupfer umweltverträglich abbauen und lagern

 Mit einem weltweiten Marktanteil von über 27 Prozent ist Chile der größte Produzent und Exporteur von Kupfer. Egal ob in der Elektrotechnik, Bauindustrie oder Medizin – der globale Bedarf an dem Metall ist immens, die Vorkommen jedoch begrenzt. Daher muss mittlerweile auch Kupfererz mit einem hohen Anteil an giftigem Arsen abgebaut werden, das später abgeschieden und deponiert werden muss. Die Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Res-

ourcenstrategie IWKS arbeitet zusammen mit chilenischen und deutschen Partnern in dem Projekt »ReAK – Reduktion von Arsen in Kupferkonzentraten« an der Optimierung und Neuentwicklung von Verfahren. Dabei wird die gesamte Prozesskette der Kupfergewinnung von der Abtrennung von Nebenprodukten über die Stabilisierung des Arsens bis hin zur Deponierung der Rückstände betrachtet. »Wir suchen nach neuen Kombinationen bereits existierender Prozesse. Gleichzeitig

Frankreich

Hochleistungsmagnete: Aus Alt mach Neu

Hochleistungspermanentmagnete enthalten Seltene Erden und sind für Hightech-Anwendungen in Elektronik, Industriemotoren, Windkraftanlagen und Elektrofahrzeugen unersetzlich. Bislang existiert jedoch kein industrielles Recyclingverfahren, um polymergebundene Magnete und die darin enthaltenen Wertstoffe wiederzuverwerten. Ein deutsch-französisches Konsortium will das ändern.

Mehr als 90 Prozent der weltweit verbrauchten Seltenen Erden stammen aus China. „Wir wollen in Europa eine Kreislaufwirtschaft aufbauen, um diese Elemente nicht mehr importieren zu müssen und autarker zu werden“, erläutert Dr. Benjamin Balke, Abteilungsleiter Energiematerialien der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und

Ressourcenstrategie IWKS. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei den polymergebundenen Selten-Erd-Magneten. Ihr Vorteil: Sie können schneller und effizienter hergestellt werden als herkömmliche Magnete, sind spritzguss- sowie 3D-druckfähig, dadurch flexibler in der Formgebung und korrosionsbeständig. Allerdings sind Magnet und Polymer fest verbunden, was ein Recycling enorm erschwert.

In dem Projekt SupplyPBM untersuchen die Forschenden unter der Leitung der Fraunhofer IWKS verschiedene Möglichkeiten, einen industriell umsetzbaren Recyclingprozess zu entwickeln. Dabei sollen aus alten polymergebundenen Magneten neue Magnete hergestellt werden, die den gleichen Anforderungen gerecht werden.

Fraunhofer weltweit

verbinden wir diese mit innovativen möglichen Lösungen wie dem biologischen Auslaugen«, berichtet Anna-Lisa Bachmann, Koordinatorin des Projekts an der Fraunhofer IWKS.

Laugung oder Leaching ist ein Begriff der technischen Chemie und beschreibt einen Prozess, bei dem Bestandteile aus einer chemischen Verbindung gelöst werden. Beim Bioleaching wird diese Aufgabe von Mikroorganismen übernommen.

Marokko

Mit grünem Wasserstoff zu grünem Ammoniak

Geht es um den Klimawandel, denken viele an die Emissionen von Kraftwerken, Verkehr und Industrie, kaum jemand an die Ammoniaksynthese. Jedoch gehen jährlich rund 480 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen auf ihr Konto. Weltweit werden pro Jahr mehr als 170 Millionen Tonnen Ammoniak mit petrochemischen Verfahren produziert. Es dient unter anderem als Grundstoff für Düngemittel.

Regenerativ erzeugter, sogenannter grüner Wasserstoff ist ein Schlüsselement der »Power-to-X«-Technologien, die eine CO₂-neutrale Produktion von Kraftstoffen, Chemikalien und eben auch Ammoniak ermöglichen. For-

schende des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB und des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS errichten jetzt zusammen mit marokkanischen Partnern in dem Maghrebstaat eine Demonstrationsanlage zur Gewinnung von grünem Ammoniak.

Einer der marokkanischen Projektpartner, das Unternehmen OCP, ist der global führende Produzent von Phosphatderivaten und somit einer der größten Importeure von Ammoniak. Mithilfe des Projekts »Green Ammonia« hofft OCP, mittelfristig einen Teil seines Bedarfs mit CO₂-neutralem Ammoniak abdecken zu können.

Forschung extrem

Er begann in der Theorie, weil Praxis vor 30 Jahren noch undenkbar war. Jetzt hat Dr. Sergiy Yulin zusammen mit seinen Fraunhofer-Kollegen und Partnern von ZEISS und Trumpf die EUV-Lithographie in die Anwendung gebracht. Die Technik ist ein Meilenstein auf dem Weg zu immer leistungsfähigeren, energiesparenderen Mikrochips – die Voraussetzung für Fortschritte in Künstlicher Intelligenz, autonomem Fahren oder 5G. Nun ist das Forscher-Team für den Deutschen Zukunftspreis nominiert.

Text: Mandy Bartel

Rampenlicht? Das ist seine Sache nicht. Dr. Sergiy Yulin mag es lieber ultraviolett, extrem ultraviolett. In seinem Labor am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena tüftelt der Physiker seit vielen Jahren gemeinsam mit seinem Team an komplexen Schichtsystemen für EUV-Optiken, die das extrem kurzwellige EUV-Licht für die Fertigung von Mikrochips nutzbar machen. Seine Hochleistungs-Schichtspiegel für großflächige extrem präzise EUV-Optiken sind unerlässlich für die sogenannte EUV-Lithographie (Extreme Ultra Violet). Das Verfahren ermöglicht es, winzigste dreidimensionale Strukturen von sieben Nanometern – zum Vergleich: Ein menschliches Haar ist im Durchschnitt 70 000 Nanometer dick – auf Wafer zu übertragen. Auf diese Weise lassen sich mehr als zehn Milliarden Transistoren auf einem fingernagelgroßen Chip unterbringen.

Seit 2019 sind die ersten Smartphones mit EUV-lithographisch hergestellten Mikrochips auf dem Markt. Diese sind nicht nur wesentlich leistungsfähiger, sondern auch kostengünstiger und energieeffizienter. Für seine Vorlaufforschung zu dieser Innovation ist Sergiy Yulin, gemeinsam mit seinen Forscherkollegen von ZEISS und Trumpf, nun für den Deutschen Zukunftspreis 2020 nominiert. Der deutsche Bundespräsident ehrt damit jedes Jahr herausragende technische Leistungen, die anwendungsreife Produkte ermöglichen und einen großen Nutzen für Menschen und Wirtschaft versprechen.

Viele gaben auf

Zu aufwendig, zu teuer, nicht praxistauglich: Lange Zeit sprach nichts dafür, dass sich das Verfahren im industriellen Maßstab umsetzen lässt. Unternehmen wie Canon investierten in die Technik – und gaben ob ihrer Komplexität auf. Doch ein Team aus ZEISS, Trumpf, der niederländischen Firma ASML und Fraunhofer glaubte weiter an die Zukunft des Verfahrens und entwickelte immer ausgefeiltere Komponenten.

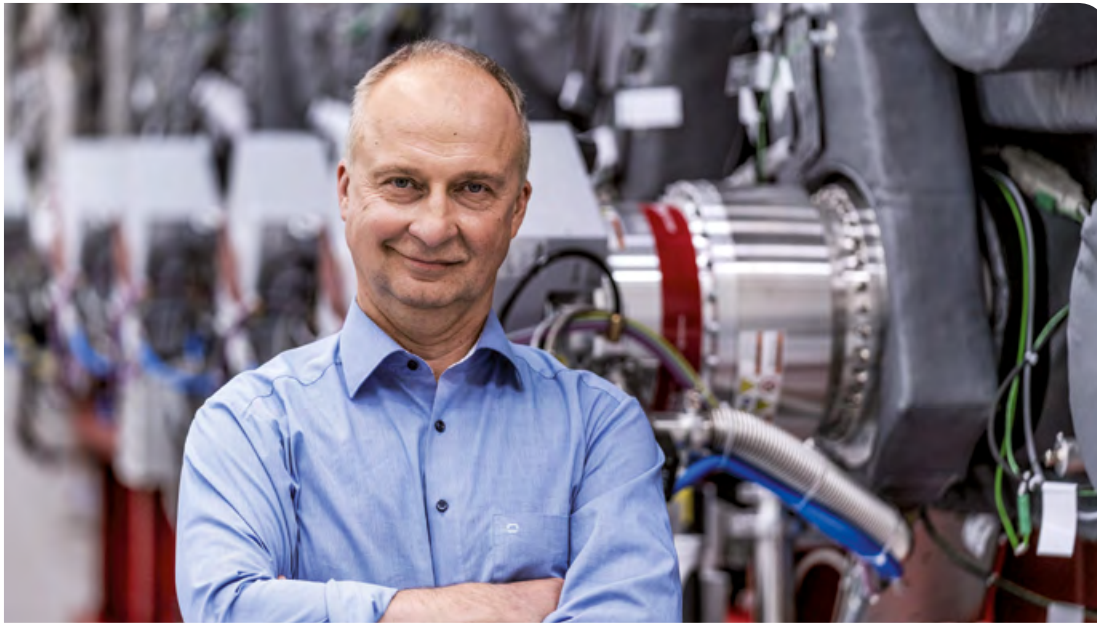
Eine Reihe von Superlativen ermöglichte schließlich den Durchbruch: Erzeugt wird das extreme UV-Licht mit dem weltstärksten gepulsten Industrielaser, entwickelt von der Trumpf AG. In einer Plasmaquelle entzündet dieser 50 000 winzige Zinn-Tröpfchen pro Sekunde auf 220 000 Grad Celsius – das ist 40 Mal heißer als die Sonnenoberfläche. Der Vorgang findet im Hochvakuum statt, denn Luft würde das empfindliche Licht mit einer Wellenlänge von 13,5 Nanometern schlichtweg absorbieren. Bisherige optische Lithographie-Verfahren arbeiten mit Wellenlängen von 193 Nanometern.

Um die Strahlung für den Belichtungsprozess zu nutzen, wird das Licht über präziseste Kollektorspiegel und weitere Projektionsoptiken, hergestellt bei der ZEISS AG, in Richtung der eigentlichen Lithographie-Anlage reflektiert. Für die atomare

Zehn Milliarden Transistoren auf einem fingernagelgroßen Chip – EUV-Lithographie macht es möglich.

Lange Tradition bei Fraunhofer

Die Forschung mit extrem ultraviolettem Licht und in der EUV-Lithographie hat auch in anderen Fraunhofer-Instituten eine langjährige Tradition. So erzielten bereits 2001 Forschende des ebenfalls in der Beschichtungstechnologie tätigen Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden den bis dato weltweit höchsten Reflexionsgrad von EUV-Spiegeln. Den Weltrekord von 70,1% brachen sie 2015 selbst, als sie 70,75 % Reflexion erreichten – ein wichtiger Schritt zur Erhöhung der Produktivität von EUV-Lithographie. Erste Prototypen einer EUV-Laserquelle, die elektrisch gespeicherte Energie schnell gepulst entlädt, entwickelte das Fraunhofer ILT in Aachen 2006. Mittlerweile gibt es eine Betaversion, die zum Belichten von Chips bereits in der Industrie im Einsatz ist. Alle drei Institute – IOF, IWS und ILT – erhielten für ihre Forschungsarbeiten 2012 den renommierten Joseph-von-Fraunhofer-Preis.



Präzision der Spiegel sorgt als letzter wichtiger Schritt in der Produktionskette vor allem die Beschichtungstechnologie von Sergiy Yulin. »Die Anforderungen an Reflexionsgrad, thermische und Kippstabilität der Spiegel sind immens, denn es muss möglichst viel des aufwendig erzeugten Lichts sehr punktgenau zum Ziel gelenkt werden«, erklärt der Wissenschaftler. »Dafür bringen wir in unserer Beschichtungsanlage 100 Nanoschichten, die exakt die gleiche Dicke haben müssen, auf einen Spiegel auf.« Würde man ihn auf die Größe Deutschlands ausbreiten, wäre die größte Unebenheit gerade einmal 0,1 Millimeter hoch. Bei einem normalen Haushaltsspiegel läge die Abweichung bei fünf Metern. Schließlich wird das EUV-Licht – ähnlich wie bei einer Diaprojektion – auf eine Maske projiziert, deren Strukturen es auf den dahinterliegenden Wafer brennen. Der Vorgang wiederholt sich so oft, bis ein dreidimensionales Miniaturkunstwerk aus Leiterbahnen entsteht: der Mikrochip.

Integriert ist dies alles in eine schulbusgroße Maschine, von der Intel Fellow Mark Phillips, dort Direktor für Lithographie, einmal sagte: »The EUV-Scanner is the most technically advanced tool of any kind that has ever been made.« Bislang einziger Anbieter dieser komplexen Maschinen ist das niederländische Unternehmen ASML. Seine Kunden sind die großen Chiphersteller wie TSMC oder Intel, die Chips für Samsung, Apple und Co. produzieren.

»Nessy« in der dritten Generation

Bis zur Serienreife der in jeder Hinsicht extremen Technologie war es ein weiter Weg. Für Sergiy Yulin begann er 1988. Seit dem Studium in seiner Heimat, der Ukraine, beschäftigt sich der Wissenschaftler mit der perfekten Schichtzusammensetzung der für das Verfahren benötigten Spiegeloptiken. Theoretisch – denn zu dieser Zeit gab es noch keine Beschichtungsanlagen, die in der Lage waren, Schichten in der nötigen Präzision auf große Spiegelsubstrate aufzubringen. Also fing er in den 90ern an, Anlagen zu bauen, die genau dies

möglich machen. 1995 wurden die von ihm mitentwickelten Spiegel im All auf der russischen Raumstation MIR auf ihre Robustheit getestet – mit Erfolg. Seine Leistungen sprachen sich in der Wissenschafts-Community herum und ein Ruf ans Fraunhofer IOF folgte. Mittlerweile gibt es seine »Nessy«-Anlage in der dritten Generation. Sie wird noch heute vom Institut und Projektpartnern genutzt, um extrem hochwertige Optiken zu fertigen. »2009 gelang es unserem Team mit Nessy 2, den ersten EUV-Kollektorspiegel mit äußerst präzisen Schichtdicken zu fertigen. Das war damals etwas Außergewöhnliches«, erinnert sich der Physiker an einen Meilenstein. »Doch wenige Jahre später schon schien das EUV-Experiment kurz vorm Scheitern zu stehen, vor allem weil die verfügbaren EUV-Lichtquellen nicht leistungsfähig genug waren, um Licht mit 13,5 Nanometern zu erzeugen. Unternehmen verloren das Interesse, auch die Forschung lief auf Sparflamme.«

Was hat ihn in dieser Zeit durchhalten lassen? »30 Jahre Forschung sind für eine Technologie dieser Komplexität und für einen Forscher in meinem Bereich tatsächlich gar nicht so ungewöhnlich. Es gab ja viele kleine Innovationsschritte, die wichtig waren auf dem Weg zur Serienreife. Was mich an der Arbeit mit extrem kurzen Wellenlängen immer fasziniert hat, ist ihr riesiges Anwendungspotenzial. Sie lassen sich nicht nur für die lithographische Chipherstellung nutzen. Auch in der Mikroskopie im sogenannten Wasserfenster, der Weltraumbeobachtung oder der Spektroskopie im EUV-Spektralbereich können sie neue Einblicke in noch unbekannte Sphären eröffnen. Dieses Potenzial muss man einfach nutzen«, so Yulin.

Am 25. November muss Sergiy Yulin das EUV-Licht doch noch gegen das Rampenlicht tauschen und seinen Forscherkittel gegen den Anzug. Zum Finale des Deutschen Zukunftspreises in Berlin wird er zusammen mit seinen Kollegen von ZEISS und Trumpf auf der Bühne stehen – und vorstellen, wie drei Jahrzehnte Forscherleben jetzt den Weg in die Lebenswirklichkeit und die Anwendung gefunden haben. ■

Drei Jahrzehnte hat Dr. Sergiy Yulin in sein Lebensprojekt investiert. Das Schmunzeln hat er sich seit den Achtzigerjahren erhalten, als er noch in der Ukraine das selbst hergestellte Sputtersystem präsentierte. © Fotonachweis links: Fraunhofer/Ansgar Pudenz; rechts: privat

»Dieses Potenzial muss man einfach nutzen.«

Dr. Sergiy Yulin,
Fraunhofer IOF

Wenn Autos zum Röntgen müssen

Vor 125 Jahren entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen die nach ihm benannten Strahlen. Heute sind Röntgenverfahren in der medizinischen Diagnostik unverzichtbar. Aber auch in der Automobilindustrie wird immer mehr geröntgt.

Text: Christine Broll

»Klassischerweise werden die Fahrzeuge nach den Crash-Tests in Handarbeit zerlegt. In den 3D-Daten aus der Computertomographie lassen sich Verformungen aber wesentlich einfacher und genauer identifizieren.«

Michael Salamon,
Fraunhofer IIS

Leise tuckert der Motor im Leerlauf. Er stammt aus einem Motorrad und steht nun in der weltweit einzigartigen XXL-Computertomographie-Halle des Entwicklungszentrums Röntgentechnik EZRT am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Fürth. Dr. Richard Schielein prüft noch einmal die Position des Motors zwischen der Röntgenquelle und der Kamera und startet den Countdown. Ein schrilles Alarmsignal ertönt, die roten Sicherheitsleuchten beginnen zu blinken. Jetzt müssen Schielein und seine Kollegen die von einer drei Meter dicken Betonwand geschützte Halle verlassen. Erst dann wird die Röntgenquelle angeschaltet.

In der Leitzentrale im Keller des Nebengebäudes verfolgen die Wissenschaftler auf den Monitoren die Röntgenaufnahmen. Der Motor läuft mit einer Drehzahl von 800 bis 1000 Umdrehungen pro Minute, was in etwa Standgas entspricht.

Aufgezeichnet wird die Bewegung von einer Hochleistungskamera, die am EZRT entwickelt wurde und 1000 hochaufgelöste Bilder pro Sekunde produziert. Schielein kann auf dem Monitor genau die Bewegung der Kolben und der Ventile sowie bewegliche Details wie Zahnriemen, Federn und Klappen im Takt des Motors beobachten.

»Um das Metall des Motors zu durchdringen und gleichzeitig bei einer extrem kurzen Belichtungszeit ein Bild zu erhalten, brauchen wir eine starke Röntgenquelle, wie wir sie in unserer Halle haben«, erklärt Dr. Theobald Fuchs, leitender Wissenschaftler am EZRT. Die Entwicklungsarbeit der Automobilindustrie unterstützen die Forscher nicht nur mit der innovativen Technik vor Ort, sondern sie helfen Automobilunternehmen auch bei der Installation von eigenen, robotergestützten CT-Anlagen.

Untersuchung nach dem Crash

Die Fahrzeuge, die zur XXL-Computertomographie kommen, sind meist ziemlich demoliert. Sie stammen aus Crash-Tests und werden hier intensiv untersucht. Dazu werden sie in einer speziellen Vorrichtung hochkant auf einen Drehteller gestellt und rotieren dann zwischen der Röntgenquelle und dem Detektor. Michael Salamon, Diplom-Ingenieur für

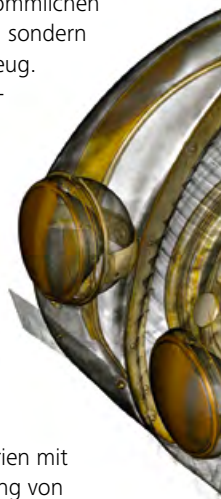
Physikalische Technik, hat die XXL-Anlage mit aufgebaut und leitet die Untersuchungen. »Klassischerweise werden die Fahrzeuge nach den Crash-Tests in Handarbeit zerlegt, um die Verformungen zu dokumentieren. In den 3D-Daten aus der Computertomographie lassen sie sich aber wesentlich einfacher und genauer identifizieren«, erklärt der Fachmann die Vorteile dieser Technik.

Bei Crash-Tests mit neuen Elektrofahrzeugen steht das Verhalten der Batterie im Fokus. Hier bietet das CT einen großen Vorteil. Denn eine komplexe Autobatterie auseinanderzunehmen ist nicht ohne Risiko. »Mit unserer Technologie könnten wir gefahrlos durch Unfall beschädigte Elektrofahrzeuge scannen, um zu sehen, wie stark die Batterie betroffen ist«, sagt Salamon.

Um das XXL-CT für diese Anwendungen besser nutzbar zu machen als bisher, arbeitet Salamon in einem Kooperationsprojekt mit der Firma MT-Mechatronik an einem vereinfachten Verfahren. Der wichtigste Unterschied zur herkömmlichen Methode: Nicht das Fahrzeug rotiert um sich selbst, sondern Röntgenquelle und Detektor rotieren um das Fahrzeug. Dabei wird es langsam durch die Drive-Through-Anlage nach vorne bewegt – analog zu den medizinischen CT-Anlagen, durch die der Patient auf einer Liege langsam hindurchgefahren wird.

Das Stemmeisen hat ausgedient

Ein weiteres Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung haben Wolfgang Holub, Ingenieur am EZRT, und sein Team entwickelt. Holub erklärt: »Jahr für Jahr werden in der Automobilproduktion zur Qualitätskontrolle Hunderte nagelneue Karosserien mit dem Stemmeisen aufgebrochen, um die Verarbeitung von Schweiß- und Klebeverbindungen sowie von Schrauben und Nieten zu prüfen. Unsere neue RoboCT macht es möglich, gezielt diese Stellen zu untersuchen, ohne gleich die ganze Fahrzeugkarosserie zerstören zu müssen.« Dabei werden Röntgenquelle und Detektor an Roboterarmen fixiert und kreisen synchron um das Objekt.

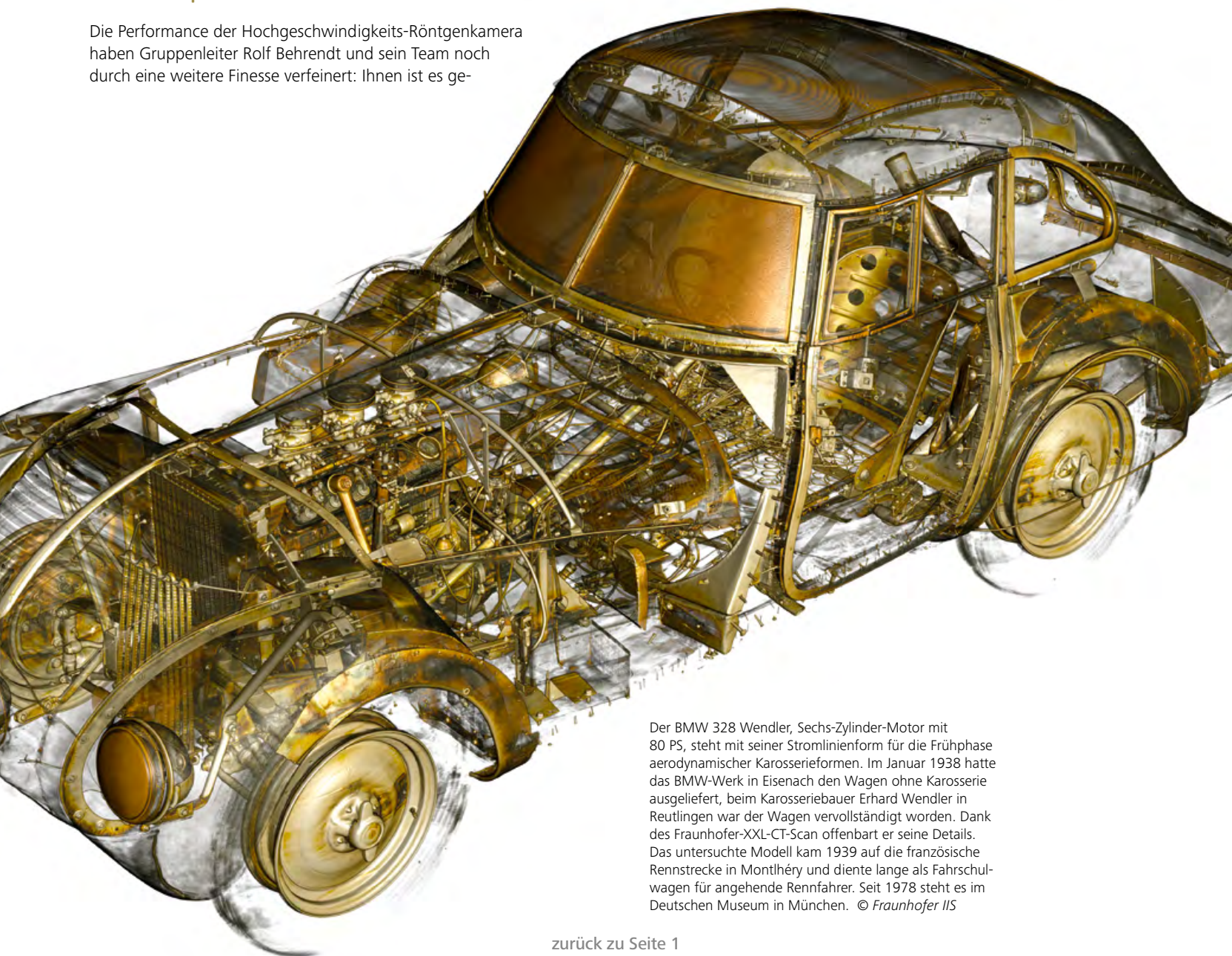


Die BMW Group hat in Zusammenarbeit mit dem EZRT bereits zwei RoboCT-Anlagen in Betrieb genommen. Eine im Forschungs- und Innovationsszentrum FIZ in München, wo RoboCT die handgefertigten Prototypen untersucht. Die andere Anlage steht im Erprobungszentrum in Eching, in dem sich die Erbkönige unter widrigsten Bedingungen beweisen müssen. Überprüft werden nicht nur die Klebe- und Schweißverbindungen, sondern auch der Sitz von Dichtungen oder die Lage von Kabelsträngen im Dachhimmel. »Da die CT-Befunde wesentlich schneller vorliegen als die Ergebnisse einer klassischen Demontage, können Automobilbauer ihre Entwicklungszeiten erheblich verkürzen«, betont Holub.

Was bei einem Aufprall im Inneren passiert

Die Performance der Hochgeschwindigkeits-Röntgenkamera haben Gruppenleiter Rolf Behrendt und sein Team noch durch eine weitere Finesse verfeinert: Ihnen ist es ge-

lungen, die Röntgenkamera und eine optische Hochgeschwindigkeitskamera so zu kombinieren, dass sie die sichtbare Oberfläche erfassen und gleichzeitig aus derselben Perspektive sehen können, was im Inneren des Objekts passiert. In einer ersten Versuchsreihe mit einem Sportartikelhersteller testeten sie, wie sich ein Fahrradhelm beim Aufprall auf einen Granitblock verformt. »Qualitätsprüfung mit optischen Hochgeschwindigkeits-Kameras ist heute State of the Art«, sagt Behrendt. »Durch die Ergänzung mit dem Röntgenbild lassen sich dynamische Prozesse wie Verformungen oder Durchmischungen wesentlich genauer analysieren.« Für die Anwendung hat er schon viele Szenarien im Blick – von Fallversuchen mit Laptops bis zur korrekten Entfaltung eines Airbags. ▶

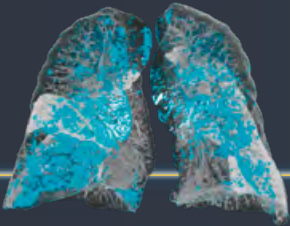


Der BMW 328 Wendler, Sechszylinder-Motor mit 80 PS, steht mit seiner Stromlinienform für die Frühphase aerodynamischer Karosserieformen. Im Januar 1938 hatte das BMW-Werk in Eisenach den Wagen ohne Karosserie ausgeliefert, beim Karosseriebauer Erhard Wendler in Reutlingen war der Wagen vervollständigt worden. Dank des Fraunhofer-XXL-CT-Scan offenbart er seine Details. Das untersuchte Modell kam 1939 auf die französische Rennstrecke in Montlhéry und diente lange als Fahrschulwagen für angehende Rennfahrer. Seit 1978 steht es im Deutschen Museum in München. © Fraunhofer IIS

125 Jahre Röntgenstrahlung

Am 8. November 1895 entdeckt der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen Strahlen, die Objekte durchdringen können. Die Möglichkeiten sind gewaltig, die Schäden in der Frühphase des Röntgens ebenso.

Medizin am Menschen



2019:
Digitale Assistenten können mithilfe künstlicher Intelligenz CT-Aufnahmen automatisch auswerten und pathologische Auffälligkeiten kennzeichnen.

1989:
Willi Kalender entwickelt die Spiral CT. Der Patient wird auf einem Tisch durch eine sich drehende Röntgenröhre geschoben, sodass sich eine spiralförmige Bewegung des Röntgenstrahls ergibt.



1939 – 1983:

Zur Früherkennung der Tuberkulose werden in Deutschland systematische, verpflichtende Röntgenreihenuntersuchungen der gesamten Bevölkerung durchgeführt.



1933 – 1945:

In der NS-Zeit werden Anlagen zur Strahlentherapie für Abtreibungen und Zwangssterilisationen missbraucht.



1920:

Bei der Strahlentherapie nutzt man die gewebeschädigende Wirkung der Röntgenstrahlen, um Tumore zu zerstören.



1896

Erste medizinische Röntgenaufnahmen: Da Wilhelm Conrad Röntgen auf eine Patentierung verzichtet, kommt die neue Technologie schnell zur Anwendung.



Meilensteine der Technik



2007:
Einsatz von Grafikprozessoren zur Bildrekonstruktion von 3D-Computertomographien

1913:

William David Coolidge entwickelt in den USA die Glühkathoden-Hochvakuum-Röntgenröhre, die Vorläuferin der meisten heutigen medizinischen Röntgenröhren ist.

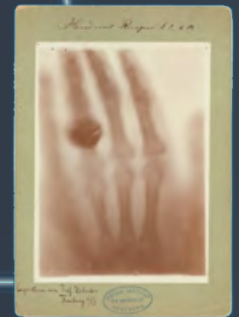


1969:

Der englische Ingenieur Godfrey N. Hounsfield stellt den ersten funktionsfähigen Laborscanner für die Computertomographie vor und erhält dafür 1979 den Nobelpreis.

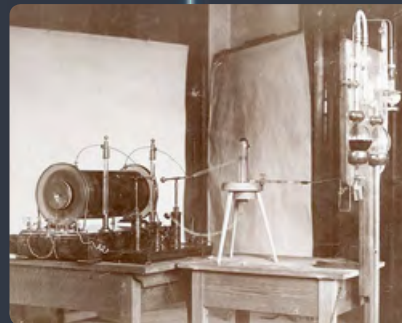
22. Dezember 1895:

Wilhelm Conrad Röntgen nimmt das erste Röntgenbild eines Menschen auf: die Hand seiner Ehefrau Anna Bertha. Deutlich zu erkennen sind die Knochen und der Ehering.



8. November 1895:

Der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen entdeckt an der Universität Würzburg Strahlen, die Objekte durchdringen können. Das Bild zeigt sein Labor.



1895



⦿ Zerörungsfrei prüfen

2017:
Der weltweit größte Röntgenlaser XFEL nimmt in Schenefeld bei Hamburg seinen Betrieb auf. Er ist über drei Kilometer lang und eröffnet völlig neue Forschungsmöglichkeiten.



2010:
Am Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik in Fürth wird die weltweit größte, öffentlich zugängliche Anlage zur XXL-Computertomographie eröffnet. Hier lassen sich sogar Flugzeuge und Autos röntgen.



1980er:
Die zerstörungsfreie Qualitätskontrolle mit Röntgentechnik wird in der Serienproduktion von Aluminiumteilen eingeführt.



1897: Wilhelm Conrad Röntgen röntgt sein Jagdgewehr und führt damit die erste zerstörungsfreie Prüfung durch.



Wilhelm Conrad Röntgen erhält für die Entdeckung der Röntgenstrahlen 1901 den ersten Nobelpreis für Physik.

⦿ Gefahr für Leib und Leben

1936:
Für die Opfer der Röntgentechnik wird das Ehrenmal der Radiologie beim Krankenhaus St. Georg in Hamburg eingeweiht. 359 Namen erinnern an die Menschen, die infolge ihrer Arbeit mit Röntgenstrahlen starben.



1928:
Gründung der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP), die erstmals eine quantitative Begrenzung der Strahlendosis für Strahlenexponierte ausspricht.

1904:
Der unbedachte Umgang mit den neuen Strahlen führt zu Verbrennungen, Haarausfall und Krebs. 1904 erscheint erstmals ein Buch über Strahlenfolgen und -schutz. Für die Arbeit mit Röntgenstrahlen wird Schutzkleidung aus Blei verwendet, die an Ritterrüstungen erinnert.



⦿ Seitenwege

Seit 1896:
Die Röntgenstrahlen werden schon früh für die künstlerische Fotografie genutzt. Zu den bekanntesten aktuellen X-Ray-Künstlern gehören die beiden Briten Hugh Turvey und Nick Veasey. »Marilyn« heißt eine von Veaseys populärsten Arbeiten (Foto).



Bis 1973:
In den Schuhgeschäften gibt es Pedoskope, mit denen die Passform der Schuhe am Fuß mit Röntgenstrahlen überprüft wird.



1897:
Nur wenige Jahre nach Entdeckung der Röntgenstrahlen werden Röntgenapparate eingesetzt, um Schmuggler zu entlarven.

Campus smart gedacht

Während die meisten Universitäten noch mit einer stabilen WLAN-Verbindung kämpfen, wird am Bildungscampus in Heilbronn bereits am Campus der Zukunft geforscht.

Text: Bianca Busch

»Wir gehen bei der Konzeption von neuen Use Cases immer der Frage nach: Wie könnte man den Campus innovativer machen, lebenswerter, komfortabler?«

Veronika Prochazka,
Leiterin der Smart
Campus Initiative

Im undurchdringlichen Gebäude-Dschungel großer Universitäten kann man sich leicht verirren. Bibliotheken, Verwaltungsgebäude, Rechenzentren, Lehr- und Forschungsstätten verteilen sich nicht selten auf zahlreiche Gebäude und Standorte. Büros, Seminarräume oder Hörsäle zu finden ist eine Kunst, an der sogar ältere Semester manchmal scheitern.

Orientierung soll zukünftig eine neue App zur Augmented Reality (AR)-basierten Navigation bieten, der »Campus Navigator«. Er gehört zu einer Reihe von digitalen Service-Angeboten, die zurzeit im Forschungsprojekt »Smart Campus Initiative« entwickelt werden und das Leben für Studierende leichter machen sollen. Das Team des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO hat die App zusammen mit Software-Experten der Firma CAMAO entwickelt. Erprobt wird sie auf dem Bildungscampus in Heilbronn, der auf innovative Weise verschiedene Bildungsinstitutionen miteinander verbindet. Studierende, Angestellte, Besucherinnen und Besucher können sich die App auf ihr



Smartphone laden und sich mit ihrer Hilfe zum Media-Lab, einem bestimmten Seminarraum oder zur Bibliothek navigieren lassen. Die Routenführung wird dabei mittels AR-Technologie direkt auf dem Bildschirm angezeigt und funktioniert sowohl im Außen- als auch im Innenraum.

Jetzt auf den Weg in die Mensa machen oder lieber später?

»Wir gehen bei der Konzeption von neuen Use Cases immer der Frage nach: Wie könnte man den Campus innovativer machen, lebenswerter, komfortabler?«, sagt Veronika Prochazka, Leiterin der Smart Campus Initiative.

Zur Verbesserung der Aufenthalts- und Arbeitsqualität arbeitet das Projektteam der Smart Campus Initiative derzeit an einem Prognosemodell zur Mensa-Auslastung. Dafür will es die Mensa mit Sensoren ausstatten, die die Anzahl der Gäste mittels Lichtschranken, Bluetooth oder mithilfe optischer Systeme erfassen. Zusammen mit den Daten aus dem Kassensystem der Mensa kann die voraussichtliche Wartezeit in der nächsten



Der Bildungscampus Heilbronn führt verschiedene Institutionen zusammen und wurde im Oktober 2012 offiziell eröffnet.
© Roland Halbe

halbem Stunde über ein neuronales Netzwerk simuliert werden. Über ein Dashboard soll diese zukünftig online abrufbar sein.

Ähnliche Prognosemodelle sind für die Auslastung des Parkhauses und der Bibliotheksräume geplant. Mithilfe einer Campus-App sollen Nutzerinnen und Nutzer zukünftig die Parkmöglichkeiten am Campus in Echtzeit sondieren und gezielt den nächsten verfügbaren Stellplatz ansteuern können. Auch für die Bibliotheksräume des Campus sind Sensoren geplant, die dabei helfen, freie Arbeitsplätze zu erfassen und Studierende zu einem geeigneten Arbeitsplatz zu navigieren.

Auch jenseits des Campus nützlich

Welche der geplanten Anwendungen in Zukunft tatsächlich zum Einsatz kommen, hängt in erster Linie von dem Erfolg der Pilotprojekte ab. »Wenn wir Apps oder Lösungen entwickeln, geht es uns erst mal darum, nachzuweisen, dass das Vorhaben durchführbar ist, und nicht darum, den Service tatsächlich dauerhaft anzubieten«, betont Prochazka. In einem nächsten Schritt ist aber auch eine Ausweitung der

entwickelten Smart Services über die Campusgrenzen hinaus denkbar: »Es ist unser erklärtes Ziel, das, was wir hier am Campus ausprobieren und was funktioniert, auch auf komplett andere Kontexte zu übertragen.«

Viele der Smart Services könnten zukünftig auch in großen Unternehmen oder Städten zum Einsatz kommen.

»Wir beschäftigen uns in der Smart Campus Initiative zudem mit der Frage, welche der geplanten Technologien unter welchen Rahmenbedingungen was leisten können. Wäre zum Beispiel eine datenschutzkonforme Kamera zur automatisierten Erfassung von Parkplätzen kostengünstiger als die Anbringung von Sensoren? Oder gibt es vielleicht Möglichkeiten, über bestehende Sensorstrukturen an diese Informationen heranzukommen?«, erklärt Prochazka.

Nach der Corona-Krise, so ist Prochazka überzeugt, wird es weiterhin Mischformen aus Digital- und Präsenzlehre an den Hochschulen und Universitäten geben. Daher denken sie und ihr Team nun verstärkt über Service-Angebote nach, die auch das neue virtuelle Miteinander erleichtern könnten. ■

Mithilfe der Campus-App zielgerichtet den nächsten verfügbaren Parkplatz ansteuern.

Wie Sicherheitsbehörden künftig kommunizieren



»Die Fraunhofer-Lösung eröffnet ganz neue Möglichkeiten, komplexe Informationen im Einsatz auszutauschen.«
Frank-Michael Löst,
Landeskriminalamt
Sachsen

Dr. Kamen Danowski vom Fraunhofer IVI (links) und Frank-Michael Löst vom Landeskriminalamt Sachsen erhalten für ihre Technologie zur Informationsübermittlung und Koordination den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.
© Alle Fotos Fraunhofer-Preise: Fraunhofer/Piotr Bancerowski



Um praktische Herausforderungen der Terrorismus- und Kriminalitätsbekämpfung lösen zu können, entwickelte ein Team aus Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI aus Dresden und Polizeibeamten eine neue Technologie zur Informationsübermittlung und Koordination im Einsatz. Dafür erhalten sie den Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2020. Durch ihren hohen Nutzen in der Praxis und die Akzeptanz der Anwender etablierte sich die Lösung bundesweit.

Texte: Janine van Ackeren

Bei Attentaten, Terroranschlägen oder Geiselnahmen stehen die Einsatzkräfte vor extremen Herausforderungen. Das große Gefahrenpotenzial erfordert von den Sicherheitsbehörden höchste Professionalität sowie beste technische Ausstattung. »Bei solchen Einsatzlagen stehen die Sicherheitskräfte unter einer enormen Belastung – schließlich geht es um den Schutz der Bevölkerung«, sagt Sven Mewes, Leitender Polizeidirektor im Landeskriminalamt Sachsen. »Daher ist eine sichere Technologie extrem wichtig, über welche die Einsatzkräfte untereinander Informationen austauschen können – und die auch unter großem psychischen Druck leicht zu bedienen ist.«

Eine solche Technologie haben Dr. Kamen Danowski vom Dresdner Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI und Frank-Michael Löst vom Landeskriminalamt Sachsen gemeinsam entwickelt. Für diese Leistung werden sie mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet. Die Jury überzeugte besonders die gesellschaftliche Relevanz der Arbeit.

Das System wächst mit

»Bis zur Einführung der neuen Technologie waren wir als polizeiliche Einsatzkräfte bei der Kommunikation auf den Funk und das Telefon angewiesen. Die Fraunhofer-Lösung ist zukunftsorientiert und eröffnet ganz neue Möglichkeiten, komplexe Informationen im Einsatz auszutauschen und die Handlungen zu koordinieren. Darüber hinaus unterstützt sie die schnelle und zuverlässige länder- und behördenübergreifende Kommunikation«, sagt Löst.

Nach dem Erfolgsrezept befragt, herrscht Einigkeit auf allen Seiten: Der Schlüssel ist neben der Fachkompetenz die optimale Form der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Polizei. »Wir leben keine Kooperation, wir leben eine Partnerschaft. Die Technikseite muss die Taktikseite verstehen und umgekehrt – und das funktioniert hier ganz herausragend«, sagt Mewes. Dr. Kamen Danowski ergänzt: »Die hohe Akzeptanz und das positive Feedback freuen uns. Durch unsere sehr enge Zusammenarbeit gestalten die Einsatzkräfte die Entwicklungsarbeiten unmittelbar mit uns. Somit können wir Forschungsergebnisse gezielt und schnell in die Praxis überführen.« Neue Ideen und Konzepte werden gemeinsam erstellt und schrittweise von dem Entwicklungsteam umgesetzt. In miteinander abgestimmten Zyklen erhalten die Einsatzkräfte die gewünschten neuen Funktionen zur Nutzung.

Hohe Akzeptanz führt zum bundesweiten Standard

In Sachsen gestartet, wurde die Technologie sukzessive in mehreren Bundesländern eingeführt und wird als bundesweiter Standard etabliert. »Wir haben uns von Anfang an in der Entwicklung mit Partnerbehörden aus mehreren Bundesländern abgestimmt und diese als Kooperationspartner und Nutzer gewonnen«, sagt Löst.

Am Fraunhofer IVI werden seit 2003 Lösungen für die innere Sicherheit mit dem Schwerpunkt Führungs- und Kommunikationssysteme in sehr enger Zusammenarbeit mit den Anwendern entwickelt und unmittelbar in den praktischen Einsatz überführt. Partner und Anwender sind Entscheidungsträger und Einsatzkräfte der Polizei, der Feuerwehr, des Rettungsdienstes und des Katastrophenschutzes. ■

»Eine sichere Technologie ist extrem wichtig – eine, die auch unter großem Druck leicht zu bedienen ist.«

Sven Mewes,
Leitender Polizeidirektor
im Landeskriminalamt
Sachsen

Wenn Glas den Flammen widersteht

Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen und das Familienunternehmen Hörmann haben eine neuartige Brandschutzverglasung entwickelt – und innerhalb von vier Jahren vom Labor in die Produktion überführt. Kein giftiges Acrylamid mehr, etwa 85 Prozent weniger Prozessabfälle, schlankerer Produktionsprozess, maximale Leistungsfähigkeit: Dafür erhält das Entwicklerteam den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

»Das Projekt hatte einige Momente, in denen etwas klappte, was augenscheinlich nicht klappen kann.«

Thomas Baus,
Hörmann KG
Glastechnik

Eigentlich dürfte die Entwicklung des Fraunhofer UMSICHT und der Hörmann KG, Europas Marktführer für Türen und Tore, nicht funktionieren: Doch sie funktioniert – und übertrifft sogar alle Erwartungen: So verzichtet das neue Brandschutzglas auf krebserzeugendes Acrylamid und lässt sich somit toxikologisch unbedenklich verarbeiten. Statt 150 bis 160 Kilogramm wie bisher fallen bei der Herstellung der neuartigen Brandschutztüren pro Tag nur 20 Kilogramm Prozessabfälle an. Die Automatisierungsrate ist höher, der Produktionsprozess verschlankt, die Nachvollziehbarkeit und die Reproduzierbarkeit sind auf ganzer Linie gegeben. Bei Bränden widersteht die Verglasung den Flammen und der Hitze über 1000 °C mit den geforderten Standzeiten, die bis zu 120 Minuten betragen können. Für diese bahnbrechende Entwicklung erhalten Dr. Holger Wack und Damian Hintemann vom Fraunhofer UMSICHT und Thomas Baus von der Hörmann KG Glastechnik den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Kühlender Wasserdampf und hitzedämmende Salzsicht

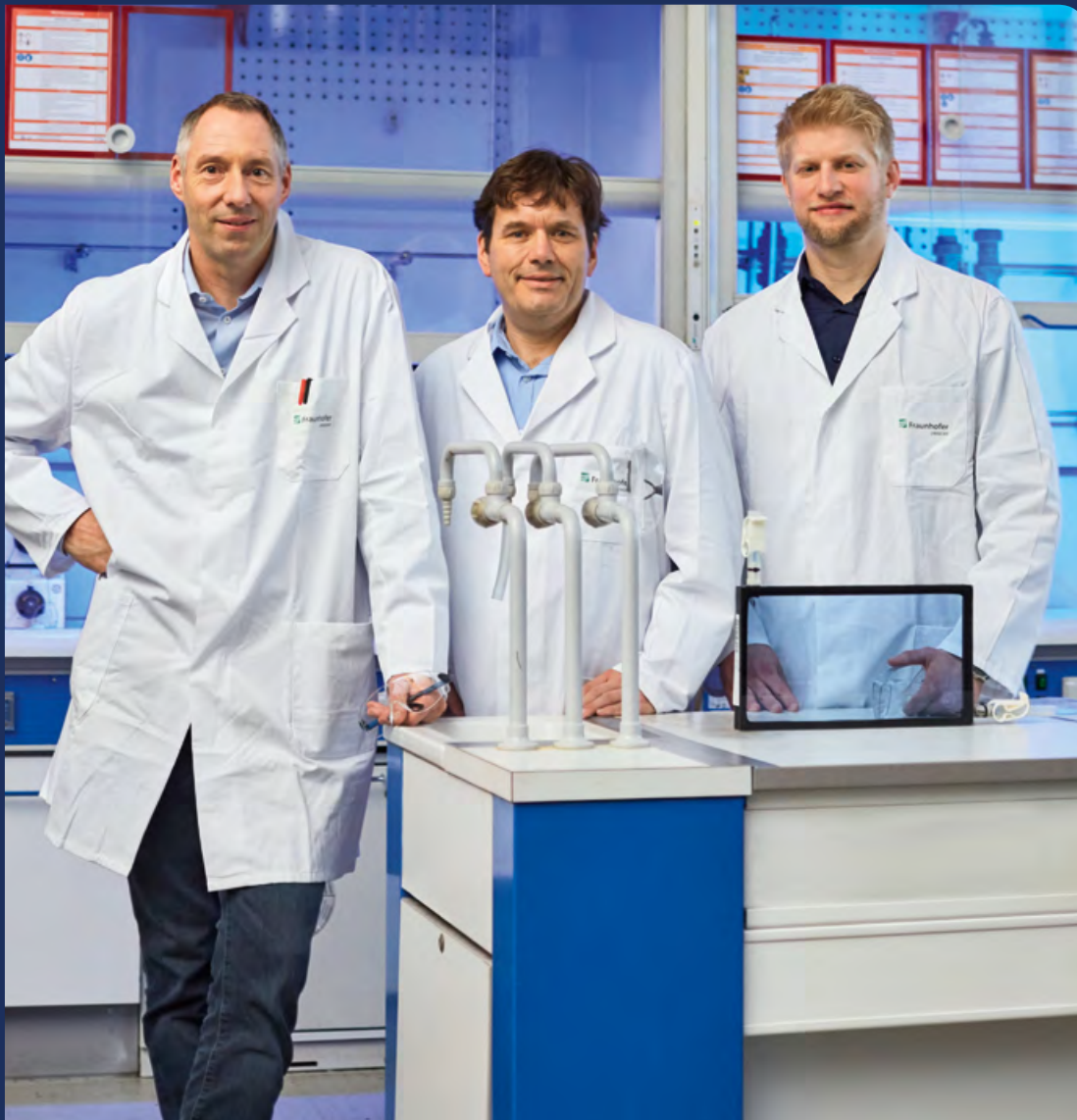
Brandschutzverglasungen enthalten zwischen zwei Glasscheiben ein transparentes wasser- und elektrolytreiches Gel. Bricht ein Brand aus, hält die den Flammen zugewandte Glasscheibe der hohen Temperatur nicht lange stand und zerspringt. Nun kommen zwei Mechanismen in Gang: Das Wasser aus dem Gel verdampft und kühlt die noch intakte zweite Verglasung. Zum anderen bildet sich eine hitzedämmende Salzsicht. Anhand ihrer Datenbasis haben die Fraunhofer-Forscher zunächst ein Screening gemacht: Welche Gele eignen sich für eine solche Brandschutzverglasung?

Nach etwa 60 Fehlversuchen haben sie aus Vollständigkeitsgründen eine Basiskomponente getestet, die theoretisch gar nicht funktionieren kann. »Tut sie aber doch«, schmunzelt Wack. Genau wollen sich die Forscher hier nicht in die Karten schauen lassen, nur so viel ergänzt Baus: »Das Projekt hatte einige solcher Momente, in denen etwas klappte, was augenscheinlich nicht klappen kann.«

Vier Jahre vom Labor bis zum Werk

Bereits die erste Brandprüfung, die die Forscher nach nur kurzer Entwicklungszeit durchführten, verlief vielversprechend: Im ersten Versuch erreichten sie eine 30-minütige Brandperformance, wie sie sagen. Es folgte der Scale-up vom Becherglas in einer Demonstrationsanlage am Fraunhofer UMSICHT. »Wir haben die Idee innerhalb von nur vier Jahren vom Labor in die Praxis überführt – für eine komplette verfahrenstechnische Entwicklung eine sehr kurze Zeit. Üblicherweise liegt die Realisationszeit bei zehn bis zwölf Jahren«, sagt Hintemann.

Auf Basis der erfolgreichen Entwicklung entschied sich die Familie Hörmann 2016 zur Unternehmensausgründung der Hörmann KG Glastechnik und baute ein neues Werk im Saarland, in dem die Brandschutzgläser produziert werden. Insbesondere diese Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis – im Zusammenspiel mit der herausragenden Kooperation des Fraunhofer UMSICHT und des Familienunternehmens Hörmann – überzeugte die Jury von dem Projekt. »Wir haben nicht nur ein Brandschutzglas entwickelt«, betont Thomas Baus, »sondern die Brandschutzglasherstellung neu erfunden.« ■



Dr. Holger Wack, Damian Hintemann vom Fraunhofer UMSICHT und Thomas Baus von der Hörmann KG Glastechnik (v.l.) erhalten für das von ihnen entwickelte Brandschutzglas auf Hydrogelbasis den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.



»Wir haben die Idee innerhalb von nur vier Jahren vom Labor in die Praxis überführt.«

Damian Hintemann, Fraunhofer UMSICHT

Neues Brandschutzglas: Kein giftiges Acrylamid mehr, etwa 85 Prozent weniger Prozessabfälle, schlankerer Produktionsprozess, maximale Leistungsfähigkeit.

Täuschungssichere Satellitennavigation

Polizei, Zoll, Feuerwehr, kritische Infrastrukturen: Sie alle sind zunehmend angewiesen auf Satellitennavigation. Doch diese ist leicht zu stören und zu manipulieren. Ein Forscherteam des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS aus Nürnberg schafft Sicherheit – mit einer robusten, vertrauenswürdigen und täuschungssicheren Lösung. Dafür erhält es den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

»Es ist das weltweit erste verschlüsselte Signal für die Nutzung im zivilen hoheitlichen Bereich.«
Alexander Rügamer, Fraunhofer IIS

Rund 20 000 Kilometer über der Erde ziehen Navigationssatelliten ihre Bahnen – mit einer Geschwindigkeit von etwa vier Kilometern pro Sekunde. Von dort senden sie permanent Daten zu ihrer aktuellen Position samt atomuhr-genauem Zeitstempel. Zahlreiche Anwendungen hängen von diesen Daten ab: vom Navigationssystem im Auto bis hin zu kritischen Infrastrukturen wie Energie-, IT- oder Mobilfunknetzen. Doch ist dieses System verwundbar: Störsender, auch Jammer genannt, können den Empfang von Satellitennavigationsdaten verhindern und Täuscher, sogenannte Spoofer, können Navigationssystemen zum Beispiel falsche Orts- und Zeitinformationen vorspielen. Im zivilen Bereich gab es bisher allerdings keine Alternative zu den ungeschützten Satellitendaten – bis jetzt.

Sicherer Empfang mit Galileo

Ein Forscherteam am Fraunhofer IIS in Nürnberg hat diese Lücke geschlossen: mit robusten, vertrauenswürdigen und täuschungssicheren Empfängertechnologien auf Basis von europäischen Galileo-Navigationssignalen.

Stellvertretend für das Team werden Alexander Rügamer, Dr. Günter Rohmer und Dr. Wolfgang Felber mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet. Die Jury begründet die Preisvergabe unter anderem mit der Pionierarbeit der Antragsteller im Bereich der serverbasierten Kryptoempfänger und -systeme. »Der Galileo Public Regulated Service, kurz PRS, ist das weltweit erste verschlüsselte Signal für die Nutzung im zivilen hoheitlichen Bereich«, sagt Rügamer. Es bietet verschiedene Vorteile: Da Galileo ein ziviles, europäisches System ist, bestehen keinerlei Abhängigkeiten von den USA oder Russland, deren Systeme von militärischen Einrichtungen betrieben werden. Zudem ist es robust gegen Jamming und Spoofing. Ein PRS-Empfänger für zivile Einsätze, der Zugang

nur für autorisierte Anwender möglich macht, wurde vom IIS-Forscherteam entwickelt. Diese Empfängertechnologie wurde bereits in Polizei- und Feuerwehrautos verbaut, um Praxiserfahrungen für zukünftige Produkte zu sammeln.

Miniaturisierte, energiesparende und günstige Endgeräte

Für den Massenmarkt sind die neuartigen Empfänger jedoch zu kostenintensiv und aufwändig. »Wir haben PRS-Systeme daher noch mal gänzlich anders gedacht«, erläutert Rohmer. Denn im Grunde ist es ausreichend, die »Signale vom Himmel« aufzuzeichnen, sie statt im Gerät in einer speziellen Server-Infrastruktur auszuwerten und nur die verifizierten Orts- und Zeitinformationen an das Gerät zurückzuschicken. Den entsprechenden weltweit ersten und bisher einmaligen PRS-Server einschließlich Applikationsdemonstratoren betreibt das Forscherteam am Fraunhofer IIS in Nürnberg.

Simulatoren zum Test

Für die Entwicklung konkreter Anwendungen sind Simulatoren unersetzlich. Denn über einen PRS-Signal-Simulator können Hersteller und Anwender grundlegende Fragen beantworten: Wie reagiert der Empfänger, wenn er schnell beschleunigt wird – etwa in Fluggeräten? Funktioniert er auch in Australien? Das weltweit einzige kommerziell erhältliche System dazu stammte vom britischen Unternehmen Spirit. Aufgrund des Brexits darf die Firma keine Produkte zur Nutzung von PRS-Signalen mehr anbieten, denn diese sind EU-Firmen vorbehalten. »Wir haben daher die Weiterentwicklung der PRS-Module für den Signalsimulator übernommen«, sagt Felber. Damit stammt zwar der Simulator weiterhin aus Großbritannien, alles rund um die PRS-Daten kommt jedoch aus dem Fraunhofer IIS. ■



Für ihre neue sichere Empfängertechnologie erhalten Dr. Wolfgang Felber, Dr. Günter Rohmer und Alexander Rügamer (v.l.) den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

»Wir haben PRS-Systeme noch mal gänzlich anders gedacht.«

Dr. Wolfgang Felber, Fraunhofer IIS



Die Empfängertechnologie wurde bereits in Polizei- und Feuerwehrautos verbaut, um Praxiserfahrungen für zukünftige Produkte zu sammeln.

Stefan Matlok (links) und Dr. Bernd Eckardt erhalten für die Entwicklung einer neuen Generation der Gleichspannungswandler den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.



Hoher Wirkungsgrad trotz kompakter Abmessungen: Der Gleichspannungswandler aus dem Fraunhofer IISB ist ein wichtiger Schritt in Richtung Energie- und Mobilitätswende.



»Unser Gleichspannungswandler erreicht einen Wirkungsgrad bis zu 99 Prozent. Damit sind die Verluste mehr als halbiert.«

Dr. Bernd Eckardt, Fraunhofer IISB

Die neue Generation der Gleichspannungswandler

Für die Energie- und Mobilitätswende spielen Brennstoffzellen eine tragende Rolle. Eine zentrale Herausforderung dabei ist ihre Energieeffizienz – gerade für den Fahrzeugbau. Hierfür müssen die einzelnen Bauteile möglichst leicht und klein sein und dabei einen hohen Wirkungsgrad aufweisen. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB haben nun das Unmögliche möglich gemacht und eine neue Generation von Gleichspannungswandlern entwickelt, die ebendiese Anforderungen erfüllt. Für diesen Schritt in die Zukunft erhalten die Forscher den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Mal eben zum Supermarkt oder in die Stadt? Bei solchen Kurzstrecken punkten batterieelektrische Fahrzeuge. Für Nutzfahrzeuge, Flugzeuge und Schiffe ist dagegen ein Brennstoffzellenantrieb vielversprechend: Dort wandelt eine Brennstoffzelle Wasserstoff in Strom um. Dafür sind jedoch zahlreiche Komponenten vonnöten – sie alle müssen kleiner und leichter werden, um das Fahrzeug möglichst energieeffizient fahren zu lassen. Eine dieser Komponenten ist der Gleichspannungswandler: Er passt die Spannung der Brennstoffzelle an den Antrieb an und steuert den Energiefluss.

Wirkungsgrad erhöht, Verluste halbiert

Dr. Bernd Eckardt und Stefan Matlok vom Fraunhofer IISB in Erlangen haben nun einen Gleichspannungswandler entwickelt, der trotz ausgesprochen kompakter Abmessungen einen sehr hohen Wirkungsgrad erzielt – und werden dafür mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet. Die Jury hob besonders die Zukunftsrelevanz der Arbeitsergebnisse hervor sowie die erfolgreiche wirtschaftliche Umsetzung. »Während herkömmliche Gleichspannungswandler einen Wirkungsgrad von etwa 97 bis 98 Prozent haben, erreicht unserer bis zu 99 Prozent«, sagt Eckardt. »Das mag erst einmal nicht sonderlich viel klingen, doch damit sind die Verluste mehr als halbiert, und es kommt auf jedes Zehntelprozent an.« Schließlich fließt durch den Wandler eine Leistung von 200 000 Watt. Bei einem Verlust von einem Prozent heißt das: Es geht eine Leistung von zwei Kilowatt in Form von Wärme verloren.

Der Lehrmeinung zum Trotz

Während die elektrischen Wandler für die Brennstoffzellen derzeit etwa zehn Liter Bauraum beanspruchen, kommt der

Wandler aus dem Fraunhofer IISB mit der Hälfte aus. In Kombination mit dem hohen Wirkungsgrad ist das eine Sensation. Schließlich verursachen hohe Schaltfrequenzen und kleine Bauteile im Allgemeinen mehr Verluste. Dieser Lehrmeinung zum Trotz entwickelten die beiden Ingenieure neue Technologien, welche hocheffiziente und sehr kleine Wandler erlauben. »Was wir geschafft haben, galt bis jetzt als unmöglich«, erinnert sich Matlok. »Möglich wurde es, indem wir immer tiefer in die physikalischen Effekte der Schaltungen und Bauteile gegraben haben – und durch dieses genaue Hinschauen neue Effekte verstehen und nutzen konnten. Das führte unter anderem zu neuen Schaltmethoden. Zudem gibt es permanent neue Technologien: Unsere Kollegen und spezialisierte Firmen aus den entsprechenden Fachgebieten entwickeln stets leistungsfähigere einzelne Bauteile, welche wir im Team zu immer stärkeren Wandlern zusammenbringen können. Schließlich deckt das Fraunhofer IISB alle wichtigen technologischen Bereiche der Leistungselektronik ab und verfügt über das jeweils nötige Mess- und Herstellungs-Equipment aus den verschiedenen Gebieten.« Und so realisiert das Institut die komplette Wertschöpfungskette – von der Materialentwicklung über die Technologie der Chipherstellung und die Aufbautechnik bis hin zum Leistungselektronik-System.

Transfer in die Wirtschaft

In der Klimakammer vor Ort haben die Forscher den Spannungswandler – eingebaut in einem Auto – auf seine Funktionstauglichkeit getestet: Die Temperaturen variierten dabei von 25 Grad minus bis 50 Grad plus. Auch eine Praxiserprobung, die ein Autokonzern im winterlichen Norwegen durchführte, verlief sehr vielversprechend. Noch im Jahr 2020 wollen die beiden Preisträger daher mit einem kleinen Kernteam eine Firma ausgründen, die die Gleichspannungswandler vertreiben wird. ■

»Was wir geschafft haben, galt bis jetzt als unmöglich.«

Stefan Matlok,
Fraunhofer IISB

Ultrakurzpuls-laser für Großbauteile

Paradigmenwechsel in der Fertigung: Bei der Laserstrukturierung von Oberflächen setzt ein Forscherteam unter Beteiligung des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT aus Aachen erstmals eine Vielzahl von Laserstrahlen als Werkzeuge gleichzeitig ein. Das beschleunigt den Prozess – und schafft neue Einsatzmöglichkeiten. Für diese Entwicklung erhalten die Wissenschaftler den Wissenschaftspreis des Stifterverbandes »Forschung im Verbund«.

»Wir betreiben praktisch die Kunst des Werkzeugklonens.«

Dr. Arnold Gillner,
Fraunhofer ILT

Die Laserstrukturierung mit Ultrakurzpulslasern ermöglicht es, funktionale Mikro- und Nanostrukturen in beliebige Oberflächen einzubringen. Da hierbei üblicherweise nur ein Strahl einer Laserstrahlquelle die Arbeit verrichtet, war dieser Ansatz für die Mikro- und Nanostrukturierung großer Walzen, mit denen sich Strukturen in Stoffe, Leder oder Karton prägen lassen, zu zeitaufwendig und damit zu teuer. Prägwalzen wurden daher bislang über Ätzprozesse hergestellt. Umwelttechnisch alles andere als ideal – aber es fehlte bislang eine wirtschaftliche Alternative.

Nicht ätzend

Eine Kooperation der ganz eigenen Art lässt die Laserstrukturierung erstmals rentabel werden. Der Clou: Statt nur einen ultrakurz gepulsten Laserstrahl über die Oberfläche zu lenken, wird die Laserenergie auf eine Vielzahl von Laserstrahlen gleicher Leistung aufgeteilt. Genauer gesagt: auf 200 Teilstrahlen. Durch ein spezielles optisches System lassen sich diese einzeln schalten und in ihrer Leistung modulieren, sodass ein neues digital steuerbares Werkzeug entsteht. Da viele Werkzeuge gleichzeitig die Oberfläche bearbeiten, ist der Prozess um ein Vielfaches schneller als die herkömmliche Laserbearbeitung. Erstmals lassen sich somit auch große Bauteile unter wirtschaftlichen Randbedingungen bearbeiten. Entwickelt wurde die Technologie von Dr. Arnold Gillner, Martin Reininghaus und Dr. Johannes Finger vom Fraunhofer ILT im Verbundprojekt MultiSurf gemeinsam mit Dr. Stephan Brüning von der Schepers GmbH & Co. KG, Dr. Gerald Jenke von der Matthews International GmbH, Dr. Keming Du von

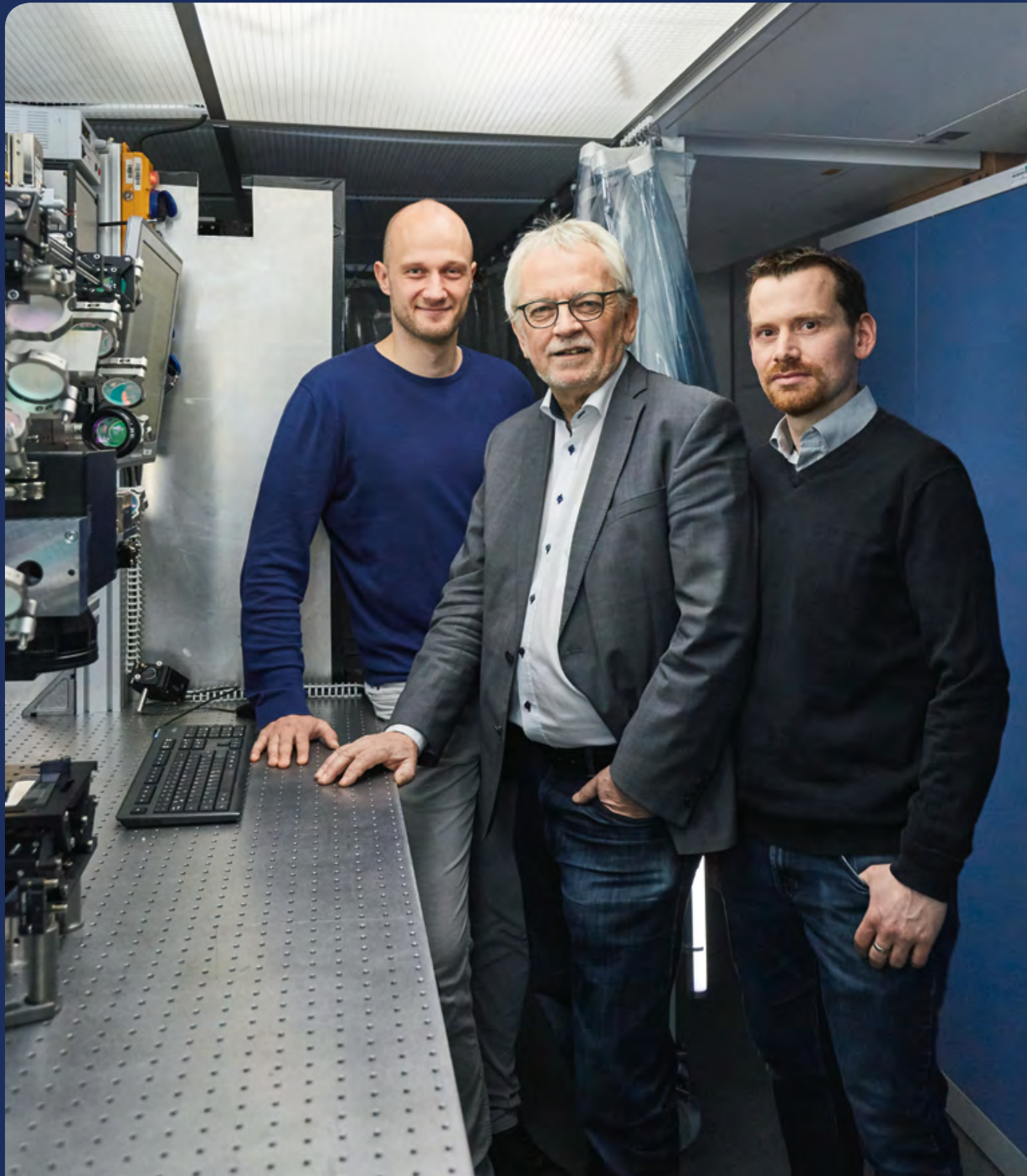
der EdgeWave GmbH Innovative Laser Solutions und Dr. Manfred Jarczyński von der LIMO GmbH. Dafür erhalten sie den Wissenschaftspreis des Stifterverbandes »Forschung im Verbund«.

»Wir betreiben praktisch die Kunst des »Werkzeugklonens«, sagt Gillner, Abteilungsleiter am Fraunhofer ILT. »Das ist ein Paradigmenwechsel in der Fertigung: Denn bisher kommt immer nur ein Werkzeug zum Einsatz.« Was einfach klingt, ist überaus kompliziert. Denn um den Laserstrahl aufzuteilen, ist eine komplizierte Strahlführung nötig, die nicht dazu führen darf, dass der Laserstrahl Energie einbüßt. Auch die Strahlqualität muss optimal bleiben. Die Forscher entwickelten daher den entsprechenden Laser, die notwendigen Optiken und passten die Technologie prozessseitig an. Simulationen halfen dabei, das generelle Prozessverständnis zu verbessern.

Kooperation auch auf menschlicher Ebene

Nicht nur die Laserstrahlen kooperieren bei dem Projekt. So ist bei der Firma Schepers in Zusammenarbeit mit der Firma LIMO bereits eine Acht-Strahl-Laserstrukturierungsanlage in Betrieb und die Matthews International GmbH stellt über das neue Laserverfahren Druckwalzen her. Auch diese Zusammenarbeiten haben die Jury von dem Projekt überzeugt. Besonders wichtig war ihr, dass sich im Verbund die Wertschöpfungskette passgenau abbilden lässt – und der Ansatz für die mittelständischen Unternehmen wirtschaftlich umsetzbar ist. ■

Paradigmenwechsel in der Fertigung: Bei der Laserstrukturierung von Oberflächen setzt ein Forscherteam erstmals eine Vielzahl von Laserstrahlen als Werkzeuge gleichzeitig ein. Das beschleunigt den Prozess – und schafft neue Einsatzmöglichkeiten.



Die Wertschöpfungskette lässt sich im Verbund passgenau abbilden – und für mittelständische Unternehmen wirtschaftlich umsetzen, lobte die Jury.

Martin Reininghaus, Dr. Arnold Gillner und Dr. Johannes Finger (v.l.) erhalten für ihre Entwicklung den Wissenschaftspreis des Stifterverbandes »Forschung im Verbund«.

Überall dort, wo es voll ist, steigt das Risiko terroristischer Anschläge. Eine innovative Software kann das Gefahrenpotenzial von Sprengsätzen detailgetreu berechnen. © *Unsplash*



Tödliche Splitter

Selbst gebaute Bomben können fast überall deponiert werden. Eine neue Analysesoftware des Fraunhofer EMI unterstützt die Polizei dabei, die Bevölkerung zu schützen.

Text: Britta Widmann

Paris, Brüssel, Manchester, London – immer wieder rücken europäische Metropolen ins Visier von Terroristen. Terror mit selbst hergestellten Sprengsätzen. Die Gefahr wächst. Bauanleitungen gibt es im Internet, die Bestandteile sind ohne große Probleme zu bekommen, die nötigen Chemikalien finden sich in Alltagschemie wie Wasch- oder Düngemitteln. Doch das Gefahrenpotenzial der Explosivstoffe variiert stark. Welchen Schaden die Bomben anrichten, können Polizeibehörden künftig mit einer Analysesoftware ermitteln, die ein Forscherteam am Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI in Freiburg entwickelt hat.

Nicht jede Bombe detoniert. Damit ein Gericht das Strafmaß festlegen kann, muss es wissen, wie gefährlich sie tatsächlich war. »Mit unserem Tool kann man berechnen, welchen Schaden die Sprengsätze verursachen können. Mit den Simulationen lassen sich Aussagen zu Parametern wie Distanzen, die die Fragmente zurückgelegt haben, Sprengstoffmenge, Sprengstoffart, Ummantelungsmaterialien und deren Wandstärke treffen«, sagt Dr. Katharina Roß, Mathematikerin am Fraunhofer EMI. »Auf die kosten- und zeitaufwendigen Rekonstruktionssprengungen kann zwar nicht ganz verzichtet werden, ihre Anzahl lässt sich jedoch dank unseres Analyse-Tools reduzieren.«

Je dickwandiger die Ummantelung, desto gefährlicher die Fragmente

Fokus der Arbeiten der Forscherin und ihres Teams liegt auf der Vielzahl möglicher, selbst gebauter Sprengsätze. Hier ist die Bandbreite enorm groß und reicht von umkonstruierten Getränkedosen bis hin zu Rohrbomben. Um das Schadensausmaß zu bestimmen, müssen die Auswirkungen von Druckwelle und entstehenden Fragmenten berechnet werden. Dabei gilt: Je dickwandiger die Ummantelung, desto schwerer und gefährlicher fallen die Bruchstücke aus. Insbesondere die Masse und die Geschwindigkeit der Splitter beeinflussen das Potenzial des Schadens. Eine Besonderheit des Analysetools: Es berücksichtigt nicht nur runde, sondern

auch komplexe eckige wie quadratische und rechteckige Geometrien, über die bislang sehr wenige systematische Forschungserkenntnisse vorliegen.

Um die Gefährdung beurteilen zu können, wird bei den Fragmenten zwischen drei Arten unterschieden: ungefährliche, Verletzungen hervorrufende und tödliche Splitter. Die Berechnung des Schadenspotenzials mittels spezieller numerischer Simulationen ermöglicht dann eine solche Risikobewertung. »Wir können berechnen, welche Splitter entstanden sind, und erhalten genaue Angaben zu Abgangsgeschwindigkeit und Abgangswinkel. Basierend auf diesen Informationen sind wir in der Lage, präzise Algorithmen zu entwickeln«, erläutert Roß. Die numerischen Simulationen ergänzen die Forschenden durch reale Sprengversuche mit entsprechenden typischen Homemade-Sprengstoffen.

Sicherheitskonzepte verbessern

Von dem neuen Expertensystem profitieren nicht nur Polizeibehörden, auch Eventagenturen oder Stadtverwaltungen werden in die Lage versetzt, verschiedene Sicherheitskonzepte zu prüfen, etwa bei innerstädtischen Massenveranstaltungen wie einem Kirchentag oder einem Marathonlauf. In Abhängigkeit von verschiedenen Variablen können sie beispielsweise ermitteln, ob und wo Läufer und Zuschauer sicher sind, und dabei sogar den Effekt von möglichen Schutzmaßnahmen einkalkulieren oder Evakuationsradien einbeziehen. Auch der durch die Polizeiarbeit verhinderte Schaden lässt sich mit dem Tool bestimmen, da nun nach der Vereitelung eines Anschlags die Möglichkeit besteht, den Anschlag nachzustellen und den verhinderten Schaden zu quantifizieren.

Die erste Versuchsreihe mit Sprengmitteln mit komplexen Geometrien hat gezeigt, dass die Simulationsergebnisse mit den Sprengversuchen sehr gut übereinstimmen. Weitere Planspiele, die forensische und präventive Szenarien nachstellen, stehen im Herbst an und sind zugleich eine Evaluation der Analysesoftware mit Experten des Bundeskriminalamts. ■

Für das Urteil der Gerichte wichtig: Welche Sprengkraft hätte die Bombe gehabt?

Schwimmt bald mehr Müll im Meer als Fische? Die Menge an Plastik, die jährlich im Meer landet, nimmt ständig zu.
© Grant Thomas



Klar Schiff am Meeresgrund

Ländergroße schwimmende Plastikinseln mitten im Ozean sind buchstäblich nur die Spitze des größten Müllbergs der Welt. 90 Prozent des Plastikmülls liegen verborgen am Boden der Meere. Die europäische Initiative SeaClear will nun mithilfe von Flug- und Tauchrobotern dort aufräumen.

Text: Mandy Bartel

Als Victor Vescovo im Mai 2019 auf der Jagd nach einem neuen Tiefenrekord zum tiefsten Punkt des Pazifiks tauchte, traute er seinen Augen nicht. Zunächst hatte er auf ein neues biologisches Phänomen gehofft. Doch was in fast 11 000 Metern Tiefe im Licht seines Hightech-U-Bootes auftauchte, war – ordinärer Plastikmüll.

Bis zu 12,7 Millionen Tonnen Plastikmüll landen in den Weltmeeren – pro Jahr. So schätzt es der World Wide Fund For Nature (WWF). Das entspricht einer Lastwagenladung pro Minute. Laut einer Studie des Weltwirtschaftsforums betrug schon 2014 das Verhältnis von Kunststoff zu Fisch eins zu fünf. Bedenkt man, dass die weltweite Kunststoffproduktion sich Prognosen zufolge bis 2050 vervierfachen könnte, gäbe es in 30 Jahren genauso viel Plastikmüll wie Fische im Meer – oder mehr.

Roboter räumen auf

Das wahre Ausmaß der gigantischen Müllkippe zeigt sich erst unter der Oberfläche: Mehr als 90 Prozent des Abfalls liegen am Meeresgrund. Dabei sind Küstenregionen besonders betroffen. In einem EU-Projekt mit internationalen Partnern hat das Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML in Hamburg nun ein Konzept mitentwickelt, um am Meeresboden aufzuräumen.

»Wir vernetzen verschiedene Roboterfahrzeuge auf und unter Wasser sowie in der Luft miteinander«, erklärt Johannes Oeffner, Leiter des Teams Maritime Technologies & Biomimetics am CML, die Idee dahinter. Ein autonom fahrendes oder ferngesteuertes, unbemanntes Mutterschiff an der Oberfläche (USV) wird von Unterwasserrobotern (ROVs) und einer

Flugdrohne unterstützt. Die Drohne, das USV und ein ROV kartieren den Müll auf der Oberfläche und in der Wassersäule. Ein zweiter Unterwasserroboter sammelt anhand dieser Informationen den lokalisierten Abfall mit einem speziell angefertigten Greifarm und einer Saugvorrichtung am Meeresboden und bringt ihn zu einem getauchten Sammelbehälter am USV, der den Müll auf ein Schiff verfrachtet.

Trübe Gewässer und Touristenküsten

Getestet wird das Verfahren derzeit an zwei Standorten mit ganz unterschiedlichen Herausforderungen. In Hamburg erproben die Projektpartner ein industrielles Hafen-Szenario. Hohes Schiffsaufkommen, eine bestehende Infrastruktur, geregelte Abläufe und vor allem eine schlechte Sicht unter Wasser bilden dort die Rahmenbedingungen. »Wir setzen hier auf eine Kombination aus mehreren Sensoren. Vor allem akustische Sensoren helfen uns in trüben Umgebungen, Entfernungen zu messen und Objekte zu erkennen«, erklärt CML-Projektleiter Cosmin Delea. »In Hamburg wollen wir unter erschwerten Bedingungen vor allem die Robustheit, Industrietauglichkeit und einzelne Features des SeaClear-Systems weiterentwickeln, sodass es künftig als feste Hafendienstleistung zum Einsatz kommen könnte.« Dafür arbeiten die Forschenden eng mit der Hamburger Hafenbehörde zusammen.

Einen ganz anderen Fokus hat das im kroatischen Dubrovnik geprobte Küsten-Szenario. Dort sollen Gewässer in einem touristischen Hotspot mit meist klarer Sicht von Unterwasserabfällen befreit werden. Die Crux ist: Der Zugang der Öffentlichkeit lässt sich nicht beschränken. Dadurch sind eine Reihe von Sicherheitsmaßnahmen nötig, um Unfälle ►

»Wir vernetzen verschiedene Roboterfahrzeuge auf und unter Wasser.«

Johannes Oeffner,
Leiter des Teams
Maritime Technologies
& Biomimetics am
Fraunhofer CML

► zu vermeiden. Mithilfe der Flugdrohnen und intelligent kombinierter Sensorik an den Unterwassereinheiten soll ein zusätzliches Maß an Sicherheit geschaffen werden.

Ein Fall für KI

Für ein reibungsloses Zusammenspiel der Aufräumflotte setzt das Forschungsteam sogenannte Multi-Agenten-Steuerungstechniken für heterogene Roboter ein. So muss immer nur eine der drei verschiedenen Roboterarten einen Befehl – zum Beispiel zur Positionsänderung – erhalten, die anderen passen sich automatisch an. Durch Deep-Learning-Algorithmen sind die Roboter in der Lage, Müll in der Meeresflora und -fauna zu erkennen und zu klassifizieren.

Da es derzeit keine klare Statistik über Art und Menge der Unterwasserabfälle gibt, müssen die Systeme aufwendig trainiert werden. »Dafür verwenden wir im ersten Schritt Informationen aus öffentlich zugänglichen Quellen. Es gibt etwa große Online-Datenbanken, die Filmmaterial über das Leben in den Meeressgewässern liefern. Dann führen wir ein weiteres Training mit Dummy-Targets durch«, berichtet Delea. Anhand der Sensorik und der Erkennungsmechanismen sollen die Roboter auch in der Lage sein, Plastik in fragilen Ökosystemen wie Korallenriffen aufzuspüren, ohne diese zu verletzen.

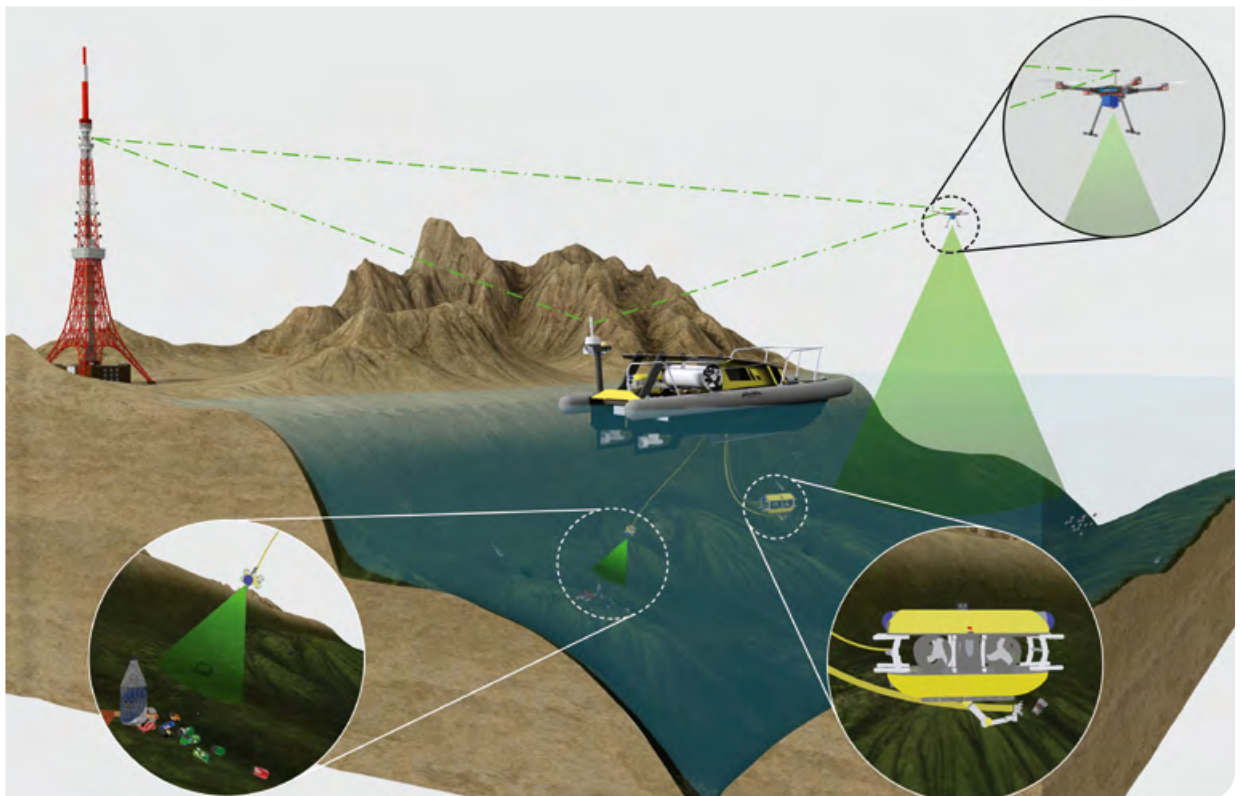
Europäische Partnerarbeit

In dem Project SeaClear arbeiten die Technischen Universitäten in München, Delft, Dubrovnik und Cluj-Napoca sowie SubSea Tech Marseille, die Hamburg Port Authority, die DUNEA Regional Development Agency Dubrovnik und das Fraunhofer CML Hand in Hand. Die Hamburger Forschenden vom Fraunhofer CML sind als technischer Koordinator des Projekts verantwortlich für die Integration des Gesamtsystems. Dazu zählt auch der Aufbau des virtuellen Überwachungszentrums, von dem aus die Roboter gesteuert werden, sowie die Entwicklung des Kommunikationsnetzes und der nötigen Serverinfrastruktur.

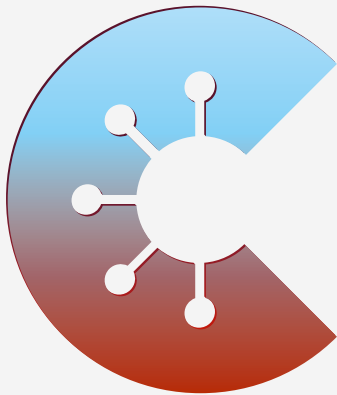
Bis Ende 2023 – zum Abschluss des SeaClear-Projekts – sollen die Roboter zum Teil ferngesteuert oder auch ganz eigenständig die Küstenregionen unter Wasser säubern. Betreiben könnten das System dann die Hamburger Hafenbehörde beziehungsweise die zuständige Behörde in Dubrovnik. Weitere Gebiete sollen folgen. Ausgelegt sind die Roboter zunächst für Tiefen von 20 bis 30 Metern. Der Plastikmüll im Marianengraben, der mit knapp elf Kilometern tiefsten Stelle der Ozeane, wird wohl also noch viele Jahrzehnte als Symbol für die menschengemachte Vermüllung der Weltmeere überdauern. ■

Bis Ende 2023 sollen die Roboter die Küstenregionen unter Wasser säubern.

Die SeaClear-Aufräumflotte besteht aus einem autonomen Mutterschiff mit Sammelcontainer an der Oberfläche, einer Flugdrohne in der Luft und zwei Unterwasser-Robotern, von denen einer den Müll aufspürt und der andere ihn einsammelt.
© S. Sosnowski – SeaClear Project



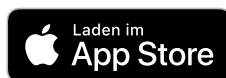
#WeKnowHow
FRAUNHOFER VS. CORONA



DIE CORONA-WARN-APP:

**SAGT BESCHEID,
WENN'S ERNST
WIRD.**

Jetzt die Corona-Warn-App herunterladen
und Corona gemeinsam bekämpfen.



FRAUNHOFER SOLUTION DAYS

26.–29. OKTOBER 2020

»Nie war Innovation so wichtig wie heute. Ob Klimakrise, ob Gesundheitskrise, ob Wirtschaftskrise: Wo immer eine Gesellschaft sich neu definiert und definieren muss, sie wird Veränderungen nur erfolgreich in der Verbindung mit werteorientierter Wertschöpfung verwirklichen können.«

Prof. Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Präsentation. Inspiration. Vision. Das digitale Fraunhofer-Event im Herbst 2020.

Vier Tage – vier große Themen:

Gesundheit. Digitale Wirtschaft. Anlagen- und Maschinenbau. Mobilität.
Freuen Sie sich auf aktuelle Technologie-Highlights, Workshops und Live-Chats
mit unseren Expertinnen und Experten. Weil Wissen Perspektiven schafft.

Weitere Infos unter: www.fraunhofer.de/solutiondays

