

Jahresbericht 2021

Für Wissen und Wohlstand:
Impact und Innovationen
durch Originalität

Die Fraunhofer-Gesellschaft

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

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

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Bereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon

erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

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

Hoch motivierte Mitarbeitende, die Spitzenforschung betreiben, stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestalten- und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

Stand der Zahlen: Januar 2022
www.fraunhofer.de

Jahresbericht 2021

Für Wissen und Wohlstand:
Impact und Innovationen
durch Originalität

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

das Pandemie-Jahr 2021 hat es unübersehbar deutlich gemacht: Krisen lassen sich nur meistern, wenn Politik und Wissenschaft Hand in Hand arbeiten. Trotz der zahlreichen Herausforderungen in einem weiterhin schwierigen Marktumfeld gelang der Fraunhofer-Gesellschaft im Jahr 2021 ein leichtes Wachstum. Unser Dank gilt dabei auch den zusätzlichen Fördermitteln des Bundes. Mit der Steigerung des Finanzvolumens um drei Prozent auf 1,9 Milliarden Euro hat die Fraunhofer-Gesellschaft Resilienz bewiesen. Die Wirtschaftserträge konnten wieder an das Vorkrisenniveau anschließen. Die Basis für diese Stabilität bilden die erstmals mehr als 30 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die Tag für Tag auch unter immer neuen Herausforderungen hoch motiviert und mit beeindruckender Entschlossenheit wissenschaftlich, organisatorisch und administrativ mit vollem Einsatz dafür gearbeitet haben.

Es sind in der Vielfalt der von derzeit 76 Fraunhofer-Instituten betreuten Projekte drei Bereiche, die ich herausgreifen will. Im zweiten Jahr mit dem Coronavirus hat die Fraunhofer-Gesellschaft mehr als 160 interdisziplinäre Vorhaben zur Pandemie-Bekämpfung umgesetzt – von Datenmodellen zur Vorhersage der Infektionsausbreitung über Dekontaminationsmaßnahmen, um Schutz im Alltag zu schaffen, bis zum Finden neuer Wirkstoffe und Diagnoseverfahren. Im Dezember konnten zwei Drittel der Maßnahmen im Anti-Corona-Programm abgeschlossen werden. 13 Patent- und 2 Markenmeldungen liegen als Erfolge vor. Wenn in der Corona-Krise die Feststellung »Die Wissenschaft hat geliefert!« zum geflügelten Wort werden konnte, hat das auch mit dem Engagement der Forscherinnen und Forscher bei Fraunhofer zu tun. Der 4D-Ansatz – »Diagnostics«, »Drugs«, »Devices«, »Data« – zeigt, wie innovative Gesundheitslösungen transdisziplinär und im Schulterschluss entwickelt werden können.



Die Energiewende ist als globale Mammutaufgabe erkannt und anerkannt, auch und gerade von der deutschen Politik. Deutschland ist entschlossen, weltweiter Vorreiter zu sein, wie es auch im Koalitionsvertrag von SPD, Grünen und FDP vorgegeben ist. Der Strukturwandel von den Kohlekraftwerken, die bis 2030 vom Netz gehen sollen, hin zu einem effektiven Energiesystem, das auf Erneuerbaren basiert, bedarf einer Fülle von Einzellösungen. Ob bei den Speichertechnologien, dem großen Thema grüner Wasserstoff, der Elektromobilität im Verkehr oder den Wärmepumpen im Gebäudesektor – überall haben Fraunhofer-Forschende maßgeblich beigetragen. Eine resiliente Energieversorgung ist entscheidend für die Souveränität unseres Landes, für die Stabilität unserer Industrie und die Lebensqualität unserer Bevölkerung.

Der Strukturwandel von der Braunkohle zum Wasserstoff unterstützt Fraunhofer mit einem gesamtheitlichen Ansatz. Als Leuchttürme

dienen Forschungsplattformen wie das Hydrogen Lab Görlitz mit seiner Brennstoffzellenforschung oder das Hydrogen Lab Leuna mit seiner Elektrolyseforschung. Gerade Wasserstoff kann Garant sein für einen gelingenden Strukturwandel, der industrielle Leistungsfähigkeit und nachhaltige Lebensgestaltung in eine gemeinsame Zukunft führt.

Wir freuen uns auf eine weitere fruchtbare Zusammenarbeit, die auf gemeinsamen Zielen beruht – und auf gemeinsamen Werten.

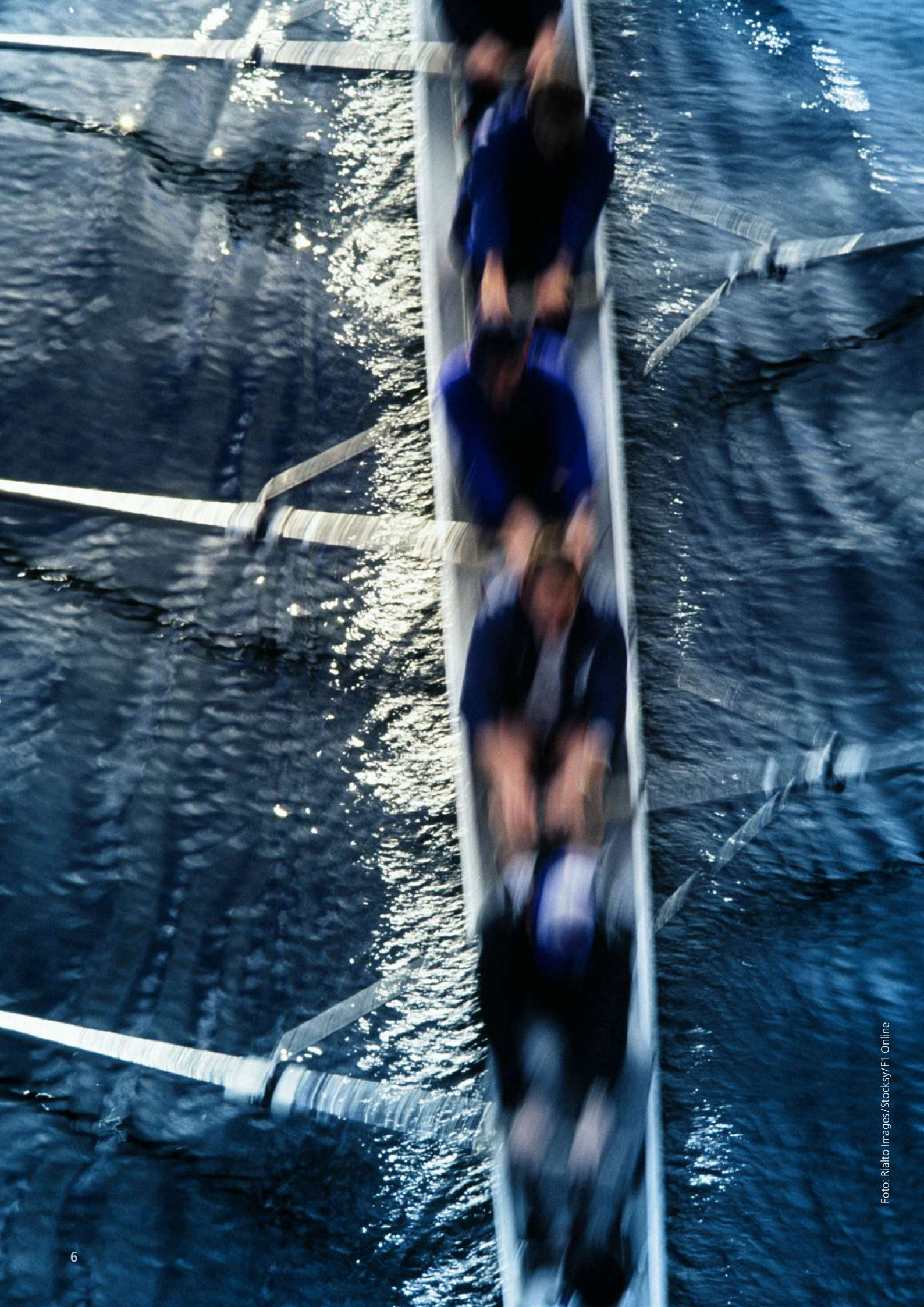
Ihr

Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

*Prof. Dr.-Ing.
Reimund Neugebauer,
Präsident der
Fraunhofer-Gesellschaft.*

Inhalt

Bericht des Vorstands	6
Der Vorstand	8
Lagebericht 2021	10
Bericht des Senats zum Geschäftsjahr 2021	32
Neu im Senat	34
Aus der Fraunhofer-Forschung	38
Wandel, Werte, Wirkung:	
Gemeinsam Ideen zu Innovationen machen	40
Neue Initiativen und Infrastrukturen	48
Projekte und Ergebnisse 2021	72
Auszeichnungen 2021	94
Menschen in der Forschung 2021	104
Unternehmen im Fraunhofer-Umfeld	118
Finanzen	122
Bilanz zum 31. Dezember 2021	124
Gewinn- und Verlustrechnung für das Geschäftsjahr 2021	126
Zusammenhang zwischen Gewinn- und Verlustrechnung, Leistungsrechnung und Einnahmen- und Ausgabenrechnung	128
Leistungsrechnung der Fraunhofer-Einrichtungen	130
Auszüge aus dem Anhang 2021	135
Wiedergabe des Bestätigungsvermerks des Abschlussprüfers	137
Service	140
Struktur der Fraunhofer-Gesellschaft	142
Mitglieder, Organe, Gremien	144
Weitere Initiativen und Forschungsstrukturen	146
Fraunhofer Deutschland	150
Fraunhofer International	152
Impressum	154





Wo entstehen Ideen, damit aus Einfällen Innovationen werden?

Den Kopf frei bekommen beim Gleiten durchs Wasser. Im Durchflusszytometer geht es um Zellen, die an Fotodetektoren vorbeiströmen. Damit können Qualitätskontrollen für Zelltherapeutika etabliert werden, künftig auch mit KI. So werden innovative Therapeutika für mehr Menschen verfügbar (S. 82).

Bericht des Vorstands

Der Vorstand	8
Lagebericht 2021	10
Bericht des Senats zum Geschäftsjahr 2021	32
Neu im Senat	34

Der Vorstand

Reimund Neugebauer ist Professor für Werkzeugmaschinen an der TU Chemnitz. Nach leitender Tätigkeit in der Maschinenbauindustrie gründete er 1991 das heutige Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, das er 21 Jahre leitete und zu einem internationalen Zentrum der Produktionstechnik ausbaute. Seit 2012 ist er Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft.

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. mult. Dr. h. c. mult.
Reimund Neugebauer
Präsident



Fotos: Fraunhofer/T. Dasthuber

Andreas Meuer war seit 1992 in verschiedenen leitenden Positionen in der Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft tätig, zuletzt als Direktor für Finanzen, Rechnungswesen und Wirtschaftsplan. Er war ab 2018 Mitglied des Fraunhofer-Vorstands und wechselt im Frühjahr 2022 in den Ruhestand.

Dipl.-Kfm. Andreas Meuer
Vorstand für Finanzen und Digitalisierung
(bis 31. Dezember 2021)
Vorstand für Finanzen und Controlling, komm. Vorstand
für Forschungsinfrastrukturen und Digitalisierung
(seit 1. Januar 2022)

Alexander Kurz arbeitete nach seiner juristischen Ausbildung als Rechtsanwalt und in Management- und Vorstandspositionen für große Forschungsorganisationen wie das CERN in Genf und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Seit 2011 ist er als Fraunhofer-Vorstand tätig.

Prof. Dr. rer. publ. ass. iur. Alexander Kurz
Vorstand für Personal, Recht und Verwertung
(bis 31. Dezember 2021)
Vorstand für Innovation, Transfer und Verwertung,
komm. Vorstand für Personal, Unternehmenskultur und Recht
(seit 1. Januar 2022)



Lagebericht 2021

Strategie und Rahmenbedingungen

Profil der Fraunhofer-Gesellschaft	12
Chancen aus Strategischen Initiativen	12
Wissenschaftspolitische Rahmenbedingungen	14

Wirtschaftliche Entwicklung

Finanzvolumen	15
Vertragsforschung	17
Zusätzliche Forschungsförderung	17
Ausbauinvestitionen	18
Vermögens- und Finanzlage	19
Beteiligungen und Ausgründungen	19
Internationales	20
Schutzrechtsverwertung	21

Aspekte der Corporate Responsibility

Verantwortung der Fraunhofer-Gesellschaft	22
Forschung für Nachhaltigkeit	22
Forschen in gesellschaftlicher Verantwortung	23
Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	24
Diversity	25
Vorhaben: Klimaneutraler Wissenschaftsbetrieb	27

Risiken und Ausblick

Risikomanagement und Risiken	28
Ausblick	31

Eckdaten: Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft 2021 in Mio €

	2020	2021		Veränderung
Finanzvolumen	2832	2915	+83	+3 %
Vertragsforschung	2398	2518	+120	+5 %
Zusätzliche Forschungsförderung	164	163	-1	-1 %
Ausbauinvestitionen	270	234	-36	-13 %
Finanzvolumen nach Haushalt	2832	2915	+83	+3 %
Betriebshaushalt	2357	2445	+88	+4 %
Investitionen ¹	475	470	-5	-1 %
Projekterträge	1716	1858	+142	+8 %
Vertragsforschung	1553	1738	+185	+12 %
darin Wirtschaftserträge	658	723	+65	+10 %
darin Öffentliche Erträge ²	895	1015	+120	+13 %
Zusätzliche Forschungsförderung	76	73	-3	-4 %
Ausbauinvestitionen	87	47	-40	-46 %
Ausländische Projektvolumina³	276	287	+11	+4 %

1 Laufende Investitionen in der Vertragsforschung und zusätzlichen Forschungsförderung sowie Ausbauinvestitionen.

2 Beinhaltet Bund, Länder, EU und sonstige Erträge.

3 Ohne Lizenzerträge und ohne Erträge der selbstständigen Auslandsgesellschaften mit Dritten (2021: 27 Mio €).

Strategie und Rahmenbedingungen

Profil der Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. wurde 1949 gegründet und betreibt als gemeinnütziger Verein anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Die **Forschungsfelder** richten sich nach den Bedürfnissen der Menschen: Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Mobilität, Energie und Umwelt.

In deutschlandweit 76 Fraunhofer-Instituten und -Einrichtungen erarbeiten über 30 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein jährliches Finanzvolumen von 2,9 Mrd €. Davon entsteht mit 2,5 Mrd € ein Großteil im Kernbereich **Vertragsforschung**. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Auf Ebene der Gesamtorganisation identifiziert Fraunhofer innovative Geschäftsfelder und Technologietrends mit großem Marktpotenzial sowie hoher gesellschaftlicher Relevanz und entwickelt sie über interne **Forschungsprogramme** weiter.

Die **einzelnen Fraunhofer-Institute** entwickeln ihre Geschäftsfelder und Kernkompetenzen auf Basis ihres unmittelbaren Marktkontakts und ihrer Vernetzung mit der wissenschaftlichen Fachwelt. Sie werden betriebswirtschaftlich als Profitcenter geführt, sind rechtlich aber nicht selbstständig.

Zur Schärfung des Fraunhofer-Kompetenzprofils und Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit wurde die Verbundstruktur zum 1. Januar 2021 angepasst. In der Vertragsforschung organisieren sich seitdem fachlich verwandte Fraunhofer-Institute zur Abstimmung institutsübergreifender FuE-Strategien in neuen **Fraunhofer-Verbänden**:

- Energietechnologien und Klimaschutz
- Gesundheit
- Innovationsforschung
- IUK-Technologie
- Light & Surfaces
- Mikroelektronik
- Produktion
- Ressourcentechnologien und Bioökonomie
- Werkstoffe, Bauteile – Materials

Darüber hinaus kooperieren Institute oder Abteilungen von Instituten mit unterschiedlichen Kompetenzen in **Fraunhofer-Allianzen**, um ein bestimmtes Geschäftsfeld gemeinsam zu bearbeiten und zu vermarkten.

Chancen aus Strategischen Initiativen

Folgende Instrumente, Programme und Prozesse stärkten 2021 – im zweiten Jahr der Pandemie – die Wettbewerbsfähigkeit von Fraunhofer:

- Auflage coronabedingter Programme zur Kompetenzsicherung
- Weiterentwicklung der Fraunhofer Strategischen Forschungsfelder
- Aufbau von Leitmärkten
- Verstetigung der Fraunhofer Cluster of Excellence
- Unterstützung von Verbund-Roadmaps

Aufgrund des weiterhin schwierigen konjunkturellen Umfelds wurden auch 2021 vorhandene Kompetenzen der Fraunhofer-Institute genutzt, um im Sinne der BMBF-Richtlinie »Unterstützung anwendungsorientierter Forschung für außeruniversitäre Forschungseinrichtungen« sogenannte Ersatzarbeiten umzusetzen. Hierfür hat der Fraunhofer-Vorstand bereits frühzeitig strategisch bedeutsame Themen und Projekte definiert, die insbesondere mit Mitteln der Richtlinie umgesetzt werden. Im Vordergrund stand die **interne Vorlaufforschung**, um kurz- bzw. mittelfristig gezielt neue Wirtschaftsjahrprojekte akquirieren zu können. Der Vorstand hat dabei vier Schwerpunkte definiert:

- **Transfer-Offensive:** Ziel der Förderlinie ist die strukturelle Stärkung der anwendungsorientierten Forschung in den Leistungszentren durch die Etablierung eines Systems tragfähiger regionaler Innovations-Hubs für exzellenten Transfer von FuE-Ergebnissen.
- **Programm KMU akut:** Hierbei werden Eigenforschungsprojekte ermöglicht, welche Forschungsk Kooperationen zwischen Instituten und kleinen und mittelständischen Unternehmen fördern.
- **Anti-Corona-Programm:** Nach einer ersten Phase 2020 wurden in einer zweiten Phase strategische Projekte zusammengestellt, die mittel- und längerfristige Fragen im Bereich der Wirkstoff- und Vakzinentwicklung, der Diagnostik und der Resilienz von Wirtschaft und Gesellschaft verfolgen.
- **Fraunhofer-Innopush-Programm:** Ziel des Programms ist, einen signifikanten Beitrag zum Erneuerungsprozess der Wirtschaft zu leisten und deutliche Innovationsimpulse zu setzen.

Die Fraunhofer Strategischen Forschungsfelder (FSF)

bilden eine wichtige Basis für einen kontinuierlichen Innovationsschub in die Märkte. Instituts- und verbundübergreifende Kooperationen ermöglichen die Akquise öffentlicher Förderung in systemrelevanten Großprojekten, die Entwicklung passender Geschäftsmodelle und umfassende Systemlösungen für Fraunhofer-Kunden. 2021 hat der Vorstand die Implementierung der Programmlinie »FSF Momentum« beschlossen, um die strukturelle Verankerung der FSF innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Kampagnenfähigkeit der FSF zielgerichtet zu befördern.

Das Konzept der **Leitmärkte** wurde 2021 konkret umgesetzt mit dem Ziel, Kundensegmente mit hoher Relevanz für die Innovationskraft Deutschlands und Europas stärker zu adressieren. Diese Leitmärkte kennzeichnet, dass in ihnen mit Innovationen ein globaler Wettbewerbsvorteil für Deutschland erzielt, die Technologiesouveränität gesichert sowie eine langfristige Wertschöpfung für die Gesellschaft generiert wird. Um die Positionierung von Fraunhofer in diesen Leitmärkten weiter zu stärken, koordinieren die Fraunhofer-Allianzen gezielt institutsübergreifende Transferaktivitäten. Dabei werden folgende Leitmärkte adressiert:

- Anlagen-, Maschinen- und Fahrzeugbau
- Bauwirtschaft
- Chemische Industrie
- Digitalwirtschaft
- Energiewirtschaft
- Ernährungswirtschaft
- Gesundheitswirtschaft
- Luft- und Raumfahrtwirtschaft
- Mobilitätswirtschaft

Um die immer komplexer werdenden Bedarfe von Industrie und Gesellschaft zu bedienen, bietet jede **Fraunhofer-Allianz** ausgewählten Kundensegmenten im Sinne eines »One-Stop-Shop« ein maßgeschneidertes Transferpaket aus einer Hand an. Zur Entwicklung solcher branchenorientierten Angebote dient eine jährlich ausgearbeitete Transfer-Roadmap. Diese beinhaltet Angebote im Rahmen verschiedener Transferpfade, wie z. B. FuE-Projekte, Weiterbildungsprogramme, technologische Lösungen über Lizenzierung oder die Zusammenarbeit mit Fraunhofer-Start-ups.

Die sechs derzeit laufenden »**Fraunhofer Cluster of Excellence**« wurden 2021 zwischenevaluert bezüglich der fachlichen Qualität und des Aufbaus einer langfristigen Kooperationsstruktur. Gestützt auf die Empfehlungen externer Fachgutachter bewilligte der Fraunhofer-Vorstand allen Clustern die weitere Förderung bis zum Abschluss der initialen fünfjährigen Aufbauphase.

Um Fraunhofer wettbewerbsfähig für die Zeit nach der Corona-Krise aufzustellen, hat der Vorstand das Strategieprojekt »**Gestärkt aus der Krise**« aufgesetzt mit den beiden Handlungssträngen »Beratung ausgewählter Institute« und »Mobilisierung aller Institute: Ertragsstruktur des Leistungs- und Technologieportfolios«. Die Beratung ausgewählter Institute erfolgte entlang einer strategischen Finanzanalyse mit Fokus auf die Ertrags- und Kostenstruktur. Das methodische Vorgehen dieser antizipativen Finanzanalyse soll zukünftig allen Instituten zur Verfügung gestellt werden, wenn Transformationen oder der Wechsel in der Institutsleitung anstehen. Im zweiten Handlungsstrang wurde mit dem Ziel einer Mobilisierung der gesamten Fraunhofer-Gesellschaft von allen Instituten eine konkrete Prognose der Ertragsstruktur bis 2025 eingeholt.

Die **öffentliche Sicherheit** stellt für urbane Gebiete eine besondere Herausforderung dar, denn viele Sicherheitsaspekte ballen sich auf engstem Raum bei einer eventuellen Gleichzeitigkeit von mehreren Veranstaltungen. Angesichts solch komplexer Großlagen bedarf es neuartiger Instrumente, um das Zusammenwirken von Technik, Infrastruktur und Einsatzkräften realitätsnah abzubilden. Diesen Bedarf deckt das neue Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS in Berlin ab, indem es neuartige Simulationstechnologien und -szenarien für den Bereich der Öffentlichen Sicherheit erforscht. Das Fraunhofer SIRIOS führt entsprechende spezifische Kompetenzen von vier Fraunhofer-Instituten zusammen.

Wissenschaftspolitische Rahmenbedingungen

Die Fraunhofer-Gesellschaft war über ihren Präsidenten, Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer, in der 19. Legislaturperiode in den exponierten wissenschaftlichen Beratungsgremien Innovationsdialog und Hightech-Forum vertreten.

Der **Innovationsdialog** dient der Bundesregierung seit mehr als zehn Jahren als unabhängiges, vertrauliches Beratungsgremium. 2021 war der Fraunhofer-Präsident an den Dossiers »Resilienz von Lieferketten und Wertschöpfungsnetzwerken« und »Von der Förderung technologischer Frühbeete zu selbsttragenden Ökosystemen« beteiligt. Zur Abschlusssitzung der 19. Legislaturperiode beriet die Runde über die Schaffung, Stärkung und Weiterentwicklung exzellenter Ideen aus Forschung und Entwicklung in tragfähige und international wettbewerbsfähige industrielle Ökosysteme.

Das **Hightech-Forum** war in der 19. Legislaturperiode das zentrale Beratungsgremium der Bundesregierung zur Umsetzung der Hightech-Strategie 2025 (HTS 2025). Es setzte sich aus 21 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zusammen. Den Vorsitz teilten sich Christian Luft, Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung und Forschung, und Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft.

Das Gremium analysierte für die Bundesregierung wichtige Themen für die Zukunftsfähigkeit des Forschungs- und Innovationsstandorts Deutschlands und beriet bei der strategischen Ausgestaltung und konzeptionellen Weiterentwicklung der HTS 2025. Das Hightech-Forum fasste 2021 seine bisherigen Beratungspapiere in einem Ergebnisbericht zusammen

und bündelte diese in fünf Dachthemen: Missionsorientierte Innovationspolitik, Beteiligung als strategisches Instrument der Innovationspolitik, Resilienz und technologische Souveränität, Agile Forschungs- und Innovationsförderung sowie Initiative für Transferfreiheit – Förderung von wissensintensiven Gründungen. Der Ergebnisbericht wurde am 21. April 2021 im Rahmen einer großen Ergebniskonferenz veröffentlicht. Diese fand als interaktive Live-Show mit mehr als 2000 Teilnehmenden im Live-Stream, 1000 Beteiligungen im Live-Chat und 90 Beteiligten auf zwei virtuellen Bühnen statt. Der Co-Vorsitzende und Fraunhofer-Präsident Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer übergab stellvertretend für das 21-köpfige Beratungsgremium die abschließenden Empfehlungen, gedruckt auf synthetischer DNA, für eine künftige Innovationsstrategie an die Bundesregierung.

Das Gremium dringt explizit auf die Förderung und Forderung von mehr Beteiligung sowie mehr Mut und Umsetzungsstärke im Dienst der Nachhaltigkeitsziele. Wichtig seien die Stärkung des missionsorientierten Ansatzes sowie Initiativen, um mehr Ergebnisse der Spitzenforschung im großen Maßstab in die Anwendung zu bringen. Start-ups aus der Wissenschaft müssten erleichtert werden. Ebenfalls nötig seien mehr Experimentierräume sowie effektive Beteiligungsformate.

Forschungspolitisch stand das Jahr 2021 im Zeichen der **Bundestagswahl** und der anschließenden Regierungsbildung. Änderungen der Rahmenbedingungen wurden im Wahlkampf intensiv diskutiert. Der Ende November vorgelegte Koalitionsvertrag zwischen SPD, Grünen und FDP sieht anstelle der bisherigen Hightech-Strategie eine »Zukunftsstrategie Forschung« mit sechs Zukunftsfeldern vor. Diese sind (1) Moderne Technologien für eine wettbewerbsfähige und klimaneutrale Industrie; (2) Klimafolgen und entsprechende Anpassungsstrategien; (3) vorsorgendes und krisenfestes Gesundheitssystem; (4) Technologische Souveränität und Potenziale der Digitalisierung; (5) Erforschung von Weltraum und Meeren; (6) gesellschaftliche Resilienz, Zusammenhalt, Demokratie und Frieden. Alle sechs Zukunftsfelder werden im Forschungsportfolio der Fraunhofer-Gesellschaft abgedeckt.

Die wesentlichste strukturelle Veränderung für die Fraunhofer-Gesellschaft ist die parteipolitische und personelle Umbesetzung im Bundesministerium für Bildung und Forschung. Mit Abschluss der Regierungsbildung im Dezember übernahm Bettina Stark-Watzinger (FDP) die Ressortleitung von Anja Karliczek (CDU) und hat zum Jahresende bereits mehrere Neubesetzungen in der Führung des Ministeriums vollzogen.

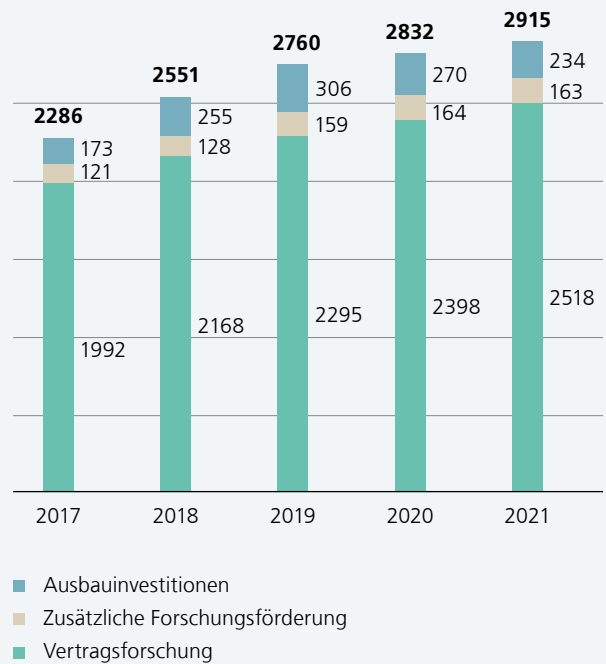
Wirtschaftliche Entwicklung

Finanzvolumen

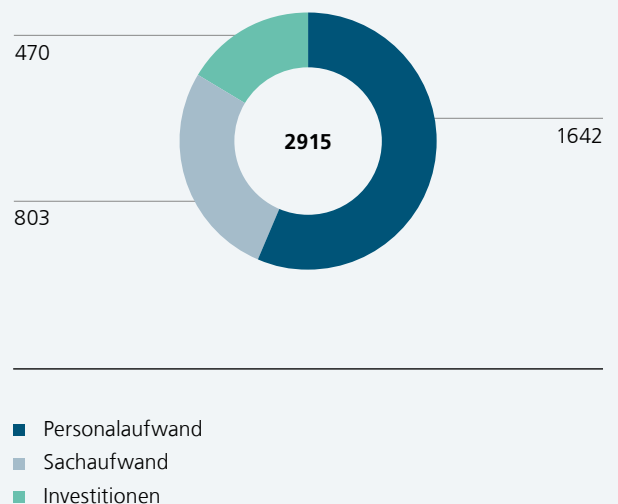
Die Fraunhofer-Gesellschaft hat die Auswirkungen der Pandemie auch im Jahr 2021 mit großem Einsatz aller Beteiligten und der Unterstützung der Zuwendungsgeber erfolgreich bewältigen können. Das Ergebnis 2021 weist mit einem aktuellen Finanzvolumen von rund 2,9 Mrd € ein gedämpftes Wachstum von 3 Prozent auf. Mit einem Anteil von 86 Prozent bzw. 2,5 Mrd € umfasst die Vertragsforschung die Kerntätigkeiten von Fraunhofer, die zu rund einem Drittel von Bund und Ländern grundfinanziert werden. Dauerhaft angelegte Forschungsleistungen außerhalb dieser regulären Grundfinanzierung werden als Zusätzliche Forschungsförderung zusammengefasst, die ein Volumen von 163 Mio € erreichte. Die Ausbauinvestitionen lagen bei 234 Mio €. Die drei Bereiche werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

Das Finanzvolumen basiert auf der Leistungsrechnung, die den Anforderungen der Zuwendungsgeber entspricht. Der Betriebshaushalt beinhaltet den Personal- und Sachaufwand im kaufmännischen Sinn sowie die Veränderung des Sonderpostens »Rücklage aus Lizenzerträgen für satzungsgemäße Zwecke«. Die Investitionen werden in Höhe der Ausgaben zum Anschaffungszeitpunkt erfasst, sodass kaufmännische Abschreibungen in der Leistungsrechnung nicht enthalten sind. Im Jahr 2021 investierte Fraunhofer insgesamt 470 Mio € mit einem Anteil von 16 Prozent am Finanzvolumen. Der Personalaufwand stieg auf 1642 Mio €, was auf einen Tarifanstieg zum 1. April 2021 um 1,4 Prozent und einen leichten Anstieg der Anzahl der Mitarbeitenden zurückzuführen ist. Der Sachaufwand lag mit 803 Mio € leicht über dem Vorjahresniveau. Die Rücklage blieb 2021 im Saldo unverändert, wurde unterjährig jedoch zur Deckung von Liquiditätsbedarfen eingesetzt.

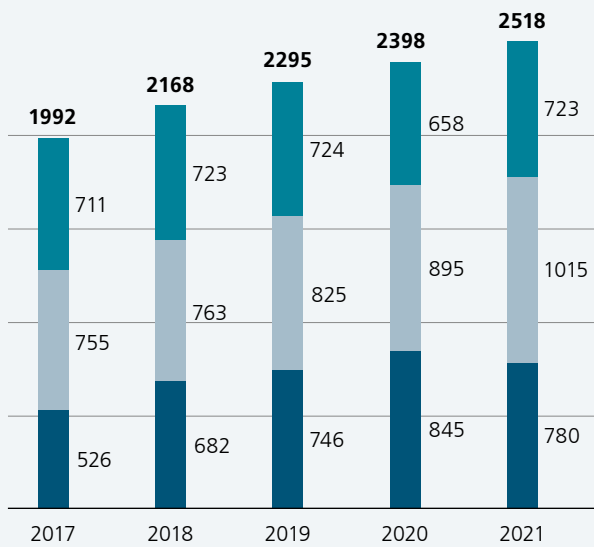
Finanzvolumen Fraunhofer gesamt in Mio €



Finanzvolumen 2021 nach Haushalt in Mio €

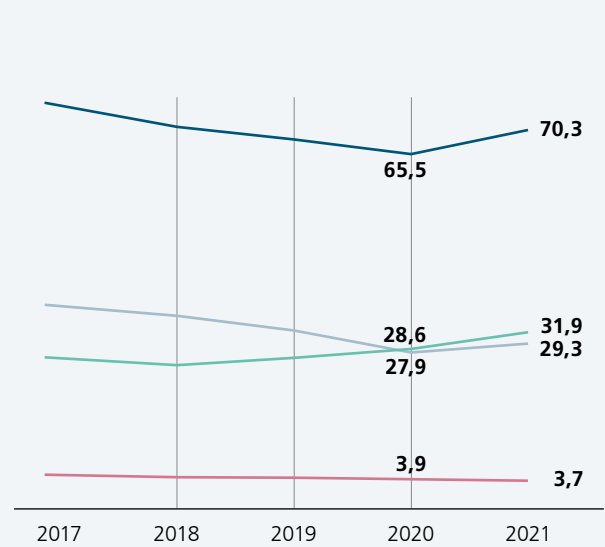


Erträge in der Vertragsforschung in Mio €



- Wirtschaftserträge
- Öffentliche Projekterträge
- Grundfinanzierung

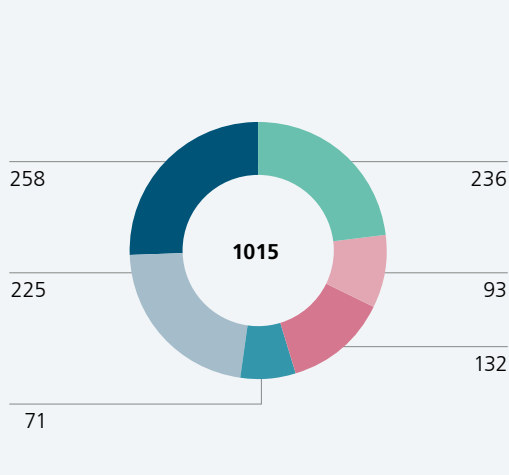
Finanzierungsanteile in %



- Projekterträge gesamt¹
- Wirtschaft
- Bund und Länder
- EU

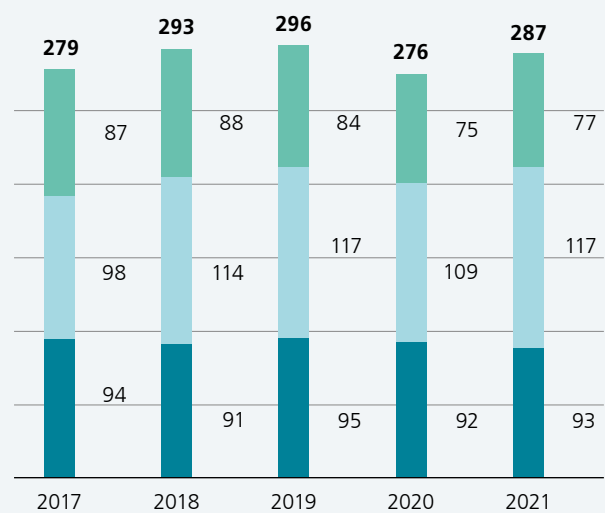
¹ Darin Finanzierungsanteil der Sonstigen Erträge, 2021: 5,4%.

Öffentliche Projekterträge 2021 in Mio €



- BMBF
- BMWK (ehemals: BMWi)
- Sonstige Bundesressorts
- Länder
- EU
- Sonstige

Ausländische Projektvolumina in Mio €



- Kunden und Partner außerhalb Europas
- Kunden und Partner in Europa
- Projektförderung EU

Vertragsforschung

Die Vertragsforschung umfasst die Kerntätigkeiten von Fraunhofer und basiert gemäß dem **Fraunhofer-Modell** auf drei Säulen, die je rund ein Drittel zur Finanzierung beitragen:

- Auftragsforschung für die Wirtschaft
- öffentlich finanzierte Förderprojekte
- grundfinanzierte Vorlaufforschung

Im Jahr 2021 lag der Zuwendungsbedarf aus der Grundfinanzierung bei 780 Mio €. Die Grundfinanzierung wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und den Ländern im Verhältnis 90 : 10 bereitgestellt. Zusätzliche Fördermittel des Bundes zur Unterstützung der anwendungsorientierten Forschung für außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in Höhe von 93 Mio € ermöglichten im Rahmen des Kompetenzerhalts vor allem interne Vorlaufforschungsprojekte, um einen kraftvollen Start der Industrie aus der Krise zu unterstützen. Erste Anzeichen einer Erholung gab es bei den Wirtschaftserträgen, die mit 723 Mio € absolut wieder auf dem Vorkrisenniveau lagen. Dabei stiegen die Erträge aus Aufträgen der Industrie auf 609 Mio € und die Lizenzträge auf 114 Mio €.

Die **öffentlichen Projekterträge** stiegen erneut deutlich an und waren auch im zweiten Jahr der Pandemie eine wichtige Stütze. Die Projektförderung der Länder verzeichnete einen starken Aufwuchs um 20 Prozent auf 236 Mio €. Auch die Projektförderung des Bundes wuchs deutlich um 14 Prozent auf 554 Mio €. Die EU-Erträge lagen mit 93 Mio € auf dem Vorjahresniveau. Für die kommenden Jahre bietet das neue Rahmenprogramm »Horizon Europe« insbesondere für die Fraunhofer Strategischen Forschungsfelder ein hohes Potenzial. Die sonstigen Erträge stiegen um 8 Prozent auf 132 Mio € und beinhalten u. a. Erträge von Stiftungen, Universitäten und anderen Einrichtungen der Forschungsförderung.

Der hohe **Finanzierungsanteil** extern eingeworbener Projekterträge ist ein Erfolgskriterium der Fraunhofer-Institute und ein Alleinstellungsmerkmal der Fraunhofer-Gesellschaft. Der Projektfinanzierungsanteil ist daher eine wichtige Steuerungskennzahl und ein Indikator für einen ausgewogenen Finanzierungsmix in der Vertragsforschung. Er wird berechnet als Anteil

der Projekterträge am Betriebshaushalt inkl. kalkulatorische Abschreibungen auf Investitionen (ohne anschubfinanzierte Einrichtungen und ohne Rücklagenveränderung). Durch die einmalige und verstetigte Erhöhung der Grundfinanzierung 2017 gingen die externen Finanzierungsanteile in den Folgejahren planmäßig zurück und lagen 2018 und 2019 wieder im Rahmen des Fraunhofer-Modells. Nach einem coronabedingten Tiefstwert im Vorjahr zeigte der Projektfinanzierungsanteil im Jahr 2021 mit 70,3 Prozent erste Anzeichen einer Erholung. Durch den starken Anstieg der Erträge von Bund und Ländern erhöhte sich deren Finanzierungsanteil auf 31,9 Prozent. Der Anteil der Wirtschaftserträge erreichte 29,3 Prozent.

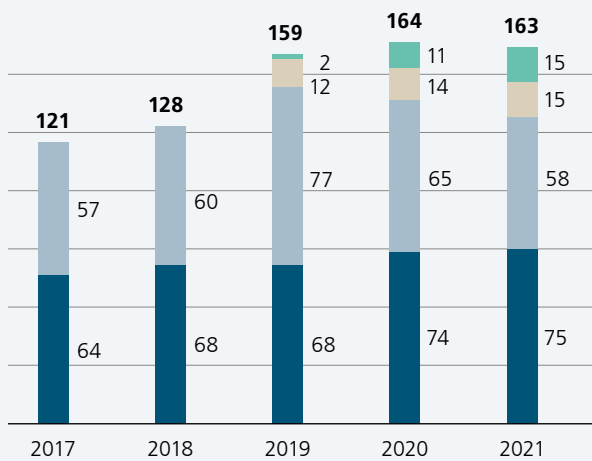
Die **ausländischen Projektvolumina** konnten mit einer Steigerung um 4 Prozent auf 287 Mio € (ohne Lizenzträge) in absoluten Zahlen wieder an das Vorkrisenniveau anknüpfen. Ihr Anteil an den gesamten Projekterträgen in der Vertragsforschung betrug 17 Prozent. 32 Prozent der ausländischen Projektvolumina stammten aus EU-Fördermitteln, 41 Prozent von Kunden und Partnern in Europa und 27 Prozent wurden mit Kunden und Partnern außerhalb Europas generiert. Die in Europa erwirtschafteten Projektvolumina stiegen um 7 Prozent auf 117 Mio €. Die Projektvolumina außerhalb Europas nahmen um 3 Prozent auf 77 Mio € zu. Die größten ausländischen Märkte waren die USA mit 35 Mio €, die Schweiz mit 28 Mio € und Österreich mit 16 Mio €.

Zusätzliche Forschungsförderung

In der Zusätzlichen Forschungsförderung werden dauerhaft angelegte Forschungsleistungen außerhalb der regulären Grundfinanzierung zusammengefasst. Neben der Verteidigungsforschung zählen dazu das Nationale Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit **ATHENE** und die **Forschungsfertigung Batteriezelle FFB**.

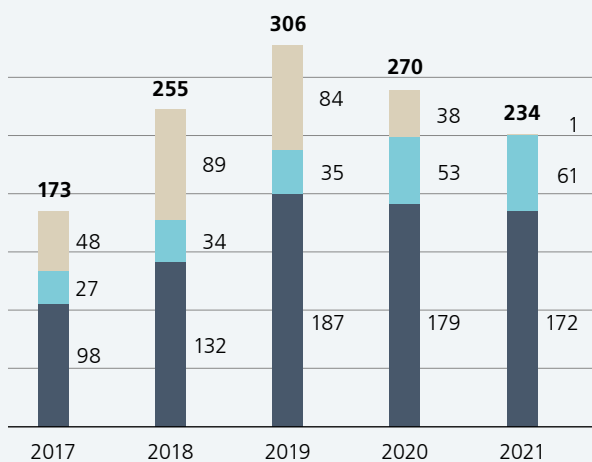
In **ATHENE** forschen das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT und das Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD mit der Technischen Universität Darmstadt und der Hochschule Darmstadt am Schutz kritischer Infrastrukturen wie Strom und Verkehr sowie der Absicherung von IT-Systemen. Neben Informatik und Technik werden interdisziplinäre Fragestellungen aus Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Psychologie und Ethik eingebunden. **ATHENE** wird vom BMBF und Hessen im Verhältnis 70 : 30 gefördert und wies 2021 einen leicht gestiegenen Haushalt von 15 Mio € auf.

Zusätzliche Forschungsförderung in Mio €



- Projektförderung FFB (BMBF)
- Grundfinanzierung ATHENE (BMBF und Hessen)
- Projektförderung BMVg
- Grundfinanzierung BMVg

Ausbauinvestitionen in Mio €



- Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)
- Erstausrüstung
- Baumaßnahmen (Groß- und Kleinbau)

Der Aufbau der vom BMBF geförderten FFB ging 2021 weiter voran und legte im letzten Jahr leicht auf 15 Mio € zu. Das Großprojekt wird vom BMBF mit insgesamt 500 Mio € projektfinanziert. Weitere rund 200 Mio € stellt Nordrhein-Westfalen für ein Gebäude in Münster bereit.

In der **Verteidigungsforschung** sind die Tätigkeiten in Forschung und Entwicklung (FuE) von sieben Fraunhofer-Instituten zusammengefasst, die vom Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) eine Grundfinanzierung und kontinuierliche Projektförderung erhalten. Ziel der FuE-Tätigkeiten ist es, Menschen, Infrastrukturen und Umwelt bestmöglich vor potenziellen militärischen, technischen, terroristischen, natürlichen und kriminellen Sicherheitsbedrohungen zu schützen. Während die Grundfinanzierung des BMVg um 1 Mio € auf 75 Mio € zunahm, ging die Projektförderung des BMVg um 7 Mio € auf 58 Mio € zurück. Entsprechend nahm die Verteidigungsforschung 2021 insgesamt um 4 Prozent auf 133 Mio € ab.

Ausbauinvestitionen

In den Ausbauinvestitionen sind Baumaßnahmen sowie die Erstausrüstungen mit wissenschaftlichen Geräten und Mobilien erfasst. Nach großen Steigerungen in den letzten Jahren sind die Ausbauinvestitionen 2021 auf 234 Mio € zurückgegangen.

Hauptgrund ist die planmäßige Fertigstellung der **Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)** und das Auslaufen der Investitionen in deren Erstausrüstung auf 1 Mio €. Der Aufbau der FMD wurde seit 2017 vom BMBF projektfinanziert und stärkt mit der Mikroelektronik-Forschung eine deutsche Schlüsselindustrie und erneuert deren Geräteinfrastruktur.

Die Investitionen in **Bau und Erstausrüstung** bewegten sich insgesamt auf dem Vorjahresniveau. Während die Baumaßnahmen um 7 Mio € auf 172 Mio € zurückgingen, wovon 139 Mio € auf Großbauprojekte und 33 Mio € auf den Kleinbau entfielen, stiegen die Investitionen in die Erstausrüstung um 8 Mio € auf 61 Mio €. Großbauten und Erstausrüstung werden von Bund und Ländern im Verhältnis 50:50 sonderfinanziert. Häufig stellen die Länder zusätzliche Fördermittel aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) bereit, die den Zuwendungsbedarf für Bund und Land gleichermaßen verringern. Die Kleinbaumaßnahmen werden aus der gemeinsamen Grundfinanzierung im Verhältnis 90:10 finanziert. In Summe betrug der Zuwendungsbedarf für Bund und Länder 187 Mio €. Bei den Projekterträgen entfielen 46 Mio € auf EFRE-Mittel der Länder und sonstige Erträge.

Vermögens- und Finanzlage

Zum 31. Dezember 2021 belief sich die Bilanzsumme auf 4186 Mio € und lag 6 Prozent bzw. 243 Mio € über dem Vorjahr. Die Bilanzsumme entfällt zu 99,6 Prozent auf das in der ordentlichen Rechnung geführte Vermögen und zu 0,4 Prozent auf das Vereinsvermögen.

Das **Anlagevermögen** macht 63 Prozent der Aktiva aus und erhöhte sich um 173 Mio € auf 2645 Mio €. Die Erhöhung ist vor allem dadurch bedingt, dass die Investitionen in die Sachanlagen die darauf entfallenden Abschreibungen überstiegen. Das Sachanlagevermögen stieg um 172 Mio € auf 2580 Mio €.

Das **Umlaufvermögen** macht 35 Prozent der Aktiva aus und erhöhte sich um 94 Mio € auf 1478 Mio €. Neben gestiegener Ausgleichsansprüche und Forderungen an Bund und Länder aus Projektabrechnungen (einschließlich Aufträgen) um 25 Mio € auf 252 Mio € reduzierten sich die Forderungen gegenüber verbundenen Unternehmen um 3 Mio € auf 8 Mio €. Der Kassenbestand erhöhte sich um 132 Mio € auf 232 Mio € (einschließlich Bankguthaben). Der Bestand an Wertpapieren reduzierte sich um 1 Mio € auf 440 Mio €. Davon entsprechen 416 Mio € der Rücklage aus Lizenzerträgen und 25 Mio € dem Sonderposten zur Finanzierung von Restrukturierungen.

Das **Eigenkapital** erhöhte sich leicht und setzt sich zusammen aus dem nicht zuwendungsfinanzierten Vereinskaptal in Höhe von 15 Mio € und den Rücklagen für satzungsgemäße Zwecke in Höhe von 15.225 €. Zum wirtschaftlichen Eigenkapital zählen darüber hinaus vier bilanzielle Sonderposten: Der Sonderposten Zuwendungen zum Anlagevermögen erhöhte sich um 173 Mio € auf 2634 Mio €. Der Sonderposten Rücklage aus Lizenzerträgen für satzungsgemäße Zwecke beläuft sich unverändert zum Vorjahr auf 416 Mio €. Der Sonderposten für den Barwert der Teilzahlungen aus einem Patentverkauf betrug 47 Mio €. Ihm stehen bei den Aktiva sonstige Forderungen in gleicher Höhe gegenüber.

Für eine notwendige Restrukturierung der Reinrauminfrastruktur besteht ein Sonderposten in Höhe von 25 Mio €, dem auf der Aktivseite Wertpapiere in gleicher Höhe gegenüberstehen. Die Mittelverwendung folgt einem Restrukturierungsplan und dient der Bildung von Haupt- und Fokusstandorten. Damit sollen zum einen die Fixkosten gesenkt und zum anderen die Zusammenarbeit und die Qualität der Angebote gesteigert werden. Einer Zuführung von 63.000 € stand ein Verbrauch in Höhe von 452.000 € gegenüber.

Der Sonderposten »Zur Finanzierung des Umlaufvermögens verwendete Zuwendungen« zählt wirtschaftlich nicht zum Eigenkapital und ist ein Abgrenzungsposten für die zum Bilanzstichtag noch nicht einzahlungswirksamen Erträge abzüglich der noch nicht auszahlungswirksamen Aufwendungen. Im Wesentlichen entspricht dies der Vorfinanzierung von Projekten, die sich zum Bilanzstichtag auf 295 Mio € belief.

Die **Rückstellungen** stiegen um 10 Mio € auf 209 Mio €, wovon 54 Mio € auf Rückstellungen mit Laufzeiten von mehr als einem Jahr entfielen. Für Pensions- und Urlaubsrückstellungen in Höhe von 90 Mio € wurden auf der Aktivseite Ausgleichsansprüche gegenüber Bund und Ländern angesetzt.

Die **Verbindlichkeiten** erhöhten sich um 96 Mio € auf 540 Mio €. Neben einem Anstieg der noch zu verwendenden Zuschüsse von Bund und Ländern aus institutioneller Förderung und aus Projektabrechnung von 109 Mio € sanken die Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen und die sonstigen Verbindlichkeiten um 13 Mio €.

Die Fraunhofer-Gesellschaft als Zuwendungsempfängerin hat aus haushaltsrechtlichen Gründen nicht die Möglichkeit, sich des Kapitalmarkts zu bedienen oder Kreditlinien zu unterhalten. Die **Liquidität** ist dennoch durch regelmäßige Geldabrufe von den Zuwendungsgebern im Rahmen der institutionellen Förderung und den bedarfsgerechten Einsatz der Rücklage jederzeit gewährleistet. Das Fraunhofer-Finanzierungsmodell steht auch in Krisenzeiten auf solidem Fundament.

Beteiligungen und Ausgründungen

Die Fraunhofer-Gesellschaft war zum Bilanzstichtag an insgesamt **84 Unternehmen** aus den unterschiedlichsten Branchen beteiligt. Bei 60 Unternehmen des Beteiligungsportfolios steht der Technologietransfer in die Wirtschaft im Fokus. Weitere 18 Beteiligungen sind strategischer Natur. Daneben existieren noch 6 verbundene Unternehmen. Im Jahr 2021 investierte die Fraunhofer-Gesellschaft insgesamt 2,5 Mio € in das Eigenkapital der Beteiligungen. Es kamen 3 Unternehmen hinzu, bei denen sich die Fraunhofer-Gesellschaft am Grund- bzw. Stammkapital beteiligt. Demgegenüber wurde bei 5 Unternehmen ein Exit vollzogen. Der Buchwert aller Beteiligungen erhöhte sich auf 10,4 Mio € (inkl. Anteilen an verbundenen Unternehmen, Vorjahr: 9,1 Mio €). Die Exit-Erlöse aus dem Abgang von Beteiligungen beliefen sich auf 2,2 Mio €.

Ausgründungen sind ein integraler Bestandteil der Verwertungsaktivitäten bei Fraunhofer. Typischerweise unterstützt die Fraunhofer-Gesellschaft über die Abteilung Fraunhofer Venture die Gründerinnen und Gründer bei ihren Vorbereitungsaktivitäten. Im Einzelfall übernimmt Fraunhofer im Rahmen des Technologietransfers eine gesellschaftsrechtliche

Minderheitsbeteiligung. Im Jahr 2021 unterstützte Fraunhofer Venture 52 neue Ausgründungsprojekte; es gingen 30 Spin-offs aus der Fraunhofer-Gesellschaft hervor. Fraunhofer hat sich zum Ziel gesetzt, sowohl die Anzahl der Ausgründungen als auch den Anteil des Wirtschaftsertrags mit Spin-offs am Gesamtwirtschaftsertrag zu steigern. Unterstützt wird dieses Ziel umfangreich mit zielgerichteten Maßnahmen und Programmen, die im Rahmen eines integralen Ansatzes, »AHEAD«, inhaltlich gebündelt wurden.

Internationales

Die Grundsätze der Internationalisierungsstrategie der Fraunhofer-Gesellschaft sind die wissenschaftliche Wertschöpfung für Fraunhofer und positive Effekte sowohl für Deutschland und Europa als auch das jeweilige Partnerland. Durch die Kooperation mit den weltweit Besten gelingt es Fraunhofer, den globalen Herausforderungen mit zukunftsfähigen Lösungen zu begegnen. Für die Generierung exzellenter wissenschaftlicher Inhalte und die Zusammenarbeit mit attraktiven Partnern im Ausland, hat Fraunhofer diverse Formate entwickelt.

Die am stärksten institutionalisierte Form sind die acht rechtlich selbstständigen **Fraunhofer-Auslandsgesellschaften**:

- Fraunhofer USA, Inc.
- Fraunhofer Austria Research GmbH
- Fraunhofer Italia Research Konsortial-GmbH
- Fraunhofer UK Research Ltd
- Fundación Fraunhofer Chile Research
- Associação Fraunhofer Portugal Research
- Stiftelsen Fraunhofer Chalmers Centrum för Industrimatematik (in Schweden)
- Fraunhofer Singapore Research Ltd.

Die Auslandsgesellschaften fungieren als Rechtsträger für zum Bilanzstichtag 13 Forschungszentren im Ausland. Dies sind langfristig angelegte, institutionalisierte Fraunhofer-Kooperationen mit örtlichen Universitäten, die eine dauerhafte Forschungstätigkeit im Ausland ermöglichen. Die Auslandsgesellschaften arbeiten nicht gewinnorientiert, sondern gemeinnützig und erhalten im Regelfall Grundfinanzierung vom Sitzland. Die Finanzierung erfolgt analog zum Fraunhofer-Modell. Im Rahmen der Fortschreibung der Internationalisierungsstrategie bekommen die selbstständigen Fraunhofer-Auslandsgesellschaften eine neue strategische Ausrichtung. Zukünftig steht der verstärkte wissenschaftliche Austausch zwischen den Centern der Auslandsgesellschaften und den deutschen Fraunhofer-Instituten im Vordergrund. Neben den ausländischen Projektvolumina der Fraunhofer-Gesellschaft erzielten die Fraunhofer-Auslandsgesellschaften 2021 Projektvolumina mit Dritten in Höhe von umgerechnet 27 Mio €.

Davon entfallen 7 Mio € auf Fraunhofer USA. Dahinter folgen Fraunhofer Austria mit 6 Mio € und das Stiftelsen Fraunhofer Chalmers Centrum för Industrimatematik in Schweden und Fraunhofer UK mit jeweils 4 Mio €. Das Forschungsspektrum der Fraunhofer-Auslandscenter ist weitreichend und umfasst die Quantentechnologie ebenso wie Informationstechnologien, Künstliche Intelligenz, Wirtschaftsmathematik, Produktions- und Logistikthemen, Biotechnologie oder Solare Energietechnik.

In den **Fraunhofer Innovation Platforms** (FIP; ehemals: Project Center, FPC) kooperieren Fraunhofer-Institute zu einem bestimmten Thema temporär mit einer ausländischen Forschungseinrichtung. Der jeweilige Partner etabliert die FIP unter eigener rechtlicher Hoheit und kooperiert in einem bestimmten Themenfeld eng mit einem Fraunhofer-Institut in Deutschland. Die Zusammenarbeit zielt auf gemeinsame Forschung, gemeinsame Projekte für Kunden und die Beteiligung an öffentlich geförderten Projekten.

Im Jahr 2021 starteten zwei neue Fraunhofer Innovation Platforms: in der Tschechischen Republik die »**Fraunhofer Innovation Platform for Applied Artificial Intelligence for Materials & Manufacturing**« (FIP-AI@VSB-TUO) eine Zusammenarbeit zwischen der VSB – Technische Universität Ostrava (VSB-TUO), dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT. Ziel der Kooperation sind neuartige Lösungen für die Wärmerückgewinnung in der Industrie auf Basis modularer Energiespeicher und Wärmetauscher-Systeme und diese mit digitalen Produktionstechnologien und der Integration in Prozessketten zu verknüpfen.

Die »**Fraunhofer Innovation Platform for Smart Shipping**« (FIP-S2@Novia) wurde in Finnland etabliert. Hier forschen das Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML und die Novia University of Applied Sciences in Turku gemeinsam an maritimen Simulationen und Digitalen Zwillingen, also virtuellen Kopien von Schiffen, Schiffsteilen oder Häfen.

Das interne Programm **ICON (International Cooperation and Networking)** ermöglicht die strategische Zusammenarbeit mit exzellenten ausländischen Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen auf Projektbasis. Über dieses Programm konnten 2021 drei neue Kooperationen entstehen:

Im ICON-Projekt »**Metasurfaces for Energy Efficient Devices**« (MEET), einer Kooperation zwischen dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und dem Forschungsinstitut AMOLF des Dutch Research Council, wird an Metamaterialien für optische Anwendungen geforscht, darunter höchsteffiziente Solarzellen, LEDs und optische Sensoren.

Das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE entwickelt gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS und der Universität York im Vereinigten Königreich im Projekt »**Layers of Protection Architecture for Autonomous Systems**« (LOPASS) eine Vorgehensweise für schnelleres und störungsfreies autonomes Fahren.

Im ICON-Projekt »**Next Level Photonics**« forschen die Kyoto University und das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS an neuartigen Methoden zur Erzeugung und Detektion von Licht und deren Integration in leistungsfähige Systeme für die kompakte bildgebende 3D-Sensorik.

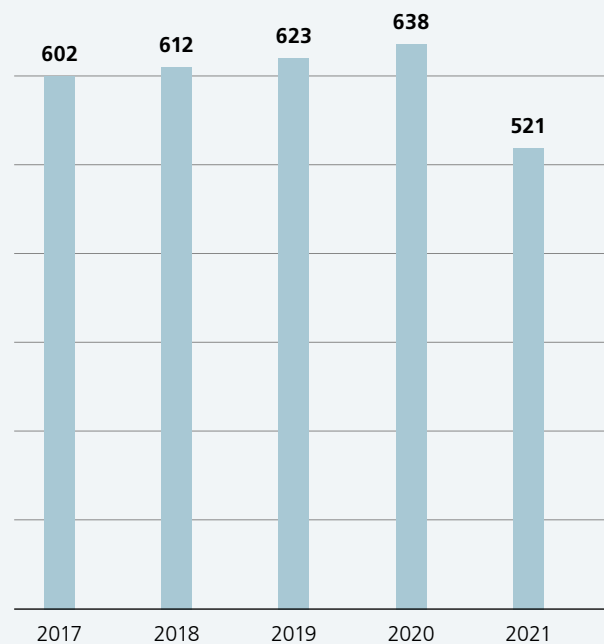
Das **Fraunhofer International Mobility Program (FIM)** fördert die internationale Mobilität und Vernetzung der Fraunhofer-Mitarbeitenden und unterstützt den Wissenstransfer. Das Programm ermöglicht mehrmonatige Auslandsaufenthalte für Fraunhofer-Mitarbeitende aus allen Arbeitsbereichen und Karrierestufen. 2021 wurde FIM stark von der Pandemie limitiert und viele Aufenthalte mussten verschoben werden. Die angetretenen Aufenthalte konnten trotz pandemiebedingter Einschränkungen erfolgreich absolviert werden.

Als Knotenpunkt für Vernetzung und Marketing fungieren die **internationalen Fraunhofer-Repräsentanzen** in China, Brasilien, Indien, Japan und Korea. Sie unterstützen vor Ort alle Fraunhofer-Institute bei der Anbahnung und Ausgestaltung ihrer Kooperationen mit landesspezifischen Forschungspartnern. Mit ihrem Wissen um lokale Forschungslandschaften geben die Repräsentanzen Impulse für das Fraunhofer-Forschungsportfolio. In weltweit sieben Ländern sind darüber hinaus Senior Advisors mit ähnlichem Aufgabenschwerpunkt im Einsatz.

Schutzrechtsverwertung

Unter den Forschungseinrichtungen in Deutschland ist Fraunhofer nach wie vor **Spitzenreiter** bei der Anzahl der Erfindungen, der neu angemeldeten Patente und der Gesamtanzahl der gewerblichen Schutzrechte. Auch im Vergleich zu Industrieunternehmen belegt die Fraunhofer-Gesellschaft eine hervorragende Stellung. In den letzten zehn Jahren gehörte sie stets zu den 10 bis 20 größten Patentanmeldern beim Deutschen Patent- und Markenamt. Auch beim Europäischen Patentamt zählt Fraunhofer zu den aktivsten Patentanmeldern.

Prioritätsbegründende Patentanmeldungen



Im Jahr 2021 meldeten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Fraunhofer-Gesellschaft 604 Erfindungen an. Es wurden 521 prioritätsbegründende Patentanmeldungen bei den Patentämtern eingereicht; das entspricht etwa zwei Patentanmeldungen pro Arbeitstag. Der Bestand an aktiven Patentfamilien, die jeweils alle Schutzrechte in unterschiedlichen Ländern beinhalten, blieb mit 7620 auf dem Niveau des Vorjahres. Um die Verwertung von Schutzrechten kontinuierlich voranzutreiben, werden weiterhin institutsübergreifende Patentportfolios gestaltet und ausgewählten Unternehmen angeboten. Daraus ergeben sich zusätzliche Einnahmemechanismen in Form von Lizenzen und FuE-Projekten.

Die **Verwertung des Intellectual Property (IP)** erfolgt in der Regel durch den Abschluss von Lizenzverträgen. Daneben kann IP auch in Patent-Pools eingebracht werden. Die erfolgreichsten Patent-Pools beinhalten Patente der Audio- und Video-Codierung. Gemeinsam mit weiteren Inhabern standardrelevanter Patente aus verschiedenen Ländern werden im Rahmen unterschiedlicher Patent-Pools gemeinsam weltweit Lizenzen erteilt. Die Verwertung erfolgt dadurch in deutlich mehr als 100 Ländern. Diese Einnahmen werden in die Vorlauforschung reinvestiert und stärken damit nachhaltig den Forschungsstandort Deutschland. Im Jahr 2021 schloss Fraunhofer 395 neue Verwertungsverträge ab, die Gesamtanzahl lag Ende 2021 bei 3090 aktiven Verträgen. Die Lizenzertträge sind nach dem Rückgang der Vorjahre wieder gestiegen und lagen 2021 bei 114 Mio €.

Aspekte der Corporate Responsibility

Verantwortung der Fraunhofer-Gesellschaft

Unter Corporate Responsibility (CR) versteht Fraunhofer die **umfassende Verantwortung** im Hinblick auf ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Belange. Der Umgang mit Kunden und Kooperationspartnern, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Auftragnehmern und Lieferanten ist bei Fraunhofer ebenso wie die Ausrichtung auf Forschung für das Wohl der Gesellschaft und zur Stärkung der deutschen und europäischen Wirtschaft vom »Prinzip der Verantwortung« geleitet.

Diese Verantwortung zeigte sich vor dem Hintergrund der anhaltenden Corona-Pandemie auch 2021 für die eigenen Mitarbeitenden. So engagierte sich die Fraunhofer-Gesellschaft neben zahlreichen Forschungsprojekten, darunter z. B. die Entwicklung von Medikamenten gegen COVID-19, auch mit einer **Fraunhofer-weiten Impfkampagne** im Kampf gegen das Virus und zum Schutz der eigenen Angestellten. Darüber hinaus konnten auf Initiative und mit Unterstützung des Fraunhofer-Vorstands alle Mitarbeitenden an einer Antikörper-Studie des Fraunhofer-Instituts für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP teilnehmen und sich freiwillig auf SARS-CoV-2-Antikörper testen lassen. Ein Angebot, das Fraunhofer weit auf enormes Interesse stieß und in großem Umfang wahrgenommen wurde. Die umfassenden Schutz- und Hygienemaßnahmen aus dem Vorjahr wurden aufrechterhalten oder, wo sinnvoll, weiter ausgebaut.

Ein weiteres Ereignis, das die Solidarität innerhalb der Organisation und das Engagement von Fraunhofer für die eigenen Mitarbeitenden deutlich machte, war die **Hochwasserflut im Juli 2021**. Von der Flut, die deutschlandweit, aber vor allem im Ahrtal gewaltige Schäden verursachte, waren auch zahlreiche unserer Kolleginnen und Kollegen betroffen. Über ein kurzfristig eingerichtetes Spendenkonto sammelte die

Fraunhofer-Gesellschaft innerhalb der Belegschaft Gelder zur schnellen und unbürokratischen Unterstützung der schwer betroffenen Mitarbeitenden. Die Verteilung der gesammelten Spenden – insgesamt 165 000 € – wurde Ende November von einem extra eingerichteten Spendengremium realisiert. Damit konnten die Betroffenen bei Schäden unterstützt werden, die nicht von einer Versicherung abgedeckt wurden. Für die große Hilfsbereitschaft und Solidarität bedankten sich sowohl Vorstand als auch die Betroffenen.

Forschung für Nachhaltigkeit

Als weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung trägt Fraunhofer zuallererst mit nachhaltigen **Lösungen zur Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft** bei. Die vielfältigen Beispiele aus der Fraunhofer-Forschung auch im diesjährigen Jahresbericht zeigen, in wie vielen Themenbereichen und zu welcher komplexen Herausforderungen an den Fraunhofer-Instituten Lösungen entwickelt werden. Genannt werden können hier Entwicklungen im Bereich Intelligente Medizin, z. B. der Einsatz von Minirobotern zur körperschonenden Behandlung, nachhaltige Lösungen aus dem Bereich Bioökonomie, z. B. die Suche nach einem ökologisch verträglichen Ersatz für Palmöl oder synthetische Kraftstoffe aus biogenen Reststoffen oder auch der Einsatz der Künstlichen Intelligenz zur Sicherung unserer Energieversorgung.

Zu den weltweit wichtigsten gesamtgesellschaftlichen Aufgaben gehört der **Klimaschutz**, d. h. vor allem die Umstellung der Energiesysteme auf erneuerbare Energien und die Defossilisierung der Wirtschaft. Fraunhofer-Forschende steuern hierfür maßgebliche Impulse bei. Beispielsweise in den Initiativen rund um Wasserstofftechnologien oder dem Pilotprojekt zu energetischen Flexibilisierungsmaßnahmen für eine funktionierende Versorgung von industriellen Prozessen mit Strom, der maßgeblich aus erneuerbaren Quellen stammt. Wie die Transformation hin zur Klimaneutralität in Deutschland bis 2045 realisierbar ist, beschreibt der Szenarienreport, der im ARIADNE-Projekt unter Mitwirkung von Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftlern erarbeitet wurde.

Um den Beitrag der Fraunhofer-Forschung auf diesem Gebiet weiter zu erhöhen, wurde 2021 der **Fraunhofer-Verbund Energietechnologien und Klimaschutz** gegründet. Neben einer Vielzahl unterschiedlicher Forschungsprojekte bündelt dieser die Stimme der Fraunhofer-Energieforschungsinstitute in politischen Gremien und Forschungsverbänden auf nationaler sowie auf EU-Ebene. Seine wissenschaftsbasierte Beratung begleitet die Politik und die Wirtschaft bei der Transformation des Energiesystems und der Erreichung der Klimaneutralität.

Auch der 2021 gegründete **Fraunhofer-Verbund Ressourcentechnologien und Bioökonomie** hat das Ziel, einen entscheidenden Beitrag zur Erfüllung der nationalen, europäischen und internationalen Nachhaltigkeitsziele zu leisten. Er setzt Konzepte zu Ressourceneffizienz, Bioökonomie, Circular Economy sowie Souveränität von Wertschöpfungszyklen um – für ein verantwortungsvolles Management der natürlichen Ressourcen und deren Nutzung. Dies umfasst die Rohstoff- und Energieversorgung, den Klima- und Umweltschutz sowie die Sicherstellung von Ernährung und Gesundheit.

Die **Fraunhofer-Zukunftsstiftung** orientiert sich mit ihrem Förderprogramm an den Sustainable Development Goals (SDGs) der Vereinten Nationen. Mit einem jährlichen Volumen von 5 Mio € werden gezielt Projekte von Fraunhofer-Forschenden unterstützt, die einen Beitrag dazu leisten, die Welt ökologisch intakt, sozial ausgewogen und ökonomisch nachhaltig zu gestalten. Beispielhaft seien aus dem Jahr 2021 die Projekte »EDDA – Intelligente Bildanalyse für effiziente humanitäre Hilfe in Katastrophengebieten« sowie »FAVRE – Betonrecycling für Klima- und Ressourcenschutz« genannt. Für den Transfer der Projektergebnisse setzt die Stiftung zunehmend auf Kooperationen mit der Zivilgesellschaft und befördert deren Zusammenwirken mit Wissenschaft und Wirtschaft. Der Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern soll künftig über partizipative Formate verstärkt werden.

Forschen in gesellschaftlicher Verantwortung

Die Umsetzung der Nachhaltigkeitsprinzipien wird bei Fraunhofer seit Beendigung des vom BMBF geförderten Verbundprojekts LeNa – »Leitfaden Nachhaltigkeit für außeruniversitäre Forschungsorganisationen« im Jahr 2016 verstärkt vorangetrieben. Die hier entwickelten Instrumente unterstützen die Implementierung eines »Nachhaltigkeitsmanagements« vor allem mit Fokus auf die Infrastrukturprozesse in den Organisationen maßgeblich. Ergänzt wird dies durch den 2021 gestarteten regelmäßigen Austausch der Forschungsorganisationen zu Umsetzungserfahrungen, im Rahmen dessen die Akteure voneinander lernen und sich mit dem Transfer von Best-Practice-Beispielen die Umsetzung erleichtern.

Mit dem 2021 begonnenen **Verbundprojekt LeNa Shape** wird nun auch die Verankerung des Prinzips »Forschen in gesellschaftlicher Verantwortung« auf Ebene der handelnden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsalltag gefördert. Daran arbeiten Forscherinnen und Forscher aus universitären und außeruniversitären Organisationen gemeinsam in zwei anwendungsorientierten Modulen: Modul 1 »LeNa Move« untersucht Umsetzungshemmnisse und entwickelt daraus Motivationsinstrumente, um eine Umsetzung des LeNa-Reflexionsrahmens durch Forschende und Wissenschaftsmanagerinnen und -manager im Forschungsalltag zu erreichen. Modul 2 »LeNa Value« leitet Kriterien für wissenschaftliche Exzellenz unter Nachhaltigkeitsaspekten sowie Metriken und Indikatoren für die Analyse von Wirkungen aus nachhaltigkeitsorientierter Forschung ab. Beiden Modulen gemeinsam ist die Entwicklung bislang noch fehlender Methoden und Instrumente, mit denen Trans- und Interdisziplinarität in der nachhaltigkeitsorientierten Forschung adressiert und umgesetzt werden kann. Ziel ist es, wissenschaftlich fundierte Voraussetzungen zu schaffen, um Nachhaltigkeit in den Alltag von Forschenden zu integrieren und Forschungsprozesse an nachhaltigen Kriterien auszurichten sowie eine Integration der Nachhaltigkeitsprinzipien in der akademischen Landschaft und im Wissenschafts- und Innovationssystem zu erreichen.

Ein Beispiel für mehr Partizipation und Beteiligungsformate ist die aktive Einbindung von Bürgerinnen und Bürger in Forschungs- und Entwicklungsprozesse – oftmals als Citizen Science beschrieben. Ziel ist nicht allein die Erhöhung der Akzeptanz für Innovationen in der Gesellschaft, sondern vielmehr die veränderte und auf die Anwendenden ausgerichtete Gestaltung von Innovation. Denn letztlich sind es die Bürgerinnen und Bürger, die Produkte und Technologien im Alltag nutzen. Durch die Einbindung der potenziellen Anwendenden bereits im Forschungs- und Entwicklungsprozess können wichtige Impulse für Innovationen aufgenommen und verschiedene Perspektiven berücksichtigt werden. Dieser Ansatz kann einerseits die Orientierung an wirtschaftlichen Bedarfen in der Fraunhofer-Forschung optimal ergänzen und andererseits dazu beitragen, die Kommunikation und Akzeptanz von Wissenschaft in der Gesellschaft zu stärken. Die dafür nötigen Methoden und Kompetenzen werden von Fraunhofer-Forschenden entwickelt und erprobt.

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Zum Jahresende 2021 waren bei Fraunhofer 30 028 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt, davon 21 640 wissenschaftliche, technische und administrative Beschäftigte (WTA-Personal), 7 877 Studierende sowie 511 Auszubildende. Die Personalzahlen bestätigen das zu Beginn der Krise mit den Zuwendungsgebern vereinbarte Ziel des Kapazitäts- und Kompetenzerhalts und zeigen, dass Fraunhofer auch unter veränderten Rahmenbedingungen voll arbeitsfähig bleibt.

Nachdem Omikron die dominierende Virusvariante in Deutschland wurde, stiegen die Inzidenzwerte in der Bundesrepublik rasant an und erreichten Höchstwerte. Auch die Anzahl an Infektionen bei den Mitarbeitenden der Fraunhofer-Gesellschaft stieg massiv an: Bis einschließlich Januar 2022 wurden seit Beginn der Pandemie ca. 1 300 Meldungen erfasst. Davon entfielen knapp 700 Fälle auf den Zeitraum November 2021 bis einschließlich Januar 2022. Dabei konnten die Ansteckungen fast ausschließlich auf das nähere soziale Umfeld der betroffenen Personen zurückgeführt werden – insbesondere im gemeinsamen Haushalt lebende Personen spielten eine große Rolle. Nach der Durchführung einer ersten **Impfkampagne**

zur Grundimmunisierung der Mitarbeitenden in Zusammenarbeit mit dem betriebsärztlichen Dienst BAD im Sommer 2021 stellt die Fraunhofer-Gesellschaft auch ein Angebot für Auffrischungsimpfungen bereit. Erste Termine konnten bereits im Dezember 2021 durchgeführt werden. Der Großteil der Impfungen fand im Januar und Februar 2022 statt. Dieser wertschätzende Beitrag zum Schutz der eigenen Mitarbeitenden unterstreicht die ausgezeichneten Arbeitsbedingungen der Fraunhofer-Gesellschaft.

»Unser Erfolg basiert auf dem Wissen und der Begeisterung unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die angewandte Forschung. Fraunhofer bietet ausgezeichnete Rahmenbedingungen und einen hohen Grad an Selbstbestimmung«.

Aus dem Leitbild der Fraunhofer-Gesellschaft

Wissen und Begeisterung zu stärken und die dafür idealen Rahmenbedingungen zu schaffen und weiter zu entwickeln – dazu trägt das Personalmanagement von Fraunhofer mit seinen strategischen Handlungsfeldern bei. Globale Megatrends wie die digitale Transformation erfordern, die Leistungsfähigkeit und Innovationskraft der Fraunhofer-Institute zu sichern und zu steigern. Die Gestaltung der Arbeitswelt ist dabei ein wesentlicher Faktor für die Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Rahmenbedingungen und trägt entscheidend zur Innovationsfähigkeit, Arbeitgeberattraktivität und Resilienz der Organisation auch in Zeiten der Pandemie bei. Rund 40 Institute initiierten Umsetzungsprojekte im Kontext von **New Work** und nutzen dabei die Impulse, Tools und Handlungshilfen des zentralen Angebots:

- Das Instrument »New-Work-Radar« wurde im Rahmen der Pilotphase entwickelt und steht den Instituten als Bestandsaufnahme- und Analyse-Tool zur Verfügung. Es bietet die Möglichkeit, sich mit dem aktuellen Stand der New-Work-Initiativen und dem angestrebten Reifegrad in Bereichen wie beispielsweise der Führung und Selbstorganisation, Flexibilisierung und Innovationskultur auseinanderzusetzen. Durchführbar ist die Analyse als Self Assessment oder als expertengeleitetes Workshop-Format mit der Zielsetzung, erste Handlungsfelder der New-Work-Implementierung zu identifizieren.
- Begleitend wurde eine New-Work-Community ins Leben gerufen, der mittlerweile 84 New-Work-Projektverantwortliche angehören und über die sich die beteiligten Institute austauschen und kollegial beraten. Mittlerweile sind ca. 15 000 Mitarbeitende direkt oder indirekt in New-Work-Aktivitäten involviert.
- Insgesamt wurden Fraunhofer-weit bisher über 20 örtliche Betriebsvereinbarungen bzw. Regelungen (bei Instituten ohne Betriebsrat) zum orts- und zeitflexiblen Arbeiten entwickelt. Nahezu alle Institute setzten dabei auf Befragungen der Mitarbeitenden und erprobten die neuen

Arbeitsweisen in Pilotabteilungen. Hinzu kommen rund 20 Teamcharta-Prozesse, die an verschiedenen Instituten angestoßen wurden oder bereits abgeschlossen sind. Das Tool der Teamcharta wird für den Prozess, wie Führungskräfte und Mitarbeitende zukünftig miteinander arbeiten wollen, als enorm hilfreich bewertet.

- New Work trägt dazu bei, in der Zusammenarbeit mit Kunden innovativer und agiler zu werden, z. B. durch ein agil aufgestelltes Projektmanagement. Schnell auf veränderte Bedarfe und Marktbedingungen zu reagieren ist bei der Kundenbeziehung ein wichtiger Faktor. Deshalb haben sich 16 Institute im Rahmen von drei Modulreihen mit den Themen agiles Projektmanagement, Collaborative Leadership und neuen Formen von Kooperation auseinandergesetzt.

»Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gestalten die Zukunft – in anspruchsvollen Positionen bei Fraunhofer oder auch in anderen Bereichen der Wissenschaft und Wirtschaft. Daher legt die Fraunhofer-Gesellschaft höchsten Wert auf deren fachliche und persönliche Förderung und Entwicklung.«

Aus dem Leitbild der Fraunhofer-Gesellschaft

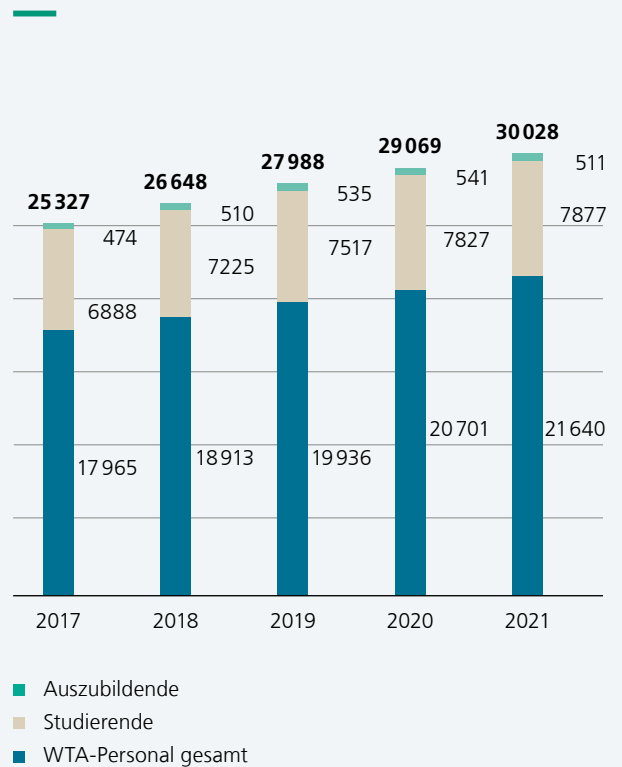
Die Fraunhofer-Gesellschaft hat den Auftrag »Transfer durch Köpfe« und setzt dies über den Ansatz **»Karriere mit Fraunhofer«** mit einem ganzheitlichen Personalentwicklungskonzept um. Ziel ist die Unterstützung der individuellen Karriereplanung der Mitarbeitenden von Anfang an. Das Kerninstrument für diese Planung ist das Mitarbeitendengespräch, das bei Fraunhofer als »Entwicklungsgespräch« positioniert ist. Als Orientierung für die Entwicklungsplanung hat Fraunhofer Qualifikationsfelder und -themen sowie interne als auch auf Wirtschaft, Wissenschaft oder Selbstständigkeit ausgerichtete Entwicklungs- und Karrierepfade definiert und entsprechende Maßnahmen konzipiert.

Ergänzend unterstützen maßgeschneiderte Karriere-Programme die Vernetzung über die Institute hinweg, wie z. B. die Vintage Class sowie die Advanced Management Class für das Top- und obere Management, TALENTA für Wissenschaftlerinnen und weibliche wissenschaftliche Führungskräfte und Step forward für Young Professionals.

Zur Evaluation der Maßnahmen im Rahmen des Gesamtkonzepts Personalentwicklung dient vor allem die systematische Exit-Befragung der ausscheidenden Mitarbeitenden, die u. a. erhebt, inwieweit sich die Mitarbeitenden in ihrer Entwicklungsplanung unterstützt gesehen haben.

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

(Anzahl Personen am Jahresende)



Diese Rahmenbedingungen tragen dazu bei, dass Fraunhofer jährlich unter den **TOP-Arbeitgebern** zu finden ist. Im Januar 2022 belegte die Fraunhofer-Gesellschaft im »stern«-Arbeitgeberranking unter den TOP 50 Arbeitgebern den sechsten Platz.

Diversity

Zielsetzung von Diversity Management ist ein Arbeitsumfeld, an dem alle Mitarbeitende gleichberechtigt teilhaben können – ungeachtet von ethnischer Herkunft, Geschlecht, Religion und Weltanschauung, Behinderung, Alter oder sexueller Identität.

Das **Förderprogramm Diversity** feierte im Herbst 2021 sein 10-jähriges Bestehen. Die sukzessive Erweiterung der Förderzwecke um Inklusion (2016) und Interkulturelle Zusammenarbeit (2019) zeigt die Weiterentwicklung der Themenfelder. Seit Einführung des Programms wurden 196 Anträge mit einem Gesamtvolumen von über 1,8 Mio € gefördert, davon 26 Anträge mit einem Volumen von 182 000 € im Jahr 2021. Zu den 2021 geförderten institutsspezifischen Maßnahmen gehörten

Diversity-Sensibilisierungskonzepte mit dem Schwerpunkt auf Unconscious Bias, innovative Maßnahmen zur Barrierefreiheit für Menschen mit Behinderung sowie virtuelle Angebote zur Vereinbarkeit von Beruf und Familie, welche auf die derzeitigen Herausforderungen der Pandemie zugeschnitten sind.

Der Anteil an Menschen mit Schwerbehinderung lag zum Jahresende 2021 bei 2,6 Prozent (Vorjahr 2,8 Prozent). Die Inklusion von Menschen mit Behinderung ist einer der Schwerpunkte im Förderprogramm Diversity. 2021 lag der Fokus auf dem Thema physische Barrierefreiheit. Zentral gefördert wurde beispielsweise ein Entwicklungsprojekt, in dem ein Fahrstuhl-Prototyp implementiert und evaluiert wird, welcher es erlaubt, mithilfe eines einfach nachzurüstenden externen Geräts beliebige Fahrstühle für Blinde und Sehbehinderte barrierefrei zu machen. Weitere Schwerpunkte lagen auf der Information und Kommunikation zu Inklusionsthemen, u. a. im Fraunhofer-weiten Intranet.

Der Fraunhofer-weite Rahmenvertrag mit dem **pme Familien-service** über die Leistungsbereiche Kindertagesbetreuung, Homecare/Eldercare und Lebenslagencoaching wurde 2021 um weitere zwei Jahre verlängert. Inbegriffen ist hier weiterhin die pme Akademie. Als außerplanmäßige Leistung wurde der Rahmenvertrag im Sommer 2021 um ein Unterstützungspaket für Betroffene der Hochwasserkatastrophe erweitert, welches u. a. eine spezielle Notfallhotline, Einkommens- und Budgetberatung, psychosoziale Notfallbetreuung sowie einen Concierge Service (Hilfe im Haushalt, Handwerkerleistungen, Tiersitting, Botengänge) bereithielt.

Im Jahr 2021 wurde ein reduziertes Verfahren für die Zertifizierung des **Fraunhofer FamilienLogo** angeboten, d. h., die bereits ausgezeichneten Institute können ihr Logo bis zur Rezertifizierung 2022 weiterführen, während weitere Institute die Möglichkeit der Erstzertifizierung in Anspruch nehmen konnten. Damit stieg die Anzahl der mit dem FamilienLogo für exzellente Vereinbarkeit ausgezeichneten Institute auf 19. Weitere 29 Institute zeigten eine sehr gute Vereinbarkeit von Beruf und Familie.

Mit der **Fraunhofer-spezifischen Kaskade** hat Fraunhofer bis 2025 transparente Ziele zur Erhöhung des Wissenschaftlerinnenanteils auf den verschiedenen Ebenen gesetzt. Auf der Ebene 3 (wissenschaftliche Mitarbeitende ohne Führungsverantwortung) wurde das Jahresziel mit einem Frauenanteil von 24,3 Prozent erreicht. Mit einem Anteil an Wissenschaftlerinnen von 16,8 Prozent wurde auch das Ziel auf der Führungsebene erreicht. Das Ziel eines Frauenanteils von 13 Prozent auf der obersten Führungsebene wurde dagegen trotz leichter Steigerung um 3 Prozentpunkte verfehlt.

Das 2020 ins Leben gerufene Sourcing-Team verfolgt das Ziel, mehr Frauen für die Institutsleitungsebene zu gewinnen. Seitdem ermittelte das Sourcing-Team national als auch international über 1000 interessante Kandidatinnen und kontaktierte bereits über 600 von ihnen. Für 16 Berufungsverfahren sprach das Sourcing-Team über 220 Kandidatinnen gezielt an. 30 von ihnen reichten ihre Bewerbung ein. In neun der Berufungsverfahren, die bereits weiter fortgeschritten waren, wurden 16 Frauen zu Vorträgen eingeladen – 6 davon erhielten bereits einen Ruf. Bei den verbleibenden drei Berufungsverfahren stand bereits jeweils eine Frau auf der Berufungsliste.

Fraunhofer strebt an, den **Anteil von Frauen in den Kuratorien** der Institute jährlich um 4 Prozentpunkte zu erhöhen. Die seitens der Forschungscoordination eingeleiteten Maßnahmen und das Engagement der Institute zeigten Wirkung – mit einem Frauenanteil in den Kuratorien der Institute von 26,5 Prozent (Vorjahr 22,3 Prozent) wurde das Ziel 2021 erreicht.

Unconscious Bias ist ein wichtiges Thema im Diversity Management, um eine Kultur der Chancengerechtigkeit und Vielfalt zu gestalten. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat ein umfassendes Konzept für Mitarbeitende und Führungskräfte entwickelt, um für das Wirken von Unconscious Bias zu sensibilisieren, den Umgang damit zu trainieren und deren negative Wirkungen bei Personalentscheidungen und im beruflichen Miteinander zu reduzieren. Neben dem Einsatz unterschiedlicher Maßnahmen, wie z. B. einem Präsentationsmodul für Vorträge und Schulungsmodulen in Führungskräfte-seminaren, wurde im Jahr 2021 mit einem externen Anbieter ein E-Learning entwickelt. Dieses soll im Frühjahr 2022 veröffentlicht werden und Mitarbeitende und Führungskräfte dabei unterstützen, vielfältigere Perspektiven bei Entscheidungssituationen einzunehmen.

Die Förderung von Chancengleichheit in Forschung und Innovation ist für die EU-Kommission ein wichtiges Anliegen, das von der Fraunhofer-Gesellschaft in hohem Maße begrüßt und unterstützt wird. So wird ab 2022 der **»Gender Equality Plan« (GEP)** als verpflichtende Zulassungsvoraussetzung für die Teilnahme am Programm »Horizon Europe« eingeführt. Der GEP enthält neben einer Selbstverpflichtung des Vorstands eine Darstellung zum Status quo der Geschlechterverteilung und einen Überblick über Ziele, Maßnahmen und Programme zur Förderung von beruflicher Chancengleichheit bei Fraunhofer. Der GEP wurde für Fraunhofer auf Basis des jährlichen Monitoringberichts für den Pakt für Forschung und Innovation erstellt und wird jährlich aktualisiert. Den Vorgaben der EU-Kommission folgend, veröffentlicht Fraunhofer die Selbstverpflichtung zur Förderung beruflicher Chancengleichheit auf der Website und den Gender Equality Plan, der allen Mitarbeitenden zugänglich ist, im Intranet.

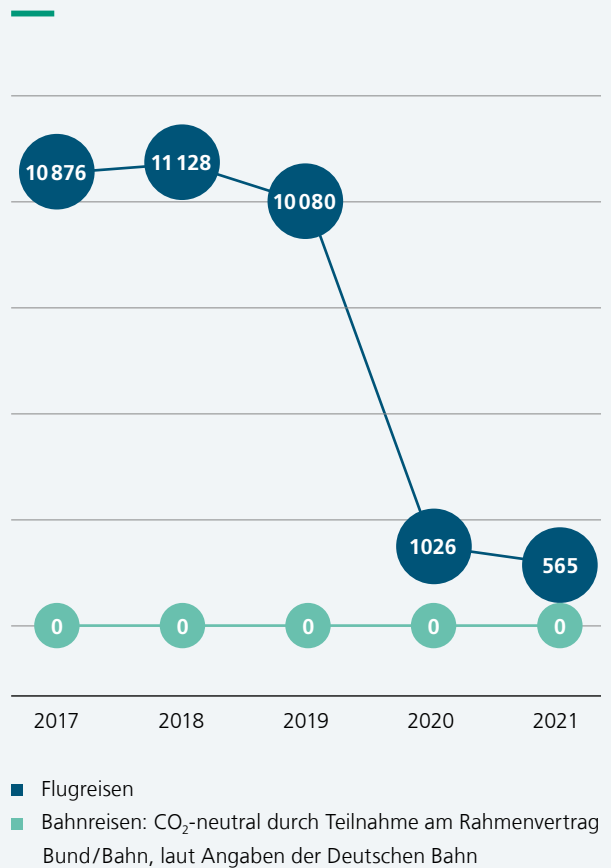
Vorhaben: Klimaneutraler Wissenschaftsbetrieb

Neben nachhaltigen Forschungslösungen und der Mitwirkung an einer gesamtgesellschaftlichen Transformation hin zu mehr Klimaschutz übernimmt die Fraunhofer-Gesellschaft auch Verantwortung für eine klimaverträgliche Gestaltung der eigenen Prozesse und Infrastrukturen. Dafür hat sich Fraunhofer ein ambitioniertes Ziel gesetzt: die Senkung der eigenen Treibhausgas-(THG-)Emissionen für einen **klimaneutralen Wissenschaftsbetrieb** bereits ab 2030. Verbleibende Restemissionen, die über das Zieljahr hinaus noch kompensiert werden müssen, sollen bis spätestens 2045 vollständig vermieden werden. Auf Grundlage des 2020 erfassten CO₂-Fußabdrucks wurde im Lauf des Jahres 2021 eine konkret umsetzbare Roadmap mit dezidierten Maßnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen entwickelt. Ein erster großer Hebel auf dem Weg zur Klimaneutralität ist für Fraunhofer der Bezug von regenerativem Strom für alle Liegenschaften. Ein dafür entwickeltes internes Photovoltaik-Finanzierungsprogramm soll den massiven Ausbau der Eigenstromerzeugung fördern. Hinzu kommt der Beschluss zum Fraunhofer-weiten Bezug von Ökostrom ab dem neuen Rahmenvertrag 2023. Mittelfristig werden weitere Individuallösungen und Direktstromlieferverträge diesen Schritt ergänzen.

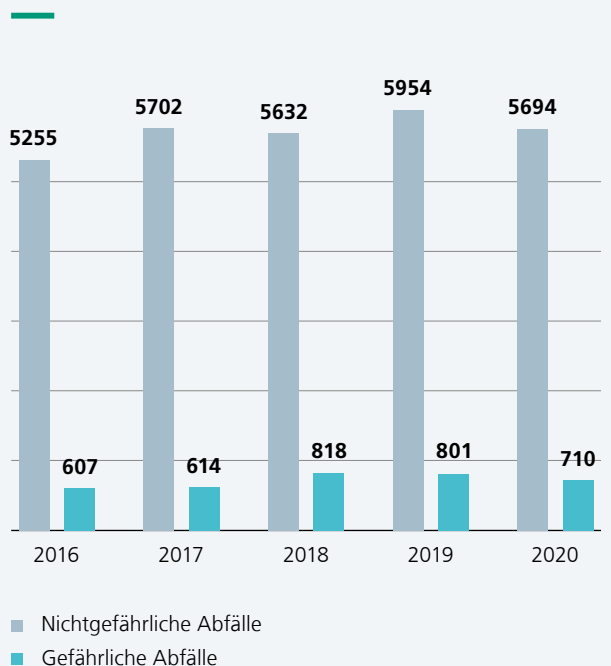
Aufgrund von Corona war das **Dienstreiseverhalten** auch 2021 stark eingeschränkt. Virtuelle Formate haben einen Großteil der Reisen, insbesondere Flüge, ersetzen können. Somit sind die sich daraus ergebenden CO₂-Emissionen auch 2021 weiter gering, im Vergleich zum Vorjahr haben sich diese mit 565 Tonnen CO₂ noch einmal nahezu halbiert. Die Emissionen der Flüge aus dem Jahr 2020 wurden im Jahr 2021 erstmalig über Kompensationsprojekte von atmosfair neutral gestellt. Konkret wurden zu gleichen Teilen ein Pionier-Solaranlagenprojekt im Senegal sowie Kleinbiogasanlagen in Nepal unterstützt: Projekte, mit denen insbesondere private Haushalte aus armen, dezentralen Regionen mit sicherer und bezahlbarer, sauberer Energie versorgt werden können. Auch für die Flug-Emissionen 2021 ist die Kompensation vorgesehen. Bahnfahrten werden durch die Nutzung des Rahmenvertrags Bund/Bahn für Fraunhofer als CO₂-neutral ausgewiesen, hier ist daher keine Änderung zu verzeichnen.

Für das betriebliche **Abfallmanagement** und die Dokumentation sind an den Fraunhofer-Instituten Beauftragte bestellt worden. Aktuelle Gesamtabfallzahlen sind lediglich für das Jahr 2020 verfügbar. Gemäß diesen fielen im Jahr 2020 an den Fraunhofer-Instituten 5694 Tonnen nichtgefährliche und 710 Tonnen gefährliche Abfälle an. Dies bedeutet einen Rückgang um 4 Prozent für nichtgefährliche bzw. 11 Prozent für gefährliche Abfälle im Vergleich zum Vorjahr. Die Reduktionen im Bereich nichtgefährliche Abfälle gehen auf die Bemühungen der Institute zurück. Die Schwankungen im Bereich gefährliche Abfälle sind zu großen Teilen durch Forschungsprojekte zu erklären: Die meisten Abfälle fallen projektbezogen an und sind nicht direkt steuerbar.

CO₂-Emissionen bei Dienstreisen der Fraunhofer-Beschäftigten in Tonnen



Abfallaufkommen der Fraunhofer-Institute in Tonnen



Risiken und Ausblick

Risikomanagement und Risiken

Die Risikosituation der Fraunhofer-Gesellschaft hat sich im Vergleich zum Vorjahr leicht verbessert, ist aber weiterhin von den Auswirkungen der COVID-19-Pandemie geprägt. In der Gesamtsicht besteht jedoch weiterhin keine nachhaltige Gefährdung der Fraunhofer-Gesellschaft.

Dank des großen Einsatzes aller Mitarbeitenden sowie der Unterstützung des Bundes und der Länder konnte Fraunhofer auch im zweiten Jahr der COVID-19-Pandemie die weiterhin immensen Herausforderungen bewältigen. Aufgrund der Ungewissheit über das weitere Pandemiegeschehen bleibt die weitere wirtschaftliche Entwicklung und der Umfang der Auswirkungen auf die Fraunhofer-Gesellschaft aber unsicher. Der Fraunhofer-Vorstand hat deshalb Szenarien mit entsprechenden Maßnahmen entwickelt, um schnell auf zukünftige Entwicklungen reagieren zu können. Unter anderem wurde vom Zuwendungsgeber ein Mehrbedarf an Zuwendung auch für 2021 genehmigt, um Fraunhofer den Erhalt ihrer zur Krisenbewältigung in Deutschland und Europa so wichtigen Kompetenzen und Kapazitäten zu ermöglichen. Die Veränderung der Lage wird weiterhin durch den Corona-Krisenstab intensiv beobachtet und analysiert, um Maßnahmen laufend an sich verändernde Situationen anzupassen.

Unter dem Begriff **Risiko** versteht Fraunhofer alle internen und externen Ereignisse und Entwicklungen, die den Erfolg der Gesellschaft gefährden können. Hierzu zählen sowohl direkt monetär ermittelbare als auch qualitative Risiken.

Das **Risikomanagement** bei Fraunhofer verfolgt das Ziel, vorhandene und potenzielle Risiken frühzeitig zu identifizieren und durch geeignete Maßnahmen so zu steuern, dass der Risikoeintritt entweder abgewendet werden kann oder keine

Folgen entfaltet, welche die Erfüllung des satzungsgemäßen Auftrags bzw. den Erfolg der Fraunhofer-Gesellschaft gefährden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein Risikomanagementsystem etabliert, das die Anforderungen und die Struktur der Fraunhofer-Gesellschaft berücksichtigt, fortlaufend weiterentwickelt und vom Wirtschaftsprüfer der Fraunhofer-Gesellschaft als geeignet und ausreichend bewertet wurde.

Der Regelkreis des Risikomanagements beinhaltet eine jährliche systematische und standardisierte Risikoerhebung mit den Risikoexperten in den Fachabteilungen. Die dabei erhobenen Einzelrisiken inkl. der Maßnahmen werden im Anschluss für die jährliche Berichterstattung an den Vorstand zu den entsprechenden Risikothemen zusammengefasst und priorisiert, wodurch gleichartige Einzelrisiken gesamthaft bewertet werden.

Daneben informieren die Fachabteilungen den Vorstand im Rahmen bestehender Berichtswege regelmäßig bzw. anlassbezogen über relevante Risikoentwicklungen.

Das Fraunhofer-spezifische Risikokategorisierungsmodell bildet den Rahmen für die jährliche Risikoerhebung und den darauf aufbauenden Risikobericht an den Vorstand. Es besteht in der ersten Ebene aus vier Risikofeldern (Geschäftsmodell, Finanzen, Ressourcen und Operatives Geschäft). Auf der zweiten Ebene wurden diesen vier Risikofeldern bisher 19 Fraunhofer-spezifische Risikothemen zugeordnet.

Das **Risikofeld Geschäftsmodell** umfasst Risikothemen, welche die Fortführung und Weiterentwicklung des Fraunhofer-Geschäftsmodells gefährden können. Dies betrifft sowohl wichtige externe Rahmenbedingungen als auch Risiken hinsichtlich der internen Ausgestaltung des Geschäftsmodells.

Durch die COVID-19-Pandemie ist in bestimmten Bereichen des **Forschungsportfolios** weiterhin mit Auswirkungen zu rechnen. Fraunhofer intensiviert entsprechend die bereits laufenden Aktivitäten in der strategischen Portfoliosteuerung.

Aus Haftungs- und Leistungsrisiken der **selbstständigen Auslandsgesellschaften** können mittelbar finanzielle Risiken für die Fraunhofer-Gesellschaft erwachsen. Der jahrelange Rechtsstreit von Fraunhofer USA, Inc. mit einem US-Unternehmen konnte 2021 durch einen außergerichtlichen Vergleich beigelegt werden. Durch das Auslaufen der Sitzlandförderung muss in Chile und Singapur jeweils ein Center geschlossen und die Ausrichtung/Weiterführung der Gesellschaften überprüft werden. Entsprechende Maßnahmen wurden veranlasst.

Im **Risikofeld Finanzen** stehen Risikothemen im Fokus, die die Finanzierung der Forschungstätigkeit bzw. die Zahlungsfähigkeit bedrohen können.

Die institutionelle Förderung durch Bund und Länder stellt für die Fraunhofer-Gesellschaft eine der **drei wesentlichen Finanzierungssäulen** dar und ermöglicht insbesondere den qualitätsgesicherten Aufbau neuer Forschungsfelder und -themen. Als anwendungsorientierte Forschungsorganisation stellen die Wirtschaftserträge eine weitere der drei wesentlichen Finanzierungssäulen dar, bei der als Folge der anhaltenden COVID-19-Pandemie das Erreichen der gesteckten Ertragsziele weiterhin erschwert wird. Damit Fraunhofer die zur Krisenbewältigung in Deutschland und Europa wichtigen Kompetenzen und Kapazitäten erhalten kann, erhielt Fraunhofer für 2021 eine zusätzliche Zuwendung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Um den Anteil der institutionellen Förderung an der Gesamtfinanzierung nachhaltig zu sichern, betreibt Fraunhofer ein vorausschauendes Wachstumsmanagement und wirbt für eine missionsgerechte, erfolgsbasierte institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie forschungsgerechte Bewirtschaftungsbedingungen. Die derzeit geltenden Bewirtschaftungsgrundsätze erlauben es Fraunhofer, flexibel, effizient und eigenverantwortlich zu agieren. Eine Einschränkung dieser Möglichkeit hätte die Folge, dass die Risiko- und **Liquiditätsvorsorge** und die Anpassungsfähigkeit begrenzt werden.

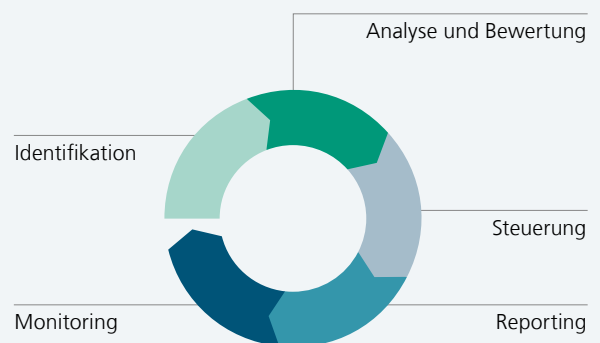
Von Bund, Ländern und der EU als Co-Finanzierer (EFRE) finanzierte **Bau- und Erstausrüstungsvorhaben** unterliegen Vorgaben hinsichtlich der zeitlichen Mittelverwendung. Deutliche Verzögerungen im Projektfortschritt können zu einem verspäteten Mittelabfluss bis hin zum Verfall der bereitgestellten Mittel führen. Durch das bei Fraunhofer etablierte Baucontrolling wird der Projektfortschritt von Bau- und

Erstausrüstungsvorhaben zeitnah überwacht und laufend Möglichkeiten für eine Beschleunigung der Projektabwicklung untersucht. Des Weiteren setzt sich Fraunhofer für einheitliche und flexible Zuwendungsbedingungen bei Bauvorhaben ein.

Das **Risikofeld Ressourcen** umfasst Risiken, die eine Bedrohung der materiellen und immateriellen Ressourcen für eine erfolgreiche Forschungstätigkeit darstellen können.

Vielfältige Schutzmaßnahmen, darunter das erprobte Fraunhofer-Krisenmanagementsystem, haben nicht nur ihre Wirksamkeit während der COVID-19-Pandemie, sondern

Regelkreis des Risikomanagements



Fraunhofer-Risikokategorisierungsmodell

Risikofelder	Risikothemen
Geschäftsmodell	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Beihilferecht Gemeinnützigkeit, Steuern Verwertung, Ausgründungen Unternehmensstrategie, Portfoliosteuerung Internationale Aktivitäten
Finanzen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Grundfinanzierung Öffentliche Erträge Wirtschaftserträge Aufwand Betrieb/Investitionen/Bau Liquidität, Vorfinanzierung, sonstige finanzielle Risiken
Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Personal IP, Know-how Infrastruktur Finanzvermögen, Reserve Reputation, Marke
Operatives Geschäft	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Leistungserbringung, vertragliche Risiken Rechtliche Risiken Informationssicherheit Ordnungsmäßigkeit, interne Kontrollsysteme

zuletzt auch in der Hochwasserkatastrophe 2021 bewiesen. Fraunhofer konnte dadurch binnen kürzester Zeit einen Krisenstab einrichten und betroffene Mitarbeitende unterstützen. Die Fraunhofer-Gesellschaft arbeitet stetig daran, ihre Schutz-, Präventions- und Krisenbewältigungsprozesse zu verbessern, um die Resilienz gegen mögliche Gefahren und Risiken weiter zu steigern.

Im Risikofeld **Operatives Geschäft** sind Risiken zusammengefasst, die aus den Prozessen in Forschung und Verwaltung bzw. der Durchführung von konkreten Forschungsvorhaben erwachsen können.

Der sichere Umgang mit Informationen stellt für die nachhaltige Geschäftstätigkeit einer wissensbasierten Forschungsgesellschaft eine elementare Voraussetzung dar. Aber auch Forschungsgesellschaften können sich dem (derzeit) starken Anstieg von Gefährdungen im Bereich **Informationssicherheit** nicht entziehen. Diese Risiken werden bei Fraunhofer jedoch durch gezielte und fortlaufend weiterentwickelte Maßnahmen begrenzt und in einem verbindlichen Informationssicherheitshandbuch beschrieben. Gegenwärtig ist das Risiko wechselseitiger Cyberangriffe und Spionageaktivitäten angesichts des Kriegs in der Ukraine noch einmal deutlich gestiegen.

Ausblick

Nach zwei herausfordernden coronabedingten Krisenjahren blickt Fraunhofer zuversichtlich auf das Jahr 2022. Für das Finanzvolumen rechnet Fraunhofer erstmals die 3-Mrd.-€-Schwelle zu überschreiten. Der Auftragsbestand der Wirtschaftsprjekte hat sich gegenüber dem Vorjahr erhöht. Das Erreichen der gesteckten Ertragsziele bleibt jedoch risikobehaftet angesichts der noch nicht vollständig überwundenen Pandemie und geopolitischer Verwerfungen durch den Krieg in der Ukraine und dessen noch nicht absehbaren wirtschaftlichen Folgen.

Die neue **Fraunhofer-Strategiegruppe Strukturwandel** entwickelt die strategische Positionierung der Fraunhofer-Gesellschaft zu dieser Thematik. Dabei verfolgt sie einen ganzheitlichen branchen- und revierübergreifenden Ansatz und initiiert mit Ansprechpartnern in den beteiligten Bundesländern Brandenburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Sachsen-Anhalt bedarfsgerechte Konzepte und Netzwerke. Zudem befördert die Strategiegruppe durch eine institutsübergreifende Begleitforschung zu Wertschöpfungs- und Akzeptanzprozessen in den Revieren eine systematische, wissenschaftliche und vergleichende Untersuchung, um den Stakeholdern des Strukturwandels Handlungsempfehlungen für künftige innovationspolitische Entscheidungen geben zu können und Potenziale revierübergreifend zu heben.

Eine frühzeitige Erkennung relevanter Themen und Trends sowie eine strategische Positionierung sind für die Anwendungsforschung von Fraunhofer wesentlich. Von besonderer strategischer Bedeutung sind dabei der Einsatz von neuen Technologien und Methoden, um Planungen datengesteuert zu unterstützen. Mit der Umstellung des bestehenden ERP-Systems Sigma auf ein zukunftsweisendes **SAP S/4HANA-System** geht ein Paradigmenwechsel einher: Ausgehend von einer standardisierten Prozessumgebung wurden die Fraunhofer-Geschäfts- und -Kernprozesse durchgängig digital und für alle Organisations- und Funktionseinheiten einheitlich konzipiert. Neben standardisierten Prozessen wird dadurch auch die Datenerfassung und -haltung innerhalb der gesamten Organisation harmonisiert. Fraunhofer stellt mit seinen rechtlich unselbstständigen und auf über 80 Standorten verteilten Instituten eine interoperable, durchgängig standardisierte Daten- und Prozesslandschaft von besonderer Bedeutung dar und diese Instrumente tragen zu einer neuen Form der

Strategieentwicklung bei. Planmäßig konnte im Januar 2022 der Go-live des SAP S/4HANA-Systems Fraunhofer-weit an allen Standorten vollzogen werden.

Ab 2022 wird mit der organisationsweiten und -übergreifenden **Business Intelligence** für verschiedene Nutzergruppen ein Instrumentarium ausgerollt, mit dem verschiedene interne Datenbestände unterschiedlicher Provenienz und aus unterschiedlichen Nutzungskontexten einfacher ausgewertet werden können. Neben den internen Fraunhofer-generierten Daten wird über eine Data-Science-Plattform eine Graph-Datenbank auf Basis von SAP HANA geschaffen und weiterentwickelt. Diese Plattform dient als Zugang zu zahlreichen Datensätzen für Data Scientists ebenso wie als externe Datenbasis für die Business Intelligence.

Das auf dem interdisziplinären Kompetenzspektrum der 76 Fraunhofer-Institute mit ihren über 1000 Kernkompetenzen basierende Synergiepotenzial stellt ein weltweit einmaliges Alleinstellungsmerkmal dar. Die Nutzung dieses Potenzials durch eine verstärkte interne Kooperation war Ziel der **Fraunhofer-Agenda 2022**, die erfolgreich durch die Entwicklung und Etablierung neuer Instrumente und Prozesse abgeschlossen werden konnte. So werden nunmehr ab 2022 gemeinsame Verbund-Roadmaps erstellt, Leitmärkte durch Institutskonsortien angesprochen und strategische Forschungsfelder der Zukunft durch Cluster of Excellence koordiniert erforscht.

Fraunhofer ist somit für die Zukunft robust und wettbewerbsfähig aufgestellt durch

- effiziente interne Entscheidungs- und Geschäftsprozesse auf Basis von SAP-Tools,
- effektive Instrumente zur barrierefreien Vernetzung innerhalb des Fraunhofer-Kompetenzportfolios,
- eine konsistente Mission zur Mitwirkung an einer nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft
- und eine resiliente Governance mit fachlich autonomen und mit der Wirtschaft und der Wissenschaftsgemeinschaft selbstständig vernetzten Instituten.

Der Vorstand dankt den Mitgliedern, Förderern, Freunden und insbesondere den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fraunhofer-Gesellschaft für Ihre Unterstützung und ihren engagierten Einsatz im Jahr 2021.

Fraunhofer-Gesellschaft
zur Förderung der angewandten Forschung e. V.

Der Vorstand
Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer
Prof. Dr. rer. publ. ass. iur. Alexander Kurz
Dipl.-Kfm. Andreas Meuer

Bericht des Senats zum Geschäftsjahr 2021



*Heinz Jörg Fuhrmann,
Vorsitzender des Senats der
Fraunhofer-Gesellschaft.*

In einem weiterhin schwierigen Marktumfeld verzeichnet die Fraunhofer-Gesellschaft 2021 ein leichtes Wachstum. Dank der Unterstützung des Bundes, des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, der Bundesländer sowie mithilfe des engagierten Einsatzes der erstmals über 30 000 Mitarbeitenden konnten die großen Herausforderungen des zweiten Pandemiejahres bewältigt werden. Erste Anzeichen der Erholung gab es beispielsweise bei den Wirtschaftserträgen, die in absoluten Zahlen an das Vorkrisenniveau anschließen konnten.

Die Fraunhofer-Gesellschaft weist im Jahr 2021 mit einem Anstieg des Finanzvolumens um 3 Prozent auf rund 2,9 Mrd € eine stabile finanzielle Entwicklung auf. Im Kerngeschäft Vertragsforschung konnten Kapazitäten erhalten und bedarfsorientiert leicht ausgebaut werden. Letzteres gilt insbesondere in den gesellschaftlich und politisch stark im Fokus stehenden Themen wie Medizin und Energie. Eine wichtige Stütze bildeten neben den öffentlichen Projekterträgen auch die zusätzlichen Fördermittel des Bundes. Mit diesen wurde u. a. das »Fraunhofer-Innopush«-Programm im Jahr 2021 aufgesetzt, in dem in insgesamt 30 Projekten mit einer Beteiligung von 65 Instituten institutsübergreifende Kompetenzen in Zukunftsthemen ausgebaut wurden. Im Fokus stand dabei der gezielte Innovationspush für die Wirtschaft entlang der Schwerpunkte »Bedarfsorientierte Innovationen«, »Vernetzung und cross-fertilization«, »Wettbewerbsfähigkeit durch Digitalisierung« sowie »Systemintegration und Pilotierung«. Das »Anti-Corona-Programm« unterstützte nationale Einrichtungen wie das Robert Koch-Institut, Landesbehörden, Kliniken und Initiativen wie den Hackathon der Bundesregierung bei technologischen Entwicklungen zur Bekämpfung der Pandemie.

Dank eines flächendeckend aufgesetzten Krisenmanagements und der vorsorgenden Haltung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entstanden keine Infektionsketten an den Instituten und in der Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft. Neben den Maßnahmen im Gesundheitsschutz wurde die Aufstellung und Präsenz in zukunftsorientierten Themenfeldern wie der Energie- und Mobilitätsforschung, den Quantentechnologien oder der Translationalen Medizin ausgebaut. Hierzu zählen auch die 2021 gestarteten drei neuen Verbände mit den Schwerpunkten »Gesundheit«, »Ressourcentechnologien und Bioökonomie« sowie »Energietechnologien und Klimaschutz«. Letzterer verzeichnete unter allen neun Verbänden den größten Zuwachs an Erträgen und leistet einen wesentlichen Beitrag zur beabsichtigten Transformation unserer Zivilgesellschaft.

Die solide Bilanz der Fraunhofer-Gesellschaft hat im vergangenen Jahr erneut den uneingeschränkten Bestätigungsvermerk der beauftragten Wirtschaftsprüfungsgesellschaft erhalten.

Der Senat nahm im Jahr 2021 die ihm nach der Satzung der Fraunhofer-Gesellschaft obliegenden Aufgaben wahr. Er tagte

im Geschäftsjahr 2021 zwei Mal: am 4. Mai und am 21. Oktober. Beide Sitzungen fanden aufgrund der SARS-CoV-2-Pandemie im hybriden Sitzungsformat statt.

Wesentliche satzungsgemäße Beschlüsse betrafen die Struktur und Vorstandsangelegenheiten der Fraunhofer-Gesellschaft:

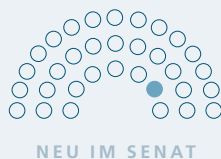
- Der Senat brachte – auf Empfehlung des »Senatsausschusses zur Neu- und Wiederwahl von Vorstandsmitgliedern« – eine ab Januar 2022 implementierte Weiterentwicklung der Vorstandsstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft auf den Weg. Die neue zukunftsweisende Ausrichtung der Führungsstruktur umfasst fünf statt bisher vier Vorstandsressorts: »Unternehmensstrategie, Forschung und Kommunikation« geleitet von Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer; »Innovation, Transfer und Verwertung« unter der Leitung von Prof. Dr. Alexander Kurz sowie »Forschungsinfrastrukturen und Digitalisierung«, »Personal, Unternehmenskultur und Recht« und »Finanzen und Controlling«. Die drei letztgenannten Ressorts sollen 2022 neu besetzt werden.
- Um Stabilität in der Führung der Gesellschaft zu garantieren, hat der »Senatsausschusses zur Neu- und Wiederwahl von Vorstandsmitgliedern« dem Senat die Verlängerung der Präsidentschaft von Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer vorgeschlagen. Der Senat wählte u. a. auf dieser Empfehlung aufbauend Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer erneut zum Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft für weitere zwei Jahre bis zum 30. September 2024.
- Der Senat beschloss die Überführung des Fraunhofer-Teilinstituts Forschungsfertigung Batterie zelle (FFB) des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT in eine selbstständige Fraunhofer-Einrichtung in Münster ab 1. Januar 2022.

Der Senat dankt dem Vorstand sowie allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fraunhofer-Gesellschaft für ihr hohes Engagement und die erfolgreiche Arbeit unter den erschwerten Bedingungen einer anhaltenden Pandemie im Geschäftsjahr 2021.

Prof. Dr.-Ing.

Heinz Jörg Fuhrmann

Vorsitzender des Senats der Fraunhofer-Gesellschaft



Dr.-Ing. habil. Katrin Sternberg

Vorstandsmitglied Research & Development, Quality Management, Regulatory Affairs & Medical Scientific Affairs | B. Braun/ Aesculap AG

Katrin Sternberg verantwortet als Vorstandsmitglied bei der Aesculap AG seit 2018 das Ressort Research & Development und seit 2019 außerdem Quality Management, Regulatory Affairs & Medical Scientific Affairs. Aesculap ist als Hersteller von medizintechnischen Produkten eine Sparte des B.-Braun-Melsungen-Konzerns.

Bevor sie 2014 zu Aesculap wechselte, wo sie seither verschiedene Führungspositionen innehatte, war Sternberg stellvertretende Direktorin des Instituts für Biomedizinische Technik an der Universität Rostock. An der Universität agierte die Chemikerin zuletzt als Konsortialsprecherin in einem nationalen und internationalen Netzwerk zum Thema »Innovation in der Implantattechnologie«, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde.

Bei Aesculap startete sie zunächst als Vice President Research & Development. Was heute als »Purpose-Kommunikation« bezeichnet wird, hat die Forscherin schon seit Langem auf ihren Karriereweg übertragen: War ihre Promotion über Reaktionsmechanismen von Molekülstrukturen noch stark in der Grundlagenforschung verankert, so richtete Sternberg ihren Werdegang immer stärker auf die Anwendung des medizinischen Erkenntnisgewinns aus. Etwa mit einem Habilitationsthema in den Ingenieurwissenschaften zum Potenzial von Polymerbeschichtungen als medizinische Wirkstoffdepots.

In ihrer aktuellen Position will Katrin Sternberg die starke Stellung von Aesculap bei chirurgischen Instrumenten, Implantaten und in der Steriltechnik ausbauen: »Sensoren werden bei der Behandlung von Krankheiten immer wichtiger«, sagt sie. Als weitere Zukunftsfelder nennt die Vorständin die Robotik, Künstliche Intelligenz (KI), um etwa die Diagnostik zu verbessern, oder langfristig den 3D-Druck von Gewebestrukturen mittels Biotinten.

Themen, an denen auch bei Fraunhofer intensiv geforscht wird – etwa in den Strategischen Forschungsfeldern Intelligente Medizin und KI. In solchen Plattformen bündelt Fraunhofer die transdisziplinären Kompetenzen ihrer Institute, um bedarfsgerechte Lösungen zu finden. Insbesondere die Gesundheitsforschung soll davon profitieren, um künftig eine kostenintelligente Präzisionsmedizin zum Wohle der Patientinnen und Patienten bieten zu können.



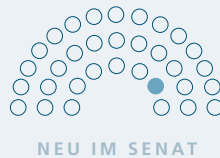
»Durch die Corona-Pandemie ist die Wertschätzung für die Gesundheitsversorgung gewachsen und das Vertrauen in Technologie gestiegen. Zukünftig werden der Mensch und intelligente Bauteile immer stärker zusammenwachsen. Die Herausforderung ist, solche Systeme absolut sicher zu gestalten.«

Dr.-Ing. habil. Katrin Sternberg



»Meine Leidenschaft ist, Energie für Menschen und unseren Planeten neu zu denken. Deswegen bin ich Ingenieurin geworden. Ich möchte einen Beitrag zu einer nachhaltigeren und inklusiveren Energiezukunft leisten.«

Anja-Isabel Dotzenrath



NEU IM SENAT

Anja-Isabel Dotzenrath

Executive Vice President Gas and Low Carbon Energy und Mitglied des Vorstands | bp p.l.c.

Anja-Isabel Dotzenrath treibt seit März 2022 die Transformation von bp von einem internationalen Ölkonzern zu einem integrierten Energieunternehmen voran. Als Executive Vice President des Geschäftsbereichs Gas & Low Carbon Energy und Mitglied im globalen Vorstand von bp verantwortet sie das weltweite Gasgeschäft sowie den Ausbau der Geschäfte im Bereich Erneuerbare Energien, Wasserstoff und Biokraftstoffe.

»Um Klimaneutralität zu erreichen, kann sich die Welt nicht nur auf bereits grüne Unternehmen verlassen. Für einen zügigen Wandel braucht es Unternehmen wie bp, die heute noch nicht emissionsarm sind, sich aber ernsthaft und nachdrücklich auf dem Weg befinden, grün zu werden (Greening Companies). Durch die Integration von Gas, erneuerbaren Energien, Wasserstoff und Biokraftstoffen im großen Maßstab wollen wir ein weltweit führendes Unternehmen für emissionsarme Energien aufbauen«, sagt die bp-Vorständin.

bp hat sich das Ziel gesetzt, bis 2050 oder früher klimaneutral zu werden. Bis 2025 sollen drei bis vier Milliarden US-Dollar pro Jahr in emissionsarme Energien investiert werden, die bis 2030 auf circa fünf Milliarden US-Dollar pro Jahr ansteigen sollen.

Fraunhofer bündelt Themen der Klimaneutralität im strategischen Forschungsfeld Ressourceneffizienz und Klimatechnologien. Allein in der Allianz Energie haben sich 20 Institute vereinigt, die mit über 2000 Mitarbeitenden an der Energiewende forschen.

Zum Ziel der CO₂-Reduzierung tragen u. a. die Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE sowie Integrated Energy Systems CINES bei.

Anja-Isabel Dotzenrath ist diplomierte Elektrotechnik- und Wirtschaftsingenieurin (RWTH Aachen University). Sie bringt mehr als ein Vierteljahrhundert Erfahrung in der Energiebranche, der Industrie und der Unternehmensberatung mit. Bis Mitte 2021 war sie als Chief Executive Officer (CEO) der RWE Renewables tätig. Unter ihrer Führung entwickelte sich RWE Renewables zu einem der weltweit größten Unternehmen für erneuerbare Energien und zum zweitgrößten Anbieter von Offshore-Windkraft. RWE Renewables entstand 2019 aus der Zusammenführung der Erneuerbare-Energien-Geschäfte von E.ON und Innogy. Zuvor leitete Dotzenrath als CEO und davor als Chief Operating Officer das Erneuerbare-Energien-Geschäft bei E.ON.

Zudem ist Anja-Isabel Dotzenrath Mitglied des Aufsichtsrats von Elkem ASA in Norwegen, einem weltweit führenden Anbieter für fortschrittliche Materiallösungen, norwegische Honorarkonsulin in Deutschland sowie Mitglied des Beirats des Think Tanks Agora Energiewende.

Das »manager magazin« zählte Dotzenrath zu den 100 erfolgreichsten weiblichen Führungskräften in der deutschen Wirtschaft.



Foto: Alexandar/shutterstock



Manchmal kommen Ideen beim Duschen.

Ähnlich wie ein Duschkopf funktioniert auch ein Mikrosystem-Schaltelement für einen neuartigen Elektronen-Multistrahl-Maskenschreiber. Damit lassen sich kleinste Strukturen in der EUV-Lithographie realisieren für die Sieben-Nanometer- und Fünf-Nanometer-Halbleiter-Chips der nächsten Generation (S. 96).

Aus der Fraunhofer-Forschung

Wandel, Werte, Wirkung: Gemeinsam Ideen zu Innovationen machen	40
Neue Initiativen und Infrastrukturen	48
Projekte und Ergebnisse 2021	72
Auszeichnungen 2021	94
Menschen in der Forschung 2021	104
Unternehmen im Fraunhofer-Umfeld	118

Wandel, Werte, Wirkung: Gemeinsam Ideen zu Innovationen machen

Autorinnen und Autoren

Gesundheitliche Versorgung

Prof. Dr. Dr. Gerd Geißlinger, Priv.-Doz. Dr. Aimo Kannt,
Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und
Pharmakologie ITMP

Nachhaltige Transformation

Prof. Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel, Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE

Strukturwandel

Dr. Patrick Dieckhoff, Michael Henkert, Christiane Reif,
Fraunhofer-Zentrale
Prof. Dr. Mario Ragwitz, Konstantinos Schinarakis, Fraunhofer-
Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

Digitalisierung und technologische Souveränität

Prof. Dr. Manfred Hauswirth, Fraunhofer-Institut für Offene
Kommunikationssysteme FOKUS
Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger, Fraunhofer-Institut für
Integrierte Schaltungen IIS

Mitgestaltung von Forschung und Innovation

Dipl.-Ing. Jürgen Bertling, Julia Kraymer M. A.,
Dipl.-Geogr. Simone Krause, Dipl.-Des. Sabrina Schreiner,
Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner, Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Open Access und Kommunikation

Roman Möhlmann, Fraunhofer-Zentrale
Eric Retzlaff, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und
Bau IRB

Klimawandel, Demographie, Digitalisierung, technologische Transformation sowie zunehmend auch geopolitische und Sicherheitsaspekte bestimmen Europas Position in der Welt. Darunter liegen gesellschaftliche Aushandlungsprozesse zur Energie der Zukunft, zur Gesundheitsversorgung der Gegenwart und im demographischen Kontext, zur technologischen Souveränität sowie zum Strukturwandel als gesamtgesellschaftlichem Transformationsprozess: Das Jahr 2021 fokussiert wie unter einem Brennglas die drängenden Herausforderungen unserer Zeit. Öffentlich finanzierte Forschung und

Entwicklung halten vielfältige Lösungen bereit, benötigen aber auch das Vertrauen der Gesellschaft und ihrer politischen Vertreterinnen und Vertreter. »Die Wissenschaft hat geliefert!« wurde in der Corona-Krise zum geflügelten Wort. Der lange Weg in der Pandemiebekämpfung zeigt hingegen beispielhaft, dass einem erfolgreichen Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Anwendung gesellschaftliche Aushandlungsprozesse vorausgehen müssen. Für die Wissenschaft heißt dies: Teilhabe und Mitwirkung zu ermöglichen, Kommunikationsaktivitäten zu verstärken und neue Formate für einen aktiven Dialog mit der Gesellschaft zu entwickeln.

Mit besserer medizinischer Versorgung und gestärktem Mittelstand aus der Krise

Schon lange hatten Infektiologen und Virologen vor der Gefahr globaler Pandemien gewarnt. 2019 trat sie erstmalig international auf – und noch 2022 kämpfen wir mit der »Corona-Pandemie« einschließlich all ihrer medizinischen, wirtschaftlichen und nicht zuletzt gesellschaftlichen Folgen. Beispielhaft dafür, wie neuen gesundheitlichen Herausforderungen begegnet werden kann, steht ein transdisziplinärer Ansatz zur Entwicklung innovativer Gesundheitslösungen. Dieser vereint neue Diagnostikmethoden (»Diagnostics«), die Forschung zu Arzneimitteln inklusive Impfstoffen (»Drugs«) mit medizintechnischen Lösungen (»Devices«) und Datenintelligenz (»Data«) im Rahmen des »4D-Konzepts«.

Für die schnelle und sichere Entwicklung von wirksamen Impfstoffen oder therapeutischen Wirkstoffen, die einen schweren Verlauf der Krankheit verhindern können, wurden weltweit, auch bei Fraunhofer, bereits zugelassene Wirkstoffe zur Behandlung von COVID-19 geprüft (»Drug Repurposing«). Mehrere Fraunhofer-Projekte identifizierten bereits bekannte Wirkstoffe, die sich nun in klinischen Prüfungen befinden. Eine Infrastruktur für das Austesten und Bewerten von Impfstoffen und Wirkstoffen ist entstanden, neuartige Therapiestrategien wurden entwickelt und Plattformtechnologien mit dem Ziel aufgebaut, das Virus am Eintritt in die Zelle zu hindern, es direkt zu bekämpfen und schließlich die überschießende Immunreaktion zu regulieren.

Im Bereich der Diagnostik wurden neue Testsysteme entwickelt und an ersten Patientenproben getestet. Die sogenannte LAMP-Methode kommt der Sensitivität von PCR-Tests sehr nahe, erlaubt aber deutlich schnellere Ergebnisse. Zahlreiche Projekte brachten Verfahren und Geräte hervor, die zu einem verstärkten persönlichen Infektionsschutz und einem besseren

Verständnis der Verbreitung von SARS-CoV-2 führen. Entwickelt wurde ein Raumluftfiltersystem auf Basis der elektrochemischen Totaloxidation, das organische Substanzen wie Viren vollständig zerstört. Methoden für die Bewertung des Infektionsrisikos in Innenräumen, auch bei der Umsetzung innovativer Raumluftreinigungstechnologien, sind nun als Prototypen verfügbar, ebenso wie Lösungen zur Dekontamination von Oberflächen – mittels Bestrahlung, Beschichtung oder mobiler Desinfektionsroboter.

Nationale Sichtbarkeit erreichte Fraunhofer auch auf dem Gebiet der Datenanalyse: An den wissenschaftlichen Expertengutachten der Leopoldina für die Bundespolitik zur Prognose des Pandemieverlaufs hinsichtlich der Infektionsausbreitung sind mathematische Modelliererinnen und Modellierer von Fraunhofer beteiligt. Auch für die Abschätzung von Risiken für einen schweren Verlauf, sogar auf individueller Basis, oder von Folgeerkrankungen nach einer SARS-CoV-2-Infektion steuerten Institutskonsortien mit datengetriebenen Methoden bei.

Gemäß ihrem gesellschaftlichen Auftrag, die Innovationsfähigkeit des Mittelstands auch in Krisen zu stärken, hatte die Fraunhofer-Gesellschaft gleich zu Beginn der Pandemie mit dem Anti-Corona-Programm eine interdisziplinäre Initiative gestartet. Das Spektrum der mehr als 160 Vorhaben, meist in Konsortien umgesetzt, reichte vom Finden neuer Wirkstoffe, der Entwicklung von Diagnoseverfahren, Untersuchungen zu Langzeitfolgen von COVID-19 über Datenmodelle zur Infektionsausbreitung bis zu Dekontaminationsmaßnahmen, aber auch dem Wiedererlangen eines »New Normal« in Wirtschaft und Gesellschaft. Im Dezember 2021 konnten zwei Drittel der Projekte abgeschlossen werden. Die vorläufige Auswertung zeigt eine hohe Zielerreichung dieser Vorhaben: Zahlreiche Kooperationen mit Unternehmen, Kliniken, Behörden, Verbänden und NGOs konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Bisher liegen dreizehn Patent- und zwei Markenmeldungen vor, acht Entwicklungen nehmen an Standardisierungsverfahren teil.

Energie- und Rohstoffwende für eine klimafreundliche und wettbewerbsfähige Industrie

Für den Klimaschutz wurden die politischen Rahmenbedingungen in Deutschland geschärft: Kohlekraftwerke sollen – wie im Koalitionsvertrag von SPD, Grünen und FDP formuliert – idealerweise bis 2030 vom Netz gehen. Deutschland will hier weltweit Vorreiter sein. Die Politik bewegt sich zwischen den

beiden Zielen, einerseits die deutsche Industrie durch förderliche Rahmenbedingungen wettbewerbsfähig zu halten und andererseits den Wandel hin zu einer CO₂-reduzierten Energieversorgung zu forcieren – insbesondere durch die Nutzung von Wind und Sonne, aber auch von Wasserstoff, Biomasse und Geothermie. Dies geschieht nicht zuletzt, um wirtschaftliche Stärken in der Produktion, im Anlagenbau, bei den Grundstoffindustrien, in der Hightech-Wirtschaft und vielem mehr am Standort zu bewahren.

Die Energiewende, eine globale Mammutaufgabe, wird überhaupt erst vorstellbar durch die substanziellen technologischen Entwicklungen der vergangenen Jahrzehnte. Heute haben erneuerbare Energien oft niedrigere Gestehungskosten als die fossilen Alternativen. Hoch industrialisierte Herstellungsprozesse stellen einen weltweiten, schnellen Hochlauf dieser Technologien in Aussicht. Auch der Aufbau eines versorgungssicheren Energiesystems erscheint machbar – dank der großen Fortschritte bei der Entwicklung von Speichertechnologien, grünen stofflichen Energieträgern und Chemierohstoffen auf Basis von Wasserstoff und systemischen Lösungen der Sektorenkopplung, beispielsweise mithilfe von Elektromobilität im Verkehr oder Wärmepumpen im Gebäudesektor. Zu all dem haben Fraunhofer-Forschende maßgeblich beigetragen.

Ein Energiesystem, das auf »Erneuerbaren« basiert, bedarf allerdings einer Vielzahl an technischen Anlagen von der Erzeugung bis zur Nutzung. Für Transport, Verteilung und Speicherung werden große Mengen an wertvollen und auch seltenen Rohstoffen benötigt. Deshalb muss die Energiewende Hand in Hand mit einer Ressourcenwende gehen, bei der die Nutzung von Rohstoffen grundsätzlich als Kreislauf verstanden wird. Nur wenn technologische Prozesse und ökologische Prinzipien miteinander verschmelzen, lässt sich die Verfügbarkeit seltener Rohstoffe dauerhaft gewährleisten. So können Eingriffe in die Ökosphäre minimiert und kann der Natur die Möglichkeit zur Regeneration gegeben werden. Konkret bedeutet dies, Lebenszykluskonzepte nicht erst auf Produkt-, sondern bereits auf Werkstoffebene anzusetzen. Beispielsweise bei Batteriesystemen für die Elektromobilität gilt es, die Ökobilanz nicht nur für Herstellung und Effizienzsteigerung zu prüfen, sondern Re-Use- und Recyclingkonzepte von Beginn an ins Konzept einzubinden. Um dem steigenden Rohstoffbedarf gerecht zu werden, ist es unverzichtbar, nachwachsende Rohstoffe viel stärker als bisher in technische Anwendungen zu integrieren, ohne dabei Qualitäts- oder Performancestandards zu senken.

Der Aufbau eines versorgungssicheren Energiesystems erscheint machbar – dank der großen Fortschritte bei der Entwicklung von Speichertechnologien, grünen stofflichen Energieträgern und Chemierohstoffen auf Basis von Wasserstoff und systemischen Lösungen der Sektorenkopplung, beispielsweise mithilfe von Elektromobilität im Verkehr oder Wärmepumpen im Gebäudesektor.

Als Energieträger
kann Wasserstoff
die Drehscheibe
bilden zwischen
den bisher getrennten
Energiesektoren
Strom, Mobilität und
Industrie. Künftige
Anwendungen von
grünem Wasserstoff
liegen in den Grundstoffindustrien Stahl
und Chemie, in der
Stromwirtschaft als
Speicher und in der
Mobilität als Kraftstoff
für Flugzeuge,
Schiffe und Lkw.

Damit die Energie- und Rohstoffwende gelingt, muss Nachhaltigkeit nicht Randbedingung, sondern zentraler Zweck des Handelns sein, an dem alle Aspekte der Wertschöpfung konsequent ausgerichtet werden. Es gilt also, von einer nachhaltigen Wertschöpfung zu einer Wertschöpfung aus Nachhaltigkeit zu kommen, die attraktive Entwicklungsangebote für Gesellschaft und Wirtschaft gleichermaßen bietet. So wird etwa die Energiewende erst dann als Erfolg gesehen werden, wenn es gelingt, die damit verbundene Produktion auch in Europa anzusiedeln und auf diese Weise vor Ort Wertschöpfung und Wohlstand zu schaffen.

Strukturwandel: Von der Braunkohle zu Wasserstoff

Insbesondere Deutschland setzt darauf, die Ziele zu Klimaschutz und Strukturwandel umzusetzen, ohne Wachstum und Wohlstand in den betroffenen Regionen zu gefährden. Fraunhofer unterstützt dies mit einem gesamtheitlichen Ansatz. Das revier-, branchen- und technologieübergreifende Konzept umfasst die Entwicklung von Schlüsseltechnologien der Zukunft, deren innovative Anwendung sowie ein grundlegendes Verständnis des Wandelprozesses durch sozioökonomische Begleitforschung.

In den Kohleregionen Lausitz, Mitteldeutschland, Rheinland und Helmstedt leistet Fraunhofer beispielsweise einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der traditionsreichen Energietechnologien zu neuen Schlüsseltechnologien wie Wasserstoff. Als Energieträger kann Wasserstoff die Drehscheibe bilden zwischen den bisher getrennten Energiesektoren Strom, Mobilität und Industrie. Künftige Anwendungen von grünem Wasserstoff liegen in den Grundstoffindustrien Stahl und Chemie, in der Stromwirtschaft als Speicher und in der Mobilität als Kraftstoff für Flugzeuge, Schiffe und Lkw. Dank der Kompetenzen in der Anlagentechnik sowie den Technologien im Mobilitäts- und Energiesektor verfügt Deutschland über großes Potenzial in der Wasserstoffwirtschaft – gerade in den Strukturwandelregionen. Diese gilt es mit den Know-how-Trägern und Enabler-Technologien für eine Wasserstoffindustrie zu verknüpfen: Benötigt werden insbesondere Elektrolyseure, Verdichter, Infrastrukturen oder Sensoren. So kann es gelingen, die Technologien schnell zu skalieren und einen wachsenden Markt zu bedienen. Den Leitfaden bilden die Analysen der Fraunhofer-Gesellschaft zu den verschiedenen Aspekten der Wasserstoffwirtschaft. Als Leuchttürme

dienen neue Forschungsplattformen mit Industriepartnern in den Strukturwandelregionen, etwa das Hydrogen Lab Görlitz mit seiner Brennstoffzellenforschung oder das Hydrogen Lab Leuna mit seiner Elektrolyseforschung zu Pilotanlagen im Megawattbereich.

Das Beispiel Wasserstoff zeichnet den Weg vor für einen gelingenden Strukturwandel, indem Schlüsseltechnologien strategisch-systematisch und zukunftsfähige Industriearbeitsplätze etabliert werden. Wegmarken sind die Bündelung und gesamtheitliche Betrachtung von Maßnahmen sowie der Aufbau von Infrastruktur und von Demonstrationsanlagen, die Technologieführung etablieren.

Bei der Digitalisierung aufholen

Neben Nachhaltigkeitsthemen bestimmt die Digitalisierung die politische Agenda. Besonders der öffentliche Sektor hat in der Corona-Pandemie Nachholbedarf gezeigt. Hier gilt es, den Rückstand der tatsächlichen technischen Ausstattung gegenüber der Privatwirtschaft aufzuholen. Die Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes setzt dafür die Rahmenbedingungen. Gleichzeitig soll die Abhängigkeit der Behörden von außer-europäischen Technologielieferanten im Sinne technologischer Souveränität reduziert werden und Deutschland durch den Aufbau verwaltungsinterner Kompetenz unabhängiger von externen IT-Beratern werden.

Beispiele für Innovationstreiber sind die 5G-/6G-Campusnetze, bei denen Deutschland dank der lokalen Frequenzen als Vorreiter gilt. Hier ist Fraunhofer mit seinen Werkzeugen weltweit Ausstatter von Testbeds, also Experiment-Plattformen bei Netzbetreibern und Unternehmen. Die Zusammenarbeit öffentlicher Einrichtungen wird durch den Aufbau einer Open-Source-Plattform im Projekt »Phoenix« gefördert. Auch das Verkehrssystem kann durch Digitalisierung nachhaltiger, sicherer und zuverlässiger werden. So erforscht Fraunhofer u. a. die sichere Mobilität von Fahrradfahrenden. Für die Kernkompetenz des Datenmanagements liefert Fraunhofer z. B. für das zentrale European Data Portal wesentliche technische Komponenten. Neben der Datenkuratierung bilden Künstliche Intelligenz (KI), semantische Wissenstechnologien und künftig Quantencomputing wichtige Bausteine der Digitalisierung. Diese können etwa die resiliente Steuerung von Lieferketten unterstützen, die Prozessautomatisierung oder in der Medienbeobachtung das Erkennen von Falschinformationen.

Technologische Souveränität erhalten

In welche Zukunft digitale Lösungen für Öffentlichkeit und Wirtschaft führen werden, hängt auch davon ab, auf welche Werte und Ziele sich Hersteller, Anwender und die Politik verständigen. Europa wird seine Rolle als führender Wirtschaftsstandort dauerhaft nur behaupten können, wenn es sich als ressourcenschonender Produktionsstandort mit vertrauenswürdiger Hard- und Software etabliert. Gleichzeitig benötigt Europa digitale Souveränität – also die Fähigkeit, Technologien, die kritisch für Wettbewerbsfähigkeit und staatliche Handlungsfähigkeit sind, selbst zu entwickeln oder ohne einseitige Abhängigkeit von anderen Wirtschaftsräumen zu beziehen.

Eine wesentliche Säule der Digitalisierung ist die Mikroelektronik. Dabei liegen Deutschlands und Europas Stärken im Design und Packaging sowie in der Leistungselektronik. So liefern Fraunhofer und die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) wichtige Impulse entlang der kompletten Wertschöpfungskette. Die Abhängigkeiten bei der Chipfertigung – insbesondere bei hochintegrierten Mikrochips – soll der für 2022 beschlossene »European Chips Act« verringern und Ansiedlungen sowie den Ausbau in Europa unterstützen. Ein weiterer Kernbereich der digitalen Souveränität sind Kommunikationsinfrastrukturen mit offenen Schnittstellen. Ein aktuelles Beispiel dafür ist die Open-RAN-Initiative, welche die Interoperabilität der Komponenten des Funkzugangsnetzes zukünftiger Mobilfunkstandards sicherstellen soll. Da internationale Standards für die technologische Offenheit der Märkte und die Verwertung von Forschungsergebnissen große Bedeutung haben, trägt Fraunhofer zu vielen relevanten Standards maßgeblich bei.

Um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Industrie zu erhalten und auszubauen – verbunden mit der Transformation zu einer nachhaltigen Wirtschaft –, gilt es, insbesondere Wachstumsbranchen mit vertrauenswürdigen und ressourcenschonenden Architekturen, Designverfahren und Herstellungsprozessen zu bedienen.

Open Access: Lernen aus der Pandemie

Dass die weltweite digitale Vernetzung der Wissenschaft einen umfassenden und schnellen Austausch von Forschungsergebnissen gewährleistet, zeigte und zeigt sich besonders in der gegenwärtigen Pandemie: Auch bei Fraunhofer wurde der Forschungsoutput so offen wie bisher noch nie veröffentlicht und verbreitet, um die Erkenntnisse für Forschungsteams weltweit bereitzustellen. Der Aufruf der Weltgesundheitsorganisation im Frühjahr 2020, Veröffentlichungen zu COVID-19 öffentlich zu publizieren (»open access«), hat enorm dazu beigetragen, das SARS-CoV-2-Virus besser zu verstehen und Wirkstoffe, z. B. in Form von Impfstoffen, zu entwickeln.

Open Access wird in Deutschland mittlerweile bei jeder zweiten Veröffentlichung erfüllt, schon 2025 wird mit einer Quote von 75 Prozent gerechnet. Damit werden Potenziale in Sachen Zugriff, Sichtbarkeit, Transparenz und vor allem Nachnutzbarkeit von Forschungs- und Innovationsprozessen geschöpft, die zu einer Beschleunigung des wissenschaftlichen Fortschritts führen können. In allen Forschungsprojekten, an denen gesellschaftliche Akteure (»citizen science«) teilnehmen, ist Open Access ein essenzielles Element. Auch Start-ups und mittelständische Unternehmen ohne eigene Forschung und Entwicklung können die Ergebnisse barrierefrei in ihre Innovationsprozesse integrieren. Fragen zu Schutzrechten werden hier im Vorfeld geklärt. Diesem Credo folgt die Fraunhofer-Gesellschaft seit Jahren mit dem Grundsatz: »Erst patentieren, dann (offen) publizieren!« Nur durch die Öffnung und gemeinsame Nutzung von Forschungsergebnissen ist es heute und in Zukunft möglich, globalen Herausforderungen wie etwa dem Klimawandel effektiv zu begegnen.

Forschung und Innovation mitgestalten (lassen) – Vertrauen gewinnen

Die großen und miteinander verknüpften Herausforderungen unserer Zeit zeigen, dass technologische Lösungen und ein entsprechender Know-how-Zugang nicht ausreichen. Damit Innovationen erfolgreich sein können und Anwendung finden, sind gesellschaftliche Aushandlungsprozesse, Transparenz, Dialog und Partizipation nötig, um das Vertrauen der Nutzerinnen und Nutzer, letztlich der Gesellschaft zu gewinnen.

Ein vielversprechender Weg, nicht nur aus Fraunhofer-Sicht, ist die Einbindung der Bevölkerung in Forschungs- und Entwicklungsprozesse. Dies wird unter Begriffen wie Co-Creation, User Insights und Citizen Science diskutiert, aber erst in geringem Umfang praktiziert. Es ist von zentraler Bedeutung, dass die partizipative Erweiterung des Forschungs- und Innovationsprozesses tiefgreifend und umfassend ist. Partizipation darf dabei nicht einseitig auf »Akzeptanzbeschaffung« zielen, sondern muss sich »Vertrauen verdienen«. In diesem kollaborativen Prozess sind Bürgerinnen und Bürger Anwendende. Sie erleben Produkte und Technologien im Alltag, können Bedürfnisse formulieren, über Folgen von Anpassung und Verzicht Auskunft geben und dadurch Entwicklungsrichtungen anstoßen. Durch die Vielfalt der eingebundenen Akteure wird ein ganzheitliches Spektrum von Nachhaltigkeitsaspekten (»planetary needs«) einbezogen. Gleichzeitig ist es notwendig, wissenschaftliche Arbeitsweisen und grundlegende Herausforderungen des wissenschaftlichen Prozesses wie Intersubjektivität, Dialektik und die Vorläufigkeit von Wissen transparent zu machen und der Zivilgesellschaft zu vermitteln (»empowerment«). Ein intensiver Austausch zwischen Bürgerinnen und Bürgern und Wissenschaft kann dazu beitragen, lösungsorientierten Dialog zu fördern.

Die Einbindung zivilgesellschaftlicher Akteure in die Prozesse von Forschung, Entwicklung und Innovation ergänzt die etablierte Ausrichtung an wirtschaftlichen Bedarfen bei Fraunhofer und begründet eine modern verstandene Anwendungsorientierung. An vielen Fraunhofer-Instituten werden bereits die für partizipative Forschungs- und Innovationsprozesse notwendigen Denkansätze, Kompetenzen und Methoden entwickelt und in Projekten auf unterschiedlichen Forschungsfeldern praktiziert (s. dazu auch S. 114).

Der richtige »Kompass« – Kommunikation von Forschung

Seit dem Ausbruch der Pandemie beteiligte sich Fraunhofer an mehreren Umfragen, welche das Verständnis und das Vertrauen in Forschung in der Bevölkerung ermittelten. Dabei zeigte das Wissenschaftsbarometer 2021: Nach wie vor liegt das Vertrauen in Wissenschaft und Forschung mit 60 Prozent auf konstant hohem Niveau und legte seit Vor-Pandemie-Zeiten sogar zu. Mehr als zwei Drittel der Befragten (69 Prozent) sind der Ansicht, dass politische Entscheidungen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen sollten. 75 Prozent

finden, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich öffentlich äußern sollten, wenn politische Entscheidungen wissenschaftliche Erkenntnisse nicht berücksichtigen. Die repräsentative Umfrage wurde von der gemeinnützigen Organisation »Wissenschaft im Dialog« im September 2021 durchgeführt.

Erstmals im deutschen Forschungssektor wurde 2021 mit dem »Fraunhofer-Kommunikationskompass« ein Projekt initiiert, das die Geschäftsmodelle von Kommunikationseinheiten praxisorientiert beschreibt. Gleichzeitig wurden dabei Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Kommunikation bei Fraunhofer gewonnen und Best Practices identifiziert, um neue Impulse für den Erfahrungsaustausch zwischen den Instituten zu setzen. Der Kommunikationskompass wurde als gemeinsames Projekt der Universität Leipzig, der Beratung Lautenbach Sass und der Hauptabteilung Kommunikation der Fraunhofer-Zentrale durchgeführt. Damit schärft die Fraunhofer-Gesellschaft ihr Innovationsprofil – innerhalb der Wissenschafts-Community und auch in der Kommunikationsbranche.

Ausblick

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat sich in ihren Leitsätzen verpflichtet, die Zukunft aktiv und nachhaltig zu gestalten: Im Sinne einer ökologisch intakten, ökonomisch erfolgreichen und sozial ausgewogenen Welt. Der »Impact« der Fraunhofer-Gesellschaft ist dabei immer dreifach: Er liegt auf gesellschaftlichem Fortschritt, einer werteorientierten Wertschöpfung sowie dem Erhalt einer lebenswerten Umwelt und Natur für kommende Generationen.

Nicht zuletzt deshalb nimmt Fraunhofer bei der eigenen Klimaneutralität eine Vorreiterrolle im deutschen Wissenschaftsbetrieb ein. Die Ziele sind ambitioniert: Bis zum Jahr 2030 will Fraunhofer klimaneutral sein – durch emissionsarme Bewirtschaftung der Gebäude, durch nachhaltige und klimaschonende Beschaffung sowie durch CO₂-neutrale Mobilität ihrer Mitarbeitenden.

Damit Innovationen erfolgreich sein können und Anwendung finden, sind gesellschaftliche Aushandlungsprozesse, Transparenz, Dialog und Partizipation nötig, um das Vertrauen der Nutzerinnen und Nutzer, letztlich der Gesellschaft zu gewinnen.

Neue Forschungseinrichtungen ab 2022



Die neue Fraunhofer-Einrichtung in Münster soll mittels neuer Batteriezellformate in großen Stückzahlen die Speicher für die Energie- und Mobilitätswende liefern.
Graphik: ARTVISU Artur Krause

Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB

Die Forschungsfertigung Batteriezelle FFB ist seit Januar 2022 eine selbstständige Einrichtung unter dem Dach der Fraunhofer-Gesellschaft. Bislang wurde die Fraunhofer FFB im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts »FoFeBat – Forschungsfertigung Batteriezelle Deutschland« in Münster als Institutsteil des Fraunhofer-Instituts für

Produktionstechnologie IPT aufgebaut. Das Projekt FoFeBat ist eingebettet in das Dachkonzept »Forschungsfabrik Batterie« des BMBF, das verschiedene Kompetenzzentren und Cluster zur Batterietechnologie bündelt.

Ziel von FoFeBat und damit der Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB ist es, den Innovations- und Kommerzialisierungsprozess von Produktionstechnologien für bestehende und zukünftige Batteriezellformate zu beschleunigen. Damit sollen

Batterietechnologien effizienter, günstiger und in höchster Qualität produziert und so internationale Abhängigkeiten von anderen Märkten der Energiespeichertechnologien langfristig vermieden werden. Im Vordergrund steht der Erfahrungsgewinn im Betrieb einer großskaligen Forschungsfertigung, um auf diesem Gebiet Kompetenzen auszubauen und Lücken zu schließen.

Nach zwei Jahren des Aufbaus erfüllt die Fraunhofer FFB alle Voraussetzungen für eine eigenständige Fraunhofer-Einrichtung – ein Schritt auf dem Weg zu einer möglichen späteren Überführung in ein Fraunhofer-Institut. Als Bindeglied zwischen Wissenschaft und Industrie bildet die Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB die zentrale Forschungs- und Fertigungsinfrastruktur zur Befähigung der Industrie für eine ökonomische und ökologische Produktion von Batteriezellen und leistet damit einen großen Beitrag für die Zukunftsfähigkeit und Souveränität des Hightech-Standorts Deutschland.

Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS

Im neu gegründeten Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS in Berlin werden Forschungs-, Test- und Trainingsumgebungen für Sicherheitsbehörden, Rettungskräfte und Betreiber kritischer Infrastruktur aufgebaut. Komplexe Sicherheitsszenarien können dort simuliert, virtuell erfahren und real erprobt werden. Auch eine direkte Partizipation von Bürgerinnen und Bürgern ist geplant.

Das Fraunhofer SIRIOS wurde etabliert, um dort in den nächsten Jahren eine Forschungs-, Test- und Trainingsumgebung für Sicherheitsbehörden, Rettungskräfte und Betreiber kritischer Infrastruktur aufzubauen. Im Fokus stehen zunächst zwei Bedrohungsszenarien: die Auswirkungen eines extremen Wetterereignisses in einer Großstadt sowie eine durch Menschen verursachte Schadenslage bei einer Großveranstaltung. Mittelfristig werden weitere Herausforderungen wie Industrieunfälle oder Terroranschläge erforscht, darüber hinaus auch die vielfältigen Abhängigkeiten zwischen



Menschen, Technik und Infrastrukturen moderner hochvernetzter Gesellschaften, welche die Gewährleistung öffentlicher Sicherheit komplex und nur schwer beherrschbar machen. Störungen innerhalb solcher sozio-technischer Systeme können schwerwiegende flächendeckende Auswirkungen haben, beispielsweise auf die Versorgung mit Elektrizität, Internet, Telekommunikation, Wasser und Logistik. Mit neuen, umfassenden Simulationssystemen untersuchen die Forschenden des Fraunhofer SIRIOS diese Abhängigkeiten, um im Ernstfall bestmöglich vorbereitet zu sein und die Resilienz in Deutschland nachhaltig zu stärken.

Die vier Fraunhofer-Institute für Kurzdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB sowie für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI bündeln hier ihre Kompetenzen für übergreifende FuE-Projekte. Die Geschäftsstelle des Fraunhofer SIRIOS ist am Fraunhofer FOKUS in Berlin angesiedelt.

Extreme Wetterereignisse werden häufiger zur Bedrohung der Infrastruktur. Das Fraunhofer SIRIOS untersucht solche komplexen Sicherheitsszenarien.

Leitmärkte – die strategischen Kundensegmente

Kennzeichen von Fraunhofer ist die anwendungsorientierte Forschung als Partner der Industrie. Analog zu Forschungsfeldern hat Fraunhofer strategische Kundensegmente – sogenannte Leitmärkte – definiert. Die Leitmärkte tragen dazu bei, mit Innovationen einen globalen Wettbewerbsvorteil für Deutschland zu erzielen, die Technologiesouveränität Deutschlands und Europas zu sichern sowie nachhaltige Wertschöpfung für die Gesellschaft zu generieren. Um die nachfrage- und marktorientierte Ausrichtung von Fraunhofer in diesen Leitmärkten weiter zu stärken, initiieren die Fraunhofer-Allianzen gezielt institutsübergreifende Transferaktivitäten. Ausgangspunkt sind die immer komplexer werdenden Bedarfe von Industrie und Gesellschaft. Hierdurch kann Fraunhofer zukünftig noch signifikanter zur Steigerung der Innovationskraft von Großunternehmen und Mittelständlern dieser bedeutenden Kundensegmente beitragen. Industriekunden erhalten in diesem Kontext über die Fraunhofer-Allianzen als »One-Stop-Shop« Zugang zu branchenorientierten Leistungsangeboten von Fraunhofer aus einer Hand.

Anlagen-, Maschinen- und Fahrzeugbau



Deutschland ist weltweit der drittgrößte Maschinenproduzent. Der deutsche Anlagen-, Maschinen- und Fahrzeugbau gilt als führende Export- und Innovationsbranche. Er spiegelt die gesamte Bandbreite des Leistungsvermögens der deutschen Industrie, ist stark mittelständisch geprägt und maßgeblicher Innovationstreiber, etwa bei Industrie 4.0, Energieeffizienz und Automatisierung. Durch Prozessinnovationen ist es gelungen, die durchschnittlichen Stückkosten kontinuierlich zu senken. Diese Entwicklung ist u. a. auf eine verstärkte Adaption neuer industrieller Verfahrenstechniken zurückzuführen.

Fraunhofer kooperiert eng mit den Unternehmen und dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagebau (VDMA), um den digitalen Wandel der Branche weiter voranzutreiben und Zukunftstechnologien auf den Weg zu bringen – von der Roboterprogrammierung für jedermann bis hin zur Navigationslösung für ganze Flotten fahrerloser Transportsysteme. Mit großem Know-how, u. a. in Prozesstechnologie, Mechatronik, Präzisions-, Lasersystem- oder Messtechnik, entwickelt Fraunhofer die Produktion weiter, hilft Produkte und Dienstleistungen schnell und sicher zur Marktreife zu bringen und Unternehmen bei der Gestaltung des Engineerings zukunftsfähig auszurichten.

Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion

Als Partner von Automobilherstellern und ihren Zulieferern, Ausrüstern und Dienstleistern unterstützt die Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion mit 20 Instituten seit 2010 Forschung und Entwicklung zur Optimierung von Produktionsprozessen. 2021 neu aufgestellt und erweitert um aktuelle Forschungsfelder im Anlagen- und Maschinenbau, steht die Allianz autoMOBILproduktion für komplexe Anfragen zur Automobilproduktion der Zukunft bereit.



Bauwirtschaft

Die Bauwirtschaft steht vor großen Herausforderungen und notwendigen Transformationen – von der Digitalisierung über das Erreichen der Klimaziele bis hin zur Kreislaufwirtschaft. Bedeutende sozial- und wirtschaftspolitische Zielsetzungen im Hinblick auf Klimaneutralität, Folgen des Klimawandels und Ressourcenschonung machen es für viele etablierte Bauprodukte und Prozesse erforderlich, sich neu und nachhaltig anzupassen. Diesem akuten Entwicklungsbedarf begegnet der Leitmarkt Bauwirtschaft mit praxismgerechten Lösungen und vernetzt hierfür nicht nur die Leistungsbilder der klassischen Bauforschung, sondern darüber hinaus auch wichtige weitere Forschungsfelder wie Digitalisierung, Mobilität, Energie, Maschinenbau oder Gesundheit.

Fraunhofer-Allianz Bau

Mit einer zentralen Anlaufstelle für alle Fragen und Bedürfnisse der Branche adressiert die Fraunhofer-Allianz Bau als Lösungsinkubator diesen Leitmarkt. Dafür werden interdisziplinäre Teams in kurzer Zeit koordiniert.

Während die Bauwirtschaft traditionell weniger als Hightech-Branche wahrgenommen wird, finden wesentliche Innovationsaktivitäten nicht nur im Bauhauptgewerbe, sondern auch bei den Zulieferfirmen statt. Die Kenntnis über das Innovationspotenzial liegt jedoch überwiegend bei den Bauingenieuren und Architekten. Diese Konstellation erschwerte bisher eine

gezielte Entwicklung von Innovationen. Aufgrund langjähriger Erfahrung in der Baubranche sieht sich die Fraunhofer-Allianz Bau als Schnittstelle zwischen Innovationspotenzial und Innovationskraft.

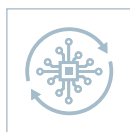


Chemische Industrie

Die chemische Industrie stellt einen Kernbereich der deutschen Industrie dar. Ob in der Landwirtschaft, der Industrie oder im Privathaushalt: Überall werden Chemikalien benötigt. Zahllose Wirtschaftszweige hängen direkt oder indirekt von den Entwicklungen und Produkten der Chemieindustrie ab, die Grundstoffe für viele weitere Wirtschaftsmärkte liefert. Damit hat dieser Leitmarkt auch für die technologische Souveränität Deutschlands und Europas strategische Bedeutung. Er versteht sich als Katalysator und Innovationstreiber für wichtige Zukunftsthemen der Branche wie Klimaschutz, nachhaltige Produktion und Ressourceneffizienz.

Fraunhofer-Allianz Chemische Industrie

Derzeit unterstützen 15 Fraunhofer-Institute in der 2021 gegründeten Fraunhofer-Allianz Chemische Industrie ihre Partner an allen Punkten der Prozesskette vom Rohstoff zum Produkt. Die Fraunhofer-Allianz ist damit ein Wegbegleiter der chemischen Industrie auf ihrem ehrgeizigen Weg zu defossilisierten und zirkulären Produktionsprozessen. Dazu bündeln die Institute spezifisches Fachwissen bezüglich chemischer und biotechnischer Prozesse mit dem Wissen um systemische Lösungen für eine erfolgreiche Energie- und Rohstoffwende.



Digitalwirtschaft

Die Digitalisierung ist ein Wegbereiter für den Fortschritt in Wirtschaft und Gesellschaft: Sie fördert Innovationen, revolutioniert Geschäftsprozesse und -modelle, verändert unseren Arbeitsalltag und unsere gesellschaftlichen Strukturen. Fraunhofer-Institute gestalten diesen Wandel als Wegweiser und Impulsgeber mit: Sie entwickeln digitale Technologien und Lösungen, begleiten die digitale Transformation durch Technikfolgenforschung, sie beraten Unternehmen und Politik. Mit ihrem Know-how helfen sie, physische Produkte durch digitale Dienstleistungen zu ergänzen und liefern dafür z. B. zusätzliche Sensorik, neue Datenmodelle, intelligente Analyseverfahren oder sichere Infrastrukturen.

Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen, Big Data Analytics und Intelligente Sensorik sind Schlüsseltechnologien und Treiber der digitalen Transformation in Unternehmen und

Gesellschaft. Wirtschaft und Gesellschaft profitieren dabei etwa von besseren Arbeitsabläufen, Zeit- und Kostenersparnissen, intelligenten Lösungen in der industriellen Produktion, im Verkehr oder im Gesundheitswesen sowie einen besseren Zugang zu Informationen.

Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz BIG DATA AI

Die Fraunhofer-Allianz BIG DATA AI bündelt die branchenübergreifende Expertise und jahrelange Erfahrung von über 30 Fraunhofer-Instituten zu den Themen Big Data und Künstliche Intelligenz (KI). Das Angebot richtet sich an die Wirtschaft, den Staat und die Gesellschaft. Die Allianz begleitet Unternehmen auf ihrem Weg zu einer »data-driven company« bei der Umsetzung von Big-Data- und KI-Strategien. Hier werden KI-Anwendungen und -Systeme entwickelt, die transparent, vertrauenswürdig und zuverlässig sind und den europäischen Datenschutzstandards entsprechen.

Ein umfangreiches Schulungsprogramm hilft, den wachsenden Bedarf an Expertinnen und Experten für Künstliche Intelligenz und Data Science zu decken.



Energiewirtschaft

Die Energiewende ist in vollem Gang: Der Umbau unseres Energiesystems ist in vielerlei Hinsicht in unserer Gesellschaft und Wirtschaft sichtbar. Häuser werden zunehmend nachhaltig gebaut oder saniert, Energiesektoren intelligent gekoppelt, immer mehr Elektrofahrzeuge sind unterwegs. Der Anteil der erneuerbaren Energien – insbesondere Sonnen- und Windenergie – an der Stromproduktion erreicht mittlerweile fast 50 Prozent. Noch gibt es jedoch Nachholbedarf, vor allem bei der Energieeffizienz und -speicherung sowie beim Einsatz erneuerbarer Energieträger.

Damit die Energiewende vollständig gelingen kann, benötigt Deutschland innovative Ideen und Entwicklungen. Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler arbeiten u. a. an energieeffizienten Technologien, resilienten Stromnetzen, der intelligenten Vernetzung verschiedener Energiesektoren und der idealen Kombination aus Strom- und Wärmegewinnung auf der einen Seite und deren jeweils bestmöglichen Speicherung, Verteilung und Nutzung auf der anderen.

Fraunhofer-Allianz Energie

Über 2000 Mitarbeitende aus 20 Fraunhofer-Instituten vernetzen hier ihr Expertenwissen zu einer der größten Energieforschungsinstitutionen Europas, um für ihre Kunden und die Gesellschaft investitionssichere, zukunftsweisende und wettbewerbsfähige Produkte zu entwickeln. Zu den

Forschungsfeldern zählen Digitalisierung der Energiewelt, Erneuerbare Energien, Energiesystemanalysen und -speichertechnologien sowie Energieeffizienztechnologien und Komponenten für Gebäude, Quartiere und Städte.



Gesundheitswirtschaft

Das weitreichende Spektrum richtet sich an kleine und mittelständische Unternehmen genauso wie an Industrie und Energiewirtschaft, damit sich diese mit innovativen Produkten behaupten und neue Märkte erobern können. Darüber hinaus berät die Allianz politische und gesellschaftliche Akteure und Institutionen. Die Aktivitäten der Fraunhofer-Allianz Energie orientieren und messen sich stets am Ziel einer nachhaltigen, sicheren, wirtschaftlichen und sozial gerechten Energieversorgung.

Die Gesundheitswirtschaft trug 2020 mit einem Anteil von 12,1 Prozent zum Bruttoinlandsprodukt bei. Neben einer umfassenden Gesundheitsversorgung zeichnet sich der deutsche Gesundheitsmarkt vor allem durch die Entwicklung innovativer Hightech-Produkte in der Medizintechnik und Pharmazie sowie neuer Behandlungs- und Untersuchungsmethoden aus.

Weltweit investiert kein anderer Wirtschaftszweig außer der Datenverarbeitungs- und Elektronikindustrie so viel in Forschung und Entwicklung wie die Gesundheitsbranche. Dies gilt insbesondere für die Biotechnologie, Medizintechnik und Telemedizin – Bereiche, zu denen auch die Fraunhofer-Institute intensiv forschen. Sie engagieren sich in allen vier großen Themenfeldern der Gesundheitsforschung – Drugs, Diagnostics, Devices und Data.

Als interdisziplinäre Organisation bildet Fraunhofer die Schnittstelle zwischen Medizin, Naturwissenschaften, Informatik und Ingenieurwesen. So werden ideale Voraussetzungen geschaffen, um Innovationen schnell in die Anwendung zu bringen.

Ernährungswirtschaft



Ernährungswirtschaft und Lebensmittelindustrie bilden einen umsatzstarken Wirtschaftszweig, der in Deutschland die Transformation hin zu Nachhaltigkeit vollziehen muss. Der Leitmarkt bietet innovative Lösungen, um gleichzeitig die Produktion zu optimieren, die Qualität zu erhöhen und dabei international wettbewerbsfähig zu bleiben. Für eine ökologische Landwirtschaft oder den Bedarf an regional gehandelten Produkten sind noch zahlreiche Herausforderungen zu bewältigen: Beispiele sind die zunehmende Vulnerabilität des globalisierten Ernährungssystems durch den Klimawandel, durch Ressourcenverknappung, durch fragile Lieferketten, aber auch durch steigende Lebensmittelpreise und Spekulationen mit Lebensmitteln oder durch die Verknappung und Degradierung von Süßwasserressourcen.

Dafür bündeln Fraunhofer-Institute ihre Forschungsaktivitäten und entwickeln gemeinsam mit ihren Partnern innovative Lösungen entlang der kompletten Wertschöpfungskette der Ernährungswirtschaft.

Fraunhofer-Allianz Ernährungswirtschaft

Die 2008 als Fraunhofer-Allianz Food Chain Management gegründete Allianz dokumentiert mit der Umbenennung ihr erweitertes Portfolio: Lösungen zu Fragen in der gesamten Lebensmittelkette mit Schwerpunkten wie Lebensmittelanalytik/-verarbeitung, Mikrosystemtechnik und Logistik werden ergänzt um FuE-Aktivitäten zu vor- und nachgelagerten Bereichen wie Landwirtschaft oder Verwertungsnetzwerke.

Die Allianz erarbeitet Lösungsansätze dafür, wie die Ernährungswirtschaft Herausforderungen wie der globalen Erwärmung, einer nachhaltigen Lebensmittelerzeugung, der Digitalisierung in der Landwirtschaft und neuen Vermarktungsmodellen begegnen kann.

Luft- und Raumfahrtwirtschaft



Als technologieintensiver Industriesektor beeinflusst die Luft- und Raumfahrt das wirtschafts- und gesellschaftspolitische Leben erheblich. Luftfahrt bedeutet globale Mobilität – eine Voraussetzung für kulturelle und ökonomische Vernetzung. Raumfahrt ermöglicht diese globale Mobilität durch Satellitennavigation und -kommunikation. Mit orbitgestützten Erdbeobachtungsinstrumenten können u. a. wesentliche Fragen zum Klima- und Umweltschutz beantwortet werden.

Fraunhofer-Institute unterstützen die Strategien der europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie mit einem breiten Kompetenzportfolio und tragen dazu bei, deren Wettbewerbsposition zu sichern und auszubauen: Dafür stellen sie Kompetenzen aus Optik, Sensorik, Kommunikation, Automatisierung sowie Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz zur Verfügung. Weiteres Kernelement ist die Nachhaltigkeit von Materialien, Bauteilen und Prozessen.

Fraunhofer liefert so wichtige Beiträge zu den nationalen und europäischen Forschungsförderprogrammen (z. B. LuFo und INNOSpace Masters bzw. Clean Sky 2, Clean Aviation, ESA-Raumfahrtprogramme und Horizon Europe) und kooperiert eng mit Verbänden wie dem Bundesverband der Deutschen

Industrie (BDI), dem Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI) oder dem European Aeronautics Science Network (EASN).

Fraunhofer-Allianz Aviation and Space

Die Allianz Aviation and Space ist die Weiterentwicklung der Allianz Space, in der 17 Fraunhofer-Institute seit 2014 gemeinsam anwendungsorientierte Raumfahrttechnologien erforschen. Die Erweiterung um Luftfahrt-Institute ist der konsequente Schritt hin zu einer noch höheren Sichtbarkeit in der Luft- und Raumfahrtbranche und bietet die Chance, Synergien zu schaffen, gemeinsam FuE-Bedarfe zu adressieren und die Entwicklung der Industrie strategisch mitzugestalten. Die Themen, mit denen sich die Mitgliedsinstitute beschäftigen, sind sehr vielfältig und gesellschaftlich relevant. Sie reichen von klimaneutralem und nachhaltigem Fliegen bis zu neuartigen Erdbeobachtungsinstrumenten.

Beteiligung von Fraunhofer-Instituten an Weltraummissionen – von den 70er-Jahren bis in die nahe Zukunft:
www.space.fraunhofer.de/de/missions.html



Mobilitätswirtschaft

Die Mobilitätswirtschaft ist traditionell eine zentrale Säule der deutschen und europäischen Wirtschaft, von der zahlreiche andere Branchen direkt oder indirekt abhängen. Innovationen in diesem Technologiebereich spiegeln sich direkt in der Wirtschaftskraft Deutschlands wider. Damit ist der schnelle Transfer von Forschungsergebnissen eine wichtige Grundlage für die Innovationskraft und den wirtschaftlichen Erfolg.

Zu den Zukunftsfeldern der Branche zählen die Elektrifizierung des Antriebsstrangs, die Automatisierung von Fahrfunktionen sowie die Vernetzung der Fahrzeuge mit Infrastrukturen, Internet und weiteren Verkehrsteilnehmenden. Der Leitmarkt adressiert zudem umweltpolitische Herausforderungen wie Treibstoff- und CO₂-Reduzierung, Elektromobilität oder die Senkung des Materialeinsatzes unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Aspekte.

Fraunhofer-Allianz Verkehr

Seit 2003 bündeln Fraunhofer-Einrichtungen ihre verkehrsrelevanten Kompetenzen. Für öffentliche und industrielle Auftraggeber entwickeln und überführen sie technische und konzeptionelle Lösungen in Anwendungen. Durch internationale Forschungsprogramme sind die Mitgliedsinstitute weltweit mit verkehrsrelevanten Wirtschafts- und Forschungsunternehmen vernetzt.

Mehr zu den Fraunhofer-Allianzen

www.automobil.fraunhofer.de
www.bau.fraunhofer.de
www.chemie.fraunhofer.de
www.bigdata-ai.fraunhofer.de
www.energie.fraunhofer.de
www.fcm.fraunhofer.de
www.gesundheit.fraunhofer.de
www.space.fraunhofer.de
www.verkehr.fraunhofer.de

Leistungszentren – gestärkt durch Transferoffensive

Die Transferoffensive ermöglichte eine strukturelle Stärkung der Fraunhofer-Leistungszentren. Für 2021 wurde eine Übergangsfinanzierung durch Fördermittel des Bundesforschungsministeriums realisiert, um Kompetenzen und Kapazitäten in der Forschung über die Corona-Krise hinweg zu erhalten.

Ab 2022 wird die Funktion der Leistungszentren als Innovationsökosysteme mit übergreifenden Transfer-Roadmaps und verbindlichen Transferzielen weiter geschärft. Ein sogenanntes Omnibus-Modell stellt die Standorte in einen Wettbewerb und fordert Agilität ein: Zum Ende einer Laufzeit scheiden so viele Leistungszentren aus, wie durch eine neue Wettbewerbsrunde hinzukommen. So entsteht ein dynamisches System, das Transferleuchttürme belohnt und den direkten regionalen Impact von Forschung sichtbar macht. 2021 kamen zu den 16 bestehenden Leistungszentren 5 neue regionale Innovationsökosysteme hinzu:

»GreenMat4H2 – GreenMaterials for Hydrogen«, Hanau / Darmstadt

Gemeinsam zielen die TU Darmstadt und zwei Fraunhofer-Institute darauf ab, »grüne« Materiallösungen für die Wasserstoffwirtschaft zu entwickeln und die Zuverlässigkeit von Wasserstoff-beaufschlagten Systemen sicherzustellen. Adressiert werden Werkstoffe für Wasserstofftechnologien zu Herstellung, Speicherung, Transport und Gebrauch sowie den zugehörigen Prozesstechnologien mit Schwerpunkt auf Recyclingfähigkeiten.

»Innovative Therapeutika«, Frankfurt am Main

Ziel des Konsortiums aus Goethe-Universität Frankfurt am Main und zwei Fraunhofer-Instituten ist die Entwicklung neuartiger Wirkstoffe und Behandlungsstrategien für die Therapie bisher nur schwer behandelbarer Krankheitsbilder, beispielsweise chronisch-entzündlicher Erkrankungen des Magen-Darm-Trakts, des Bewegungsapparats oder der Haut – mit der besonderen Maßgabe, diese in möglichst kurzer Zeit für die Anwendung verfügbar zu machen.

»Intelligente Signalanalyse- und Assistenzsysteme InSignA«, Ilmenau

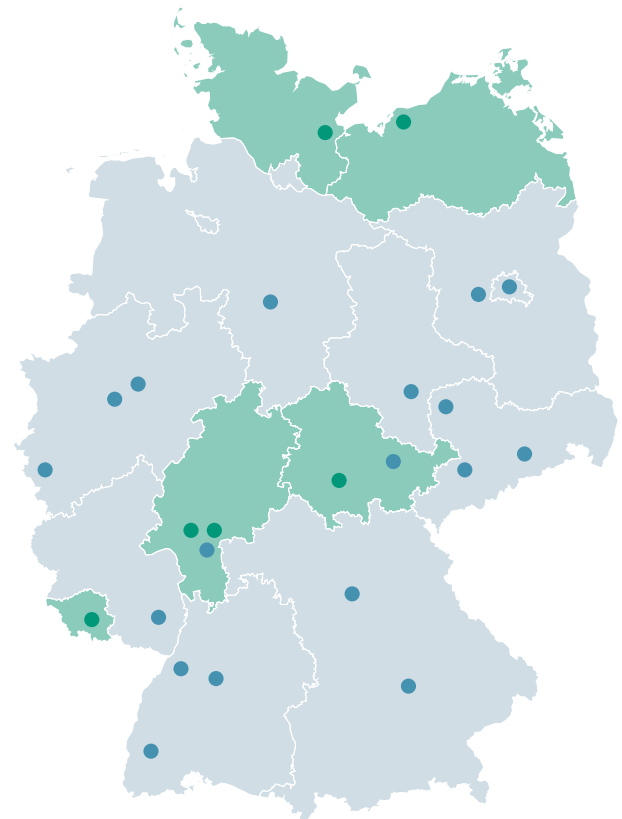
Rund um die TU Ilmenau erarbeiten fünf Fraunhofer-Institute gemeinsam mit weiteren außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Partnern aus der Wirtschaft prototypische Lösungen und tragfähige Geschäfts- und Verwertungsmodelle für die Bereiche Produktion, Energieversorgung und Robotik.

»Sensor-Intelligenz«, Saarland

Zwei Fraunhofer-Institute und die Universität des Saarlandes entwickeln neuartige kognitive Sensorsysteme und Mehrwerte aus sensorisch erfassten Messdaten durch daraus generierte handlungsbestimmende Informationen für wissensbasierte Entscheidungen. Ziel sind Anwendungen in der Material-, Produktions- und Gesundheitswelt.

»Sustainable Subsea Solutions«, Rostock / Lübeck

Fünf Fraunhofer-Institute fokussieren gemeinsam mit der Universität Rostock und dem Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) auf Lösungen für nachhaltige Unterwassertechnologien. Die Initiative verknüpft die vorhandenen Kompetenzen der Standorte Rostock und Lübeck und baut diese als Technologie-Broker mit dem Ziel eines umfassenden Technologietransfers in die Praxis aus.



Initiativen für Digitalisierung, Datensouveränität und Quantentechnologien

Data Spaces Business Alliance (DSBA)

Unter dem Dach der neu gegründeten »Data Spaces Business Alliance (DSBA)« vereinigen zahlreiche europäische und internationale Initiativen und Verbände seit Herbst 2021 ihre Kompetenzen und ihre Schlagkraft: »Gaia-X European Association for Data and Cloud AISBL«, die »International Data Spaces Association (IDSA)«, die »Big Data Value Association (BDVA)« sowie »FIWARE Foundation« wollen gemeinsam die Akzeptanz der Data Spaces europaweit und international vorantreiben.

Die »Data Spaces Business Alliance« soll den Weg freimachen für die europäische Datenökonomie.

Die DSBA ist die erste Initiative ihrer Art, die die nötigen Industrievertreter zusammenbringt, um eine datengetriebene Zukunft für Organisationen und Privatpersonen zu realisieren. Datenräume sind eine Schlüsseltechnologie für Datensouveränität und damit für das interoperable und vertrauenswürdige Teilen von Daten zwischen Märkten und in der Gesellschaft. Die DSBA kann durch ihre komplementär aufgestellten Mitgliedsinstitutionen vielfältige gesellschaftliche und wirtschaftliche Ebenen adressieren und damit das Thema der Datenökonomie mit hoher Diversität treiben – von Technologieförderung und Standardisierungen bis hin zur Integration über verschiedene Industriezweige hinweg.

Nachdem demonstriert wurde, dass Datenräume »gebaut« und geteilt werden können, geht es im nächsten Schritt darum, in großem Maßstab das ökonomische Potenzial des sicheren Teilens von Daten umzusetzen.

Gaia-X-Förderwettbewerb

Beim Gaia-X-Förderwettbewerb des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz wurden Mitte 2021 nach einem zweistufigen Verfahren 16 Gewinnerkonsortien mit überregionaler, europäischer Strahlkraft zum Aufbau eines Ökosystems auf Basis von Gaia-X ausgewählt, elf davon wurden bereits 2021 bewilligt. Der Wettbewerb zielt auf die Anwendung des Gaia-X-Datenraums. Gesucht wurden vorwettbewerbliche Vorhaben, mit denen konkrete Anwendungsbeispiele entwickelt werden können. An ihnen soll die technologische Machbarkeit, die wirtschaftliche Umsetzbarkeit und Nutzbarkeit von Gaia-X sowie die gesellschaftliche Akzeptanz demonstriert werden.

Fraunhofer ist als Partner an sechs Vorhaben beteiligt und übernimmt die Konsortialführung bei »OpenGPT-X – Aufbau eines Gaia-X Knotens für große KI-Sprachmodelle und innovative Sprachapplikations-Services«. Auf Basis innovativer Sprachtechnologien unter Einbindung von Künstlicher Intelligenz (KI) soll Gaia-X die Grundlage bilden, um skalierbare Rechenressourcen sowie vernetzte und anwendungsübergreifende Datenräume für große KI-Sprachmodelle bereitzustellen.

Catena-X Automotive Network

Als größtes Vorhaben für zukünftige Produktionsprozesse in der Automobilbranche wurde Anfang 2021 der Verein Catena-X gegründet. Das europaweite Partnernetzwerk bietet Software-Dienste auf Basis der International Data Spaces und von Gaia-X. Damit wird ein sicherer und vertrauensvoller Datenaustausch zwischen allen Akteuren der Automobilindustrie möglich – von der ersten Zulieferstufe bis zum Fahrzeughersteller (OEM). Die Mitglieder wollen damit mehr Effizienz, Transparenz und Nachhaltigkeit über die gesamte Wertschöpfungskette erzielen.

Gründungsmitglieder sind neben der Fraunhofer-Gesellschaft und einigen der wichtigsten Vertreter der Fahrzeugindustrie wie BMW AG, Mercedes-Benz AG, Robert Bosch GmbH, Schaeffler AG, ZF Friedrichshafen AG und Volkswagen AG auch Industrieunternehmen und Forschungsorganisationen: ARENA2036, BASF SE, Deutsche Telekom AG, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), German Edge Cloud GmbH & Co., Henkel AG & Co. KGaA, ISTOS GmbH, SAP SE, Siemens AG, SupplyOn AG. Vorstandsvorsitzender von Catena-X ist Oliver Ganser (BMW). Zu seinem Stellvertreter wurde Prof. Dr. Boris Otto gewählt. Boris Otto ist Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds IUK-Technologie, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Software- und Systemtechnik ISST, Vorstandsmitglied der Gaia-X, European Association for Data and Cloud AISBL und der International Data Spaces Association (IDSA).

Bis Ende 2022 sollen rund tausend Anwender an Catena-X angeschlossen sein.

Veλεκtronik – Vernetzungsplattform für vertrauenswürdige Elektronik

Als Teil der Leitinitiative Vertrauenswürdige Elektronik innerhalb der Digitalstrategie des Bundesforschungsministeriums startete 2021 auch das Projekt Veλεκtronik mit der zugehörigen Plattform. Im Fokus stehen die Sicherheit von Mikroelektronik und deren Wertschöpfungsketten – denn sie sind grundlegend für jegliches digitale System.

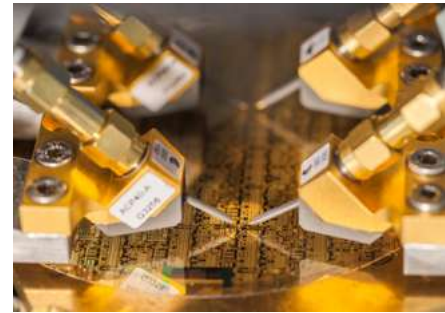
Bei Veλεκtronik arbeitet das Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC mit der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) und deren Geschäftsstelle sowie dem Elektronik-Netzwerk edacentrum gemeinsam daran, elektronische Komponenten sicher zu machen: vom Design über die Herstellung bis zur Prüfung. Daneben bauen die Expertinnen und Experten die Sicherheit von Wertschöpfungsketten, insbesondere von Mikrochips in der Elektronikindustrie, aus. Üblicherweise werden die Chips von Großherstellern in den USA und Asien produziert. Anschließend übernimmt eine Vielzahl von Unternehmen deren Integration zu Modulen oder die Weiterverarbeitung zu Elektronikbauteilen. Am Ende stehen jedenfalls Bauteile, die nicht immer sicher und vertrauenswürdig sind: Sei es, weil das Gerät z. B. früh kaputtgeht oder weil es von außen gehackt werden kann.

Deshalb erforschen die Mikroelektronik-Expertinnen und -Experten beispielsweise vertrauenswürdige Entwurfsmethoden, Analyseverfahren und Ansätze für besonders vertrauenswürdige Fertigungsverfahren für die Kleinserie. Die angestrebte Plattform Veλεκtronik wird sich auf die technologische Übersicht, auf Beiträge zur notwendigen Standardisierung, auf das Netzwerk von Forschung und Wirtschaft sowie das gesammelte Know-how konzentrieren, um dem zunehmenden Bedarf nach höherer Vertrauenswürdigkeit in der Elektronik konkrete Antworten mit Lösungskonzepten entgegenzusetzen. Über einen Industriebeirat ist ein enger Praxisbezug sichergestellt, sodass für die Arbeiten eine starke industrielle Relevanz und Akzeptanz garantiert wird.

6G-Initiative: Start von Forschungs-Hubs

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) startete 2021 die Fördermaßnahme »6G-Forschungs-Hubs; Plattform für zukünftige Kommunikationstechnologien und 6G« als Teil der BMBF-6G-Initiative im Rahmen des Zukunfts- und Konjunkturpakets der Bundesregierung.

Seit August 2021 treiben vier ausgewählte Konsortien die Forschung zur kommenden Mobilfunkgeneration 6G voran. Koordiniert



Messung eines Wafers mit mikroelektronischen Schaltungen auf Zuverlässigkeit.

Foto: Fraunhofer IAF

»Wir bieten mit unserer Plattform rund um den IBM-Quantenrechner und unserem Kompetenznetzwerk Quantencomputing allen Unternehmen und Forschungseinrichtungen die Möglichkeit, diese Zukunftstechnologie aktiv voranzutreiben, sich umfassend für das Quanten-Zeitalter zu qualifizieren und die gewonnenen Fähigkeiten nutzbringend einzusetzen.«

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

werden diese vom Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (Open6GHub), dem Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI (6G-RIC), der RWTH Aachen University (6GEM) und den Technischen Universitäten Dresden und München (6G-Life).

Insgesamt sind neun Fraunhofer-Institute an den vier ausgewählten Forschungs-Hubs beteiligt. 6G-RIC unter Leitung des Fraunhofer HHI verfolgt das Ziel, Mobilfunksysteme zu entwickeln, die über alle Technologiegrenzen hinweg offene Schnittstellen verwenden. Im Mittelpunkt steht der Aufbau einer leistungsfähigen Testinfrastruktur. Auf deren Basis soll die Erprobung neuer Technologiekomponenten unter realistischen und offenen Bedingungen erprobt werden, um so die direkte Verwertung zu beschleunigen und mittelfristig den Aufbau eines neuen Ökosystems zu unterstützen.

Die 6G-Hubs liefern wesentliche Bausteine für den zukünftigen 6G-Standard. Wichtige Entwurfskriterien sind dabei Sicherheit, Kosten- und vor allem Energieeffizienz. Außerdem sollen Konzepte für im Netz verteilte Rechenressourcen entwickelt werden, die es ermöglichen, Daten durch kurze Wege zu den Nutzerinnen und Nutzern schneller zu verarbeiten.

Als zweiter Teil der Fördermaßnahme wurden im Herbst 2021 die »6G-Industrieprojekte zur Erforschung von ganzheitlichen Systemen und Teiltechnologien für den Mobilfunk der 6. Generation« im Forschungsprogramm für Kommunikationssysteme »Souverän. Digital. Vernetzt.« ausgeschrieben.

Kompetenznetzwerk Quantencomputing – IBM Quantum System One

Seit Januar 2021 hat Fraunhofer exklusiv Zugriff auf den am Standort Ehningen durch IBM betriebenen Quantenrechner mit 27 supraleitenden Qubits und einem Quantenvolumen von 64. Der IBM Q System One bietet ein geschütztes und sicheres Testfeld: Datensicherheit und Datenlokalität wurden vertraglich, organisatorisch und technisch sichergestellt – das war Fraunhofer

ein wesentliches Anliegen. Nutzer- sowie Projektdaten verbleiben zu jeder Zeit in Deutschland, die vertraglichen Regelungen für den Betrieb des Quantencomputers unterliegen deutschem Recht, europäische und deutsche Datenschutzbestimmungen werden eingehalten.

Um die anwendungsnahe Forschung zum Quantencomputing voranzutreiben, hat die Fraunhofer-Gesellschaft ein nationales Netzwerk mit regionalen Kompetenzzentren, bestehend aus Fraunhofer-Instituten, in sieben Bundesländern gegründet. Das Netzwerk arbeitet eng mit Partnern und Kunden aus Forschung und Industrie zusammen und bedient ein breites Spektrum an Anwendungsfeldern. Der IBM Q System One ermöglicht eine Vielzahl an Forschungsthemen: von der essenziellen Algorithmik, der Softwareentwicklung sowie der Gestaltung elementarer Logikoperationen bis hin zur Kontrolle des Quantenprozessors im eigentlichen Rechenvorgang. Aktuelle Projekte verdeutlichen zum einen die vielfältige Einsatzmöglichkeit des Systems, zum anderen die enge Zusammenarbeit von Fraunhofer mit Industrie, Universitäten und anderen außeruniversitären Forschungseinrichtungen: In dem von Baden-Württemberg geförderten Verbundprojekt »SEQUOIA« beispielsweise arbeitet Fraunhofer gemeinsam mit verschiedenen baden-württembergischen Universitäten sowie Unternehmen etwa aus Maschinenbau, Logistik und IT am Software-Engineering industrieller, hybrider Quantenanwendungen und -algorithmen. Im Rahmen des Verbundprojekts »EnerQuant« befassen sich die Projektpartner unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in einem interdisziplinären Konsortium mit dem Einsatz von Quantencomputing für Optimierungsprobleme aus der Energiewirtschaft.

Ziel des Kompetenznetzwerks Quantencomputing ist der Aufbau eines Ökosystems in Deutschland aus KMU, Start-ups und Großindustrie sowie Forschungsorganisationen. Um die technologische Souveränität sicherzustellen, treiben die Beteiligten den Kompetenzaufbau im Bereich Software und Algorithmen sowie bei der Standardisierung und Patentierung voran.

Initiativen für CO₂-Reduzierung durch Wasserstoffnutzung und Elektrifizierung

Wasserstoffrepublik Deutschland

Die Ausschreibung »Wasserstoffrepublik Deutschland« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) stellt die bislang größte Forschungsinitiative zum Thema Energiewende dar. In einem Ideenwettbewerb wurden drei Leitprojekte ausgewählt, um in den nächsten vier Jahren einen zentralen Beitrag zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) zu leisten und Deutschlands Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft zu unterstützen.

Mit Aussicht auf eine Fördersumme von insgesamt 740 Mio € starteten im Frühjahr 2021 über 240 Partner aus Wissenschaft und Industrie ihre Projekte, um vorhandene Hürden einer künftigen Wasserstoffwirtschaft aus dem Weg zu räumen. Dabei geht es um die serienmäßige Herstellung großskaliger Wasser-Elektrolyseure (H₂Giga), die Erzeugung von Wasserstoff und dessen Folgeprodukten auf hoher See (H₂Mare) sowie Technologien für den Transport von Wasserstoff (TransHyDE).

H₂Giga

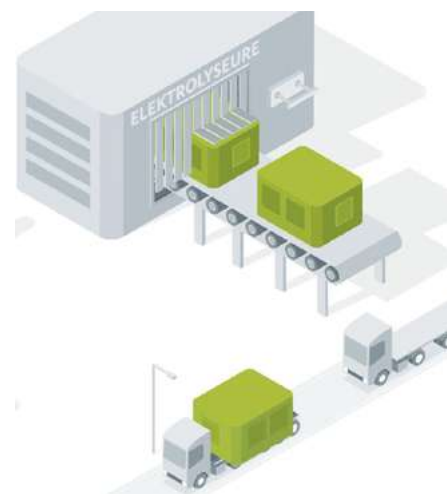
Eine automatisierte Großfertigung von Elektrolyseuren ist das Ziel dieses mit 130 Partnern und einer Fördersumme von 500 Mio € größten BMBF-Leitprojekts. Elektrolyseure zerlegen Wasser mithilfe von Strom in Wasserstoff und Sauerstoff – sie wandeln also elektrische Energie in chemische Energie und schlagen damit die Brücke von erneuerbaren Energien wie Windkraft und Photovoltaik zum Wasserstoff als nachhaltigem Energieträger. Die bisherige Fertigung in Manufakturbetrieben bildet gegenwärtig noch einen Engpass auf dem Weg zur Wasserstoffwirtschaft.

Vorrangige Aufgabe eines Fraunhofer-Konsortiums ist deshalb der Aufbau der »Referenzfabrik für hochratenfähige Elektrolyseur-Produktion« (FRHY). Dabei werden die besten und wirtschaftlichsten Verfahren mit Digitalen Zwillingen nachgebaut und in einen Technologiebaukasten überführt. Letztlich sollen Industrieunternehmen vor der Planung einer Fertigung genau prüfen können, mit welchen Produktionskosten sie für bestimmte Elektrolyseur-Typen rechnen müssen. Ziel: die Produktionskosten von Elektrolyseuren für grünen Wasserstoff sollen um mehr als ein Fünftel gesenkt werden.

Mehrere Institute des Fraunhofer-Verbunds Produktion untersuchen die Fertigung der Bipolarplatten mittels des Rolle-zu-Rolle-Verfahrens, die Produktionstechnologien für die dazwischen liegende poröse Strömungsschicht sowie die Membrantechnologie und Hochdurchsatzverfahren für die Betestung neuer Materialien. In den Fraunhofer Hydrogen Labs in Görlitz und Leuna werden die Einzelzellen geprüft und die Ergebnisse zu Material- und Produktionsfragestellungen rückgemeldet.

Im Konsortium »Ready for Gigawatt« von H₂Giga untersuchen Fraunhofer-Institute zudem die Hochskalierung der alkalischen Elektrolyse auf eine Produktionsleistung von 500 Megawatt bis 2025. Durch die vergleichsweise geringen Kosten der optimierten alkalischen Elektrolyseure können Transformationshemmnisse wesentlich gesenkt werden.

Mehrere Fraunhofer-Institute unterstützen in Teilprojekten von H₂Giga Industriepartner wie Schaeffler und MAN beim Aufbau effizienter Fertigungsanlagen für die großindustrielle Stackproduktion. Der Fraunhofer-Verbund Produktion nimmt als FuE-Partner dieses Leitprojekts eine maßgebliche Rolle ein.



H₂Giga: Seriengefertigte Elektrolyseure sind nötig, um grünen Wasserstoff wettbewerbsfähig zu machen.



TransHyDE: Die Wasserstoffwirtschaft benötigt eine geeignete Transport-Infrastruktur.

H₂Mare

Höchst energieeffizient könnte Wasserstoff künftig direkt auf neuartigen Offshore-Windenergieanlagen produziert werden: Denn die Grundlage, der Strom aus erneuerbaren Energien, kann von Offshore-Anlagen mit einer mittleren Nennleistung von derzeit 5 Megawatt (MW) geliefert werden, während diese Leistung bei Windrädern an Land lediglich bei rund 3,5 MW liegt. Zudem wären auf See die Kosten für die infrastrukturelle Anbindung günstiger: Wasserstoff oder dessen Derivate würden mit Schiffen oder über Pipelines abtransportiert werden – womit teure Netzanschlüsse ans Festland entfallen.

An diesen Zielen forschen 35 Partner unter Koordination von Siemens Energy und des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES. Konzepte, die den Betrieb der Elektrolyseeinheit direkt in der Turbine vorsehen, entwickeln die Konsortien H₂Wind und OffgridWind. Fraunhofer-Institute sind dabei sowohl auf der technischen Ebene – etwa der Integration der Elektrolyseeinheit und der Speicherung des Wasserstoffs – als auch auf der Systemebene und in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung involviert. Sie bringen dazu ihr Know-how bei der Offshore-Wasserstoff-erzeugung ein.

Bei H₂Wind liegt der Fokus auf dem Einsatz der PEM-Elektrolyse. Dafür entwickeln Fraunhofer-Institute die Membranmaterialien

und Prototypen für Elektrolysestacks und testen die Elektrolysezellen. Auch Untersuchungen zu den nötigen Röhrenspeichern rund um das Wassermanagement – etwa die Aufbereitung von Meerwasser für die Elektrolyse – werden bei Fraunhofer durchgeführt.

Wie sich der grüne Wasserstoff in synthetische kohlenstoffbasierte Produkte über ein Plattformkonzept umwandeln lässt, untersucht das Konsortium PtX Wind. Übergeordnete Fragestellungen und der Dialog mit der Gesellschaft werden bei TransferWind behandelt. Die technisch-experimentellen Arbeiten werden wieder über simulative Betrachtungen und technoökonomische Bewertungen zusammengeführt.

Das Leitprojekt wird mit 100 Mio € gefördert.

TransHyDE

Mehrere Hundert Millionen Tonnen Wasserstoff jährlich werden für den Umstieg auf die Wasserstoffwirtschaft benötigt. Nur ein Teil davon kann in Deutschland produziert werden. Zentrale Fragen des Leitprojekts TransHyDE betreffen deshalb den Transport des Wasserstoffs: Welche Transport-Lösungen eignen sich, um kurze, mittlere und lange Strecken zu überwinden? Wo lassen sich bereits bestehende Gasnetze umwidmen? Welche gänzlich neuen Transport-Technologien sind erforderlich?

Am Leitprojekt TransHyDE mit einem Netzwerk von über hundert engeren und assoziierten Partnern ist Fraunhofer maßgeblich an vier Forschungsvorhaben beteiligt: der Systemanalyse, der Schaffung von »Sicherer Infrastruktur« mittels Materialerprobung und Sensorik sowie an verschiedenen Speicheroptionen von Wasserstoff – etwa als flüssige organische Wasserstoffträger (liquid organic hydrogen carrier, LOHC) oder in Form von Ammoniak. Zudem entsteht auf der Insel Helgoland ein Umsetzungsszenario anhand einer Technologieplattform. Dort sollen Pilot- und Insellösungen eine großskalige Implementierung von Offshore-Wasserstoffproduktion, -umwandlung und -verwertung demonstrieren und eine konkrete maritime und landseitige Logistikkette vorbereiten.

Das Leitprojekt wird mit 140 Mio € gefördert.



H₂Mare: Am günstigsten kann grüner Wasserstoff auf See produziert werden. Nötig sind auch PtX-Technologien.

Nationaler Aktionsplan Brennstoffzellen-Produktion

Durch Wasserstoff als Energieträger könnten bis 2030 in Deutschland 55 Prozent der CO₂-Emissionen vermieden werden. Eine Voraussetzung für den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft sind neue kostengünstige Herstellungstechnologien für die Brennstoffzellen als Massenware. Dabei dürfen die Herstellungskosten nicht höher liegen als bei fossilen Antriebssystemen. Über die klimapolitischen Aspekte hinaus würde sich für Deutschland damit die Chance eröffnen, durch diese Schlüsseltechnologie eine nachhaltige Wertschöpfung am Standort zu etablieren.

Fraunhofer hat sich zur Aufgabe gesetzt, die kostenoptimierte, bedarfsorientierte Serienproduktion von Brennstoffzellen skalierbar zu ermöglichen, technologische und wirtschaftliche Potenziale von Brennstoffzellen deutlich zu verbessern und den strukturierten Roll-out in Industrie und Gesellschaft erheblich zu beschleunigen und zu steigern. Der Aktionsplan fokussiert auf Anwendungen der Brennstoffzelle im Schwerlastverkehr und unterstützt zudem insbesondere den Maschinen- und Anlagenbau.

Folgende Technologieverbünde wurden unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU eingerichtet:

- Rolle-zu-Rolle-Anlagentechnologie für die Beschichtung der Membran-Elektroden-Einheit, dem Kernelement von PEM-Brennstoffzellen
- Anlagen für kontinuierliche hochratenfähige Umformprozesse zur Herstellung der Halbplatten
- Automatisierte Bipolarplatten-Herstellung mit kontinuierlicher Prozessführung und Qualitätskontrolle
- Anlagenplanung für die Montage von Stacks aus den einzelnen Zellen einschließlich Demontage und Recycling-Prozessen
- Virtuelle Referenzfabrik für die Produktion von Brennstoffzellen einschließlich KI-Funktionalitäten und standardisierten Digitalen Zwillingen.

Der Nationale Aktionsplan Brennstoffzellen-Produktion soll den wirtschaftlichen Durchbruch für die Brennstoffzellen national und international beschleunigen und die Kosten für die Wasserstoffherstellung bzw. für Wasserstoffanwendungen massiv senken.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz fördert die Initiative mit 80 Mio €.

Rat zur Begleitung der Nationalen Wasserstoffstrategie

2020 verabschiedete die Bundesregierung die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS). In der Vorbereitung hatte die Fraunhofer-Gesellschaft ihre Expertisen dazu bereits in ihrer Wasserstoff-Roadmap beigesteuert. Für die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie wurde von der Bundesregierung ein Nationaler Wasserstoffrat berufen. Als unabhängiges, überparteiliches Gremium beraten die 25 Expertinnen und Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft die Regierung bei der Weiterentwicklung und Umsetzung ihrer Strategie.

Fraunhofer-Mitglieder im Nationalen Wasserstoffrat sind Dr.-Ing. Sylvia Schattauer, kommissarische Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES, und Prof. Dr. Karsten Pinkwart, stellvertretender Produktbereichsleiter am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT. Pinkwart ist zudem Professor für »Elektrochemische Energiespeicher und -wandler« und Prodekan der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe.

Schattauer verantwortet im Auftrag des Fraunhofer-Vorstands den Bereich Wasserstoffprozesstechnik. Zuvor war sie als stellvertretende Abteilungsleiterin für Materials im Vorstandsstab der Fraunhofer-Zentrale tätig und als stellvertretende Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IWMS.

Initiativen im Rahmen des Strukturwandels

Fraunhofer-Zentrum Digitale Energie

Das Fraunhofer-Zentrum Digitale Energie begleitet den Strukturwandel im Rheinischen Revier. 2021 wurde in Kooperation mit der RWTH Aachen ein Großraumlabor wesentlich erweitert: Mit einem digitalen Leitwartenraum, mit Leitsystemen und aktueller Kommunikationstechnik wie 5G wird die Energieinfrastruktur heutiger und künftiger Netzbetreiber vollständig abgebildet.

Mit Industriepartnern arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, technisch zuverlässige, vor Hackerangriffen sichere und wirtschaftlich attraktive digitalisierte Energieinfrastrukturen zu schaffen und in den Betrieb zu überführen. 2021 entstand im Förderprojekt »pebbles« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz eine deutschlandweit einmalige digitale Plattform für den lokalen Handel in zukünftigen Energieversorgungssystemen auf der Basis von Blockchains. Die entstandenen lokalen Communities rücken nicht nur die Endverbraucher in den Mittelpunkt der Energiewende, sondern senken auch den Bedarf an Netzausbau. Beteiligt waren die Siemens AG, die Allgäu-Netz GmbH, die Allgäuer Überlandwerke und die Hochschule Kempten.

Im EU-Leitprojekt »OneNet« werden Lösungen zur europaweiten Harmonisierung und Stabilisierung der Energieversorgung adressiert. Die zunehmende Dezentralisierung des Stromversorgungssystems fordert Lösungen für Übertragungsnetzbetreiber, Verteilnetzbetreiber und Verbraucher. Mit einem Gesamtbudget von über 28 Mio € und über 70 Partnern umfasst OneNet neben einigen

bedeutenden Netzbetreibern auch wichtige IT-Player, führende Forschungseinrichtungen und zwei europäische Verbände für Netzbetreiber.

Am Aufbau des Fraunhofer-Zentrums Digitale Energie sind die Fraunhofer-Institute für Angewandte Informationstechnik FIT und für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE gemeinsam mit Lehrstühlen aus Energietechnik und Informatik der RWTH Aachen University beteiligt.

Fernwärme aus Thermalwasser – von Weisweiler bis Aachen

Statt dem Kohlekraftwerk Weisweiler soll im Rheinischen Revier bald Tiefengeothermie nachhaltige Energiegewinnung ermöglichen und so den Strukturwandel unterstützen. Dies legt ein Kooperationsvertrag der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG und RWE fest.

In einem Forschungskraftwerk wollen die Partner die Wärmegegewinnung aus der Tiefe zur Betriebsreife bringen. Mit einem geophysikalischen Observatorium wird der Untergrund in Weisweiler bezüglich seines Potenzials erkundet. Über der Erde eröffnet Fraunhofer einen Forschungsstandort für Georessourcen und baut ein Technikum für geothermische Konversionstechnologien auf. Untersucht werden alle Aspekte der geothermalen Anlagentechnik: von hochtemperaturfähigen Bohrlochpumpen über marktfähige Prozesse zur Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung bis hin zu Betriebsstrategien. Außerdem werden Verfahren zur stofflichen und zur Wärmespeicherung entwickelt. 2022 startet eine bis zu 1500 Meter tiefe Erkundungsbohrung in einem EU-Projekt. Später werden eine dreidimensionale, wissenschaftliche Vermessung des Untergrunds und darauf aufbauend Tiefenbohrungen in bis zu 4000 Meter Tiefe angestrebt. Im Erfolgsfall kann warmes Thermalwasser gefördert werden. Die Vorteile der Geothermie sind ihre Nachhaltigkeit, Regionalität, Grundlastfähigkeit und der geringe Flächenverbrauch.

Mit dem Fernwärmenetz Aachen-Weisweiler ist bereits eine Infrastruktur zur Wärmeversorgung vorhanden: Schon heute liefert es Fernwärme aus dem Braunkohlekraftwerk Weisweiler u. a. in den Aachener Raum.

**Fraunhofer Hydrogen Labs
Strukturwandel mit Klimaneutralität**

Ab 2023 können im Fraunhofer Hydrogen Lab auf dem Siemens Energy-Innovationscampus in Görlitz (HLG) neue Technologien zur Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff im industriellen Maßstab entwickelt und erprobt werden. Durch diese Technologieführerschaft soll die Ansiedlung und Weiterentwicklung von Unternehmen im Zukunftsmarkt Wasserstoff forciert und der Strukturwandel von einer Braunkohle- zu einer Wasserstoff-Region unterstützt werden.

Zusammen mit den Fraunhofer Hydrogen Labs in Leuna und Bremerhaven trägt das HLG dazu bei, Klimaneutralität zu erreichen und Technologieführerschaft bei Wasserstofftechnologien zu sichern. Mit einer Anschlussleistung von rund 12 Megawatt wird das HLG in Mitteldeutschland eine international einzigartige Forschungsinfrastruktur für Wasserstofftechnologien bereitstellen.

Erste Schwerpunkte sind die Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff sowie dessen Nutzung in mobilen und stationären Brennstoffzellen insbesondere für die Mobilität und zur Versorgung von Quartieren und Industriestandorten. Als Forschungsthemen benötigt werden dafür die Evaluierung von Stacks und Systemen, Mikrostrukturanalytik und -diagnostik, Digitalisierung, Produktionsverfahren, Leistungselektronik sowie Zertifizierung. Beispielsweise entsteht im Forschungsprojekt

»ontoHy« ein Daten- und Wissensraum für KMU mit Anschluss in das regionale Wasserstoffnetzwerk »DurchH₂atmen«. Eingebunden sind etwa Siemens Energy und die Stadtwerke Görlitz.

Das HLG vereinigt die Forschungskompetenzen der Fraunhofer-Institute für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und für Windenergiesysteme IWES. Finanziert wird es gemeinschaftlich durch den Bund sowie das Bundesland Sachsen.

Cluster für die Dekarbonisierung der Industrie in der Lausitz

Der neu formierte Cluster Dekarbonisierung der Industrie (CDI) begleitet energieintensive Industrieunternehmen beim Transformationsprozess in ihrer Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit. Gründungsmitglieder sind die Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg, das Institut für CO₂-arme Industrieprozesse des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), die Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG und das Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien (KEI) als Koordinierungsstelle. Das interdisziplinäre Netzwerk bündelt seine Kompetenzen und arbeitet als Ideengeber für eine erfolgreiche Transformation hin zu einer treibhausgasneutralen Industrie. Vom gemeinsamen Standort Cottbus aus wollen die vier Akteure den Strukturwandel in der Lausitz aktiv mitgestalten.

*Der Strukturwandel durch die Wasserstoffwirtschaft soll Innovationen und Arbeitsplätze schaffen. Auf dem Siemens-Energy-Innovationscampus entsteht mit dem Fraunhofer HLG ein Wasserstofftestlabor.
Foto: Pawel Sosnowski*



Initiativen für eine verbesserte Gesundheitsversorgung

Cluster für personalisierte Medizin im Zukunftscluster Wettbewerb

Die »Clusters4Future« als regionale Innovationsnetzwerke stellen ein zentrales Element der Hightech-Strategie 2025 der Bundesregierung dar. Die Gewinner des 2019 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiierten Wettbewerbs um die Zukunftscluster wurden im Frühjahr 2021 verkündet. Seither starteten sieben solcher regionalen Innovationsnetzwerke aus verschiedenen Forschungs- und Innovationsfeldern. In verschiedenen Regionen kooperieren dabei Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Unternehmen sowie gesellschaftliche und weitere relevante Akteure. Sie sollen in naher Zukunft einen besonderen Beitrag zum Wissens- und Technologietransfer leisten.

Unter den sieben Clusters4Future fokussieren zwei mit Fraunhofer-Beteiligung auf neuartige Ansätze in der personalisierten Medizin mit verbesserter Medikamentierung: Die Forschungsthemen sind personalisierte Zell- und Gentherapieverfahren (SaxoCell) sowie neue Ansätze zur Medikamentenentwicklung (PROXIDRUGS).

»Lebende Arzneimittel« zur Aktivierung der Selbstheilungskräfte des Körpers werden im Reinraum hergestellt. Foto: Fraunhofer IZI



SaxoCell – bezahlbare personalisierte Medizin

Das Konsortium im Raum Dresden/Leipzig forscht an neuartigen Zell- und Gentherapeutika und neuen Produktionsmethoden für innovative Therapieansätze: Dabei sollen »lebende Arzneimittel« die Selbstheilungskräfte des Körpers aktivieren und unterstützen. So können, beispielsweise in der

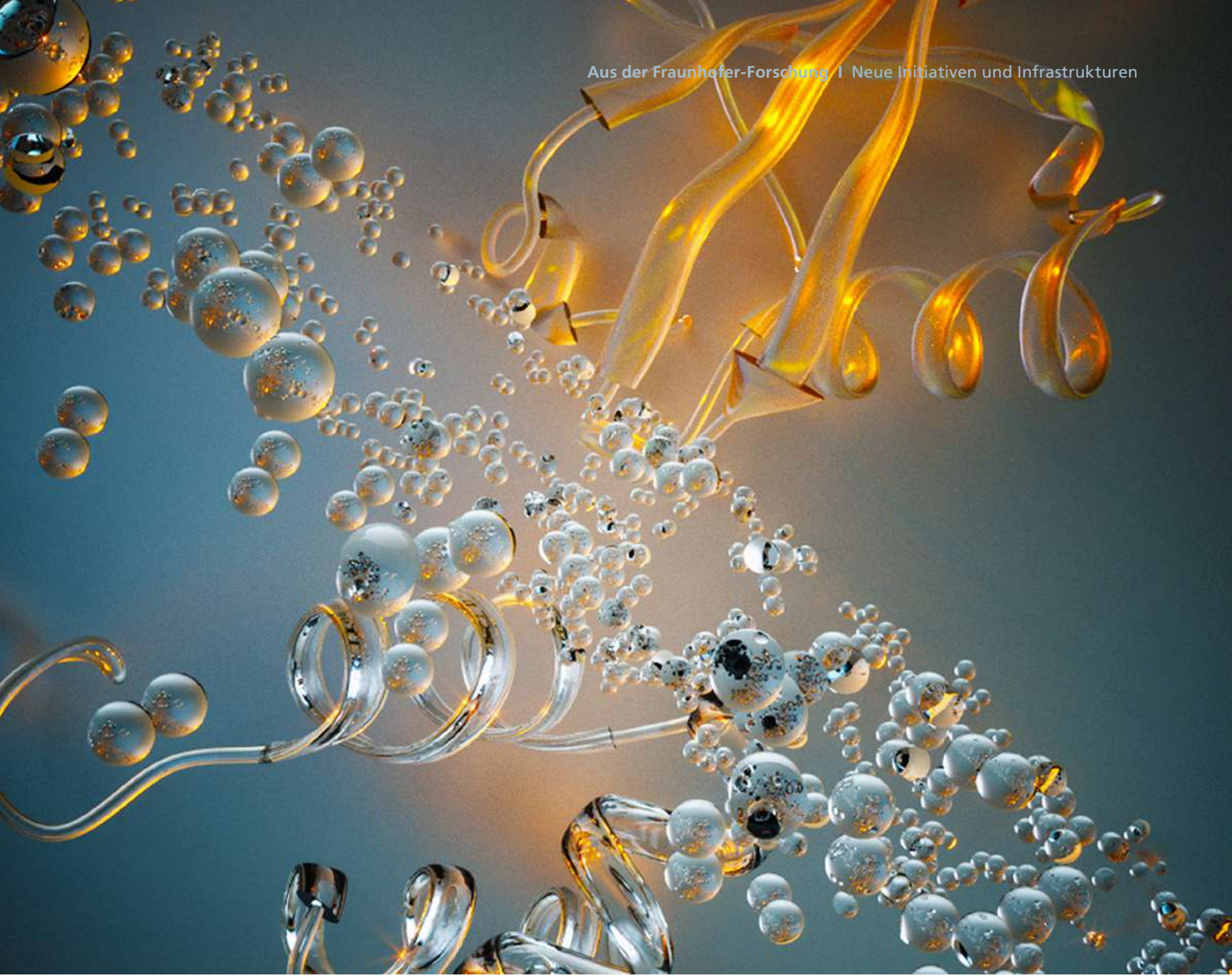
Krebstherapie bei Blut- und Lymphknotenkrebs, gentechnisch veränderte körpereigene Abwehrzellen (CAR-T-Zellen) die Tumorzellen zielgerichtet angreifen und vernichten. Nach ihrer klinischen Erprobung gilt es, solche Zellen mit präzise definierten Funktionen und einem hohen Sicherheitsprofil für die Anwendung im industriellen Maßstab und zu gesellschaftlich verträglichen Kosten herzustellen, um ein realistisches und tragbares Wirtschaftsmodell mit hohem Wertschöpfungspotenzial in der Region zu ermöglichen.

Partner des Konsortiums sind die TU Dresden, die Universität Leipzig, das Klinikum Chemnitz und das Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI, gemeinsam mit Partnern aus Akademie und Industrie.

PROXIDRUGS – zelluläre Müllabfuhr überlisten

Im Zukunftscluster PROXIDRUGS unter Federführung der Goethe-Universität Frankfurt am Main forscht das Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP an der Entwicklung von innovativen Therapien für ein breites Spektrum humaner Erkrankungen. Im Zentrum der Aktivitäten steht die Wirkstoffklasse der »proximity-inducing drugs«: Diese Arzneimittel entfalten ihre Wirkung, indem sie krankheitsrelevante Proteine mit Enzymen in räumliche Nähe (Proximität) bringen und diese gezielt für den körpereigenen Abbau markieren. Durch die hohe Spezifität erlaubt dieses Wirkprinzip eine niedrige Dosierung mit geringen Nebenwirkungen und eröffnet dadurch große Vorteile.

Die meisten heute verfügbaren Medikamente können durch Einfachbindung ihrer Moleküle nur 20 Prozent aller krankheitsrelevanten Proteine unschädlich machen. Medikamente, die durch räumliche Nähe aktiviert werden, sollen die bisher unerreichte Proteinmasse und weitere Strukturen adressieren. Die neuartige Wirkstoffklasse der »proximity-inducing drugs« birgt ein hohes Transferpotenzial in die klinische Anwendung und ermöglicht die Entwicklung maßgeschneiderter neuer therapeutischer Lösungen für Erkrankungen mit hohem medizinischem Bedarf, etwa onkologische, entzündliche, infektiöse, kardiovaskuläre und neurodegenerative Erkrankungen.



Partner von PROXIDRUGS sind die Goethe-Universität Frankfurt am Main, die TU Darmstadt, die Universität Heidelberg, das Fraunhofer-Institut für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP, das Max-Planck-Institut für Biophysik sowie pharmazeutische und biotechnologische Unternehmen im Rhein-Main-Gebiet.

Digitale Transformation der Medizin

Mit einem Neubau fokussiert das Fraunhofer-Institut für Digitale Medizin MEVIS noch stärker auf eine der größten Herausforderungen der Medizin – deren digitale Transformation. Aufgrund der zunehmenden Bild- und Labordaten und der wachsenden Therapieoptionen wird der Alltag von Kliniken und Praxen stetig vielschichtiger. Um diese Komplexität in Zukunft erfolgreich zu bewältigen, entwickelt das Fraunhofer

MEVIS neuartige Computerverfahren, etwa der Künstlichen Intelligenz (KI) und klinischen Entscheidungsunterstützung. Diese sollen relevante Informationen zusammenführen, Diagnosen und Therapien effizienter machen und dabei Nebenwirkungen reduzieren. Das Ziel ist eine Präzisionsmedizin, die maßgeschneiderte patientenindividuelle Lösungen anbietet.

Zu aktuellen Entwicklungen zählt beispielsweise eine neue, KI-gestützte Methode, mit der sich die Nachkontrollen von Tumorbehandlungen wie Chemotherapie schneller und genauer erledigen lassen. Zudem wurde eine Methode entwickelt, mit der sich bei der minimalinvasiven Leberkrebs-Therapie mit fokussiertem Ultraschall die Atembewegung ausgleichen lässt. Erst dadurch kann gewährleistet werden, dass die gebündelten Ultraschallpulse tatsächlich den Tumor treffen und nicht das umliegende gesunde Gewebe.

Molekulare Forschung eröffnet neue Behandlungsoptionen bei vielen Erkrankungen – insbesondere bei solchen, für die bislang eine therapeutische Lücke besteht.

Leitprojekte

Beginnende Leitprojekte

NeurOSmart – HPC-Power im Sensorsystem

Das Konsortium von NeurOSmart will die Integration von effizienten und neuromorphen HPC-Beschleunigern in Sensorknoten realisieren und nutzt dazu ein Hardware-/Software-Codesign. Als Demonstrator-Plattform wird ein vorhandenes, offenes Fraunhofer-LiDAR-System für die Mensch-Roboter-Kooperation angepasst.

Das Projekt adressiert den Bedarf an Industrie-4.0-fähigen Sensorlösungen, insbesondere für die europäische Fabrik- und Logistikautomation. Dort werden zunehmend autonome mobile Roboter und fahrerlos geführte Fahrzeuge eingesetzt. Die nötige Rechenkapazität in der Sensorperipherie solcher Geräte wird Prognosen zufolge in weniger als zehn Jahren jener eines Supercomputers von heute entsprechen. Die größten Herausforderungen für den Einsatz von Hochleistungsrechnern in mobilen Systemen liegen in der Skalierbarkeit der Architektur, einer hinreichenden Übertragungsbandbreite zwischen Sensor und Datenverarbeitung sowie in der Minimierung des Energiebedarfs.

NeurOSmart setzt auf die Entwicklung eines neuen Standards für intelligente Sensorsysteme. Durch deren maßgeschneiderte, hybride Computing-Architektur werden viele Sensorrohdaten bereits direkt im Sensor verarbeitet. Die Dateninterpretation in Form einer Objekterkennung und -klassifizierung wird durch einen analog neuromorphen HPC-Chip mit einer KI-gestützten Vorverarbeitungspipeline

realisiert. Vorteile: Dadurch werden aufwendige Kommunikations- und Edge-Computing-Infrastrukturen überflüssig, Angriffsmöglichkeiten auf das System verringern sich. Durch diesen kombinierten Ansatz und das Co-Design soll eine Energieeffizienz-Steigerung der Datenverarbeitung um mindestens zwei Größenordnungen erreicht werden.

Federführung: Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT

RNAuto – mRNA-Therapeutika automatisiert produzieren

Innovative Arzneimittel wie neuartige Impfstoffe oder Gen- und Zelltherapeutika auf Basis von mRNA sollen künftig in einem bezahlbaren Gesundheitssystem einer Vielzahl von Patientinnen und Patienten zur Verfügung stehen. Dafür werden automatisierte Produktionstechnologien benötigt, die sicher und zuverlässig nach den hohen Anforderungen für Arzneimittel (GMP-Zertifizierung) produzieren. Um einen KI-gesteuerten, digital kontrollierten und automatisierten Produktionsprozess im Sinne von Industrie 4.0 zu erarbeiten, bündelt das Konsortium interdisziplinäre Kompetenzen aus Medizin, Biologie und Ingenieurwissenschaften.

Die Projektpartner setzen auf zwei Wirkstoffkandidaten, um die Prozessautomatisierung zu demonstrieren: Dies ist zum einen ein mRNA-Impfstoff zur Prophylaxe gegen die auch in Europa heimisch werdende West-Nil-Virus-Erkrankung, zum anderen sind es mRNA-induzierte Gentherapeutika gegen Krebserkrankungen, die auf natürlichen Killerzellen (NK-Zellen) gesunder Spender basieren.

Das Konsortium entwickelt eine automatisierte Screening-Anlage für die zügige Prozessentwicklung von mRNA-Nanotransportern mit digitalem Abbild zur Prozesssteuerung und Qualitätskontrolle sowie ein Expansionsmodul mit integrierter Qualitätskontrolle für die Herstellung allogener Gen- und Zelltherapeutika. Biologische Schlüsselherausforderungen liegen in der grundsätzlich eingeschränkten Stabilität von mRNA-Molekülen und in der korrekten Verkapselung der mRNA in Lipidnanotransporter. Ein besonderer Schwerpunkt der Forschungsarbeiten umfasst die industrielle



Bei NeurOSmart entstehen neuromorphe HPC-Beschleuniger für Industrie-4.0-Sensorlösungen. Bild: Fraunhofer ISIT/Concrete Brandbuilding

Skalierbarkeit der Produktion von mRNA-basierten Arzneimitteln.

Federführung: Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI

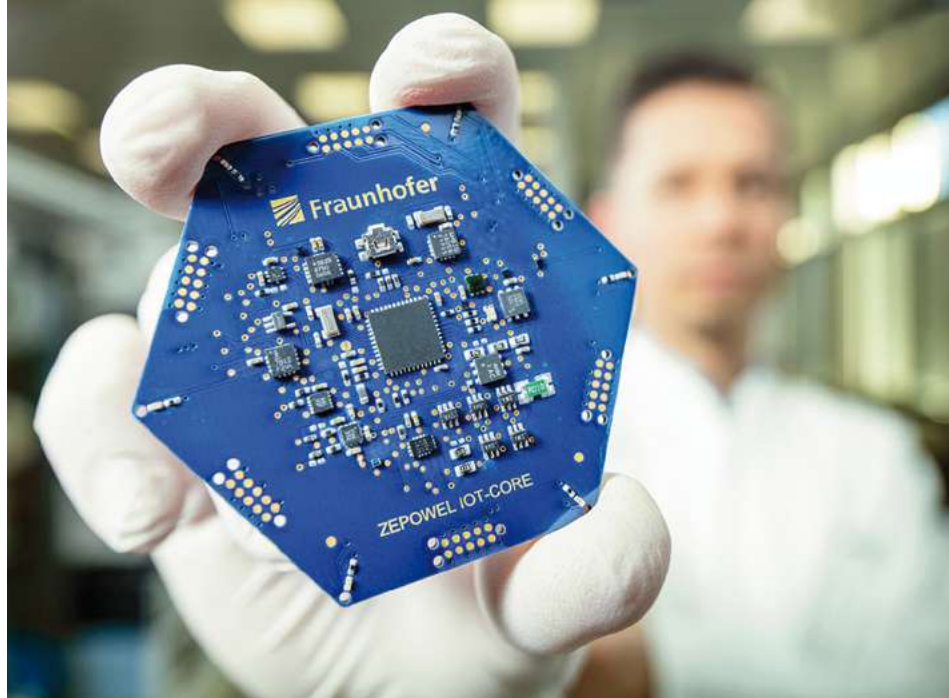
SUBI²MA – Nachhaltige biobasierte und biohybride Materialien

Neuartige Materialien für das globale Ziel der Biotransformation in der Kunststofftechnologie entwickeln die Projektpartner von SUBI²MA. Für die Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5°C und für die dafür erforderlichen Netto-Null-Emissionen bis 2050 müssen alle Wirtschaftsbereiche rasch defossilisiert werden. Es wird nicht ausreichen, dass die Materialwirtschaft etablierte fossile Materialien lediglich durch biobasierte (und mittelfristig meist kostenintensivere) Materialien ersetzt. Um die Nachfrage zu stärken, müssen neuartige biobasierte Materialien zusätzliche, vorteilhafte Eigenschaften und Funktionalitäten aufweisen.

Das Konsortium forscht deshalb an einer Vielzahl von Funktionalitäten – darunter Abbaubarkeit, komplexe Sensorik, Biokatalyse, selektive Trennverfahren sowie eine erhöhte Kompatibilität mit gängigen Polymeren. Solche neuen biobasierten/biohybriden Materialien für PET, Cellulose oder (Bio-)Polyamid sollen mithilfe von Digitalisierungsprozessen schnell entstehen und zukünftige Materialsubstitutionen beschleunigen. Zunächst konzentrieren sich die Forschungsarbeiten auf die Fraunhofer-Entwicklung der Biopolyamide Caramid-R® und Caramid-S®. Hergestellt werden diese aus dem Terpen 3-Caren, einem Reststoff der Zellstoffherstellung. Auch ein Zirkularitätskonzept zur Bewertung des Materials und dessen Eigenschaften wird entwickelt.

SUBI²MA-Materialien, so das Verwertungsziel, sollen der Kunststoff- und chemischen Industrie, Folgemärkten wie Bau- und Textilchemie, der Automobilindustrie und dem Gesundheitssektor Antworten liefern auf die Herausforderungen nationaler und globaler Nachhaltigkeitsstrategien.

Federführung: Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP



Endende Leitprojekte

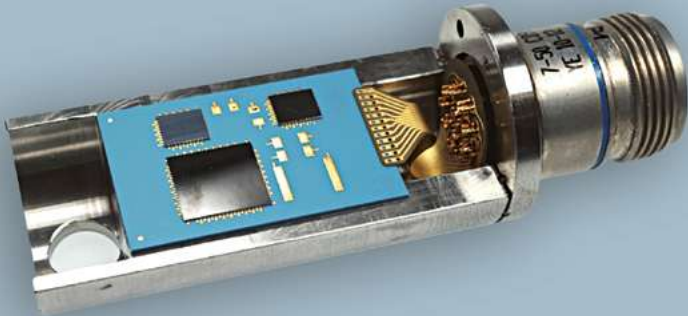
ZEPOWEL – Energiesparende Sensorknoten

Mit dem »Internet der Dinge« (Internet of Things, IoT) wächst die Anzahl von miteinander per Funk verbundenen Geräten – und auch der Stromverbrauch. Abhilfe schaffen neuartige Sensorsysteme: Sie sind energieeffizient und/oder funktionieren komplett autonom. Bundesweit könnten damit bis zu 20 Prozent der durch solche Sensor- und IoT-Systeme erzeugten Kohlendioxid-Emissionen eingespart werden.

Die Forschungsarbeiten des Fraunhofer-Konsortiums umfassten integrierte Sensorik und Signalverarbeitung, Energiegewinnung aus der Umgebung, verbesserte Speichertechnologien sowie effiziente, drahtlose Kommunikation in vernetzten IoT-Systemen. Die modulare Technik des Systems lässt sich auf diverse IoT-Anwendungen zuschneiden, die Sensorknoten der Zukunft können sich autonom mit Energie versorgen.

Der energieautarke »Smart-City-Knoten« etwa erfasst Umweltdaten in Echtzeit. Im Ruhezustand verbraucht der Sensorknoten nur wenige Nanowatt. Erst wenn er über Funk aktiviert wird, fährt er hoch – etwa um Stickoxide oder Feinstaub zu messen und die Messwerte über Funk zu versenden. Der Smart-City-Knoten soll in den kommenden Monaten auf Autos oder Bussen eingesetzt werden. Den Strom gewinnt der Sensorknoten mithilfe eines Energiewandlers aus den Erschütterungen während der Fahrt. Als weiterer Demonstrator erfasst »Smart Fabrication« für die

Der im Projekt ZEPOWEL entwickelte energieautarke Sensorknoten fällt in den Tiefschlafmodus, wenn er nicht benötigt wird. Foto: Fraunhofer IZMI/Volker Mai



Neuartige Sensorsysteme, die Feuchtigkeit, Vibration, Druck und einer Temperaturspanne von -40°C bis 300°C standhalten. Foto: Fraunhofer IMS

vernetzte Produktion den Betriebszustand von Maschinen, Motoren oder Pumpen. Der IoT-Knoten hilft besonders bei Maschinen mit Drehmotoren, Leerlaufzeiten für einen geringeren Energiebedarf zu nutzen. Mit Hilfe des Sensorknotens fährt die Maschine nach Bedarf hoch und herunter und steuert exakt die jeweilige Bedarfsdrehzahl. Möglich wird dies durch Messtechnik und innovative Leistungselektronik.

Die Anwendungsbereiche für derartige Sensoren reichen von der Landwirtschaft über die fertige Industrie bis hin zu ganzheitlichen Systemen für ein effektives und nachhaltiges Internet der Dinge.

Federführung: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM

eHarsh – Sensorik unter Extrembedingungen

Im Leitprojekt eHarsh entwickelte ein Fraunhofer-Konsortium Sensorsysteme für den Einsatz in extrem rauen Umgebungen. Die neuartigen, robusten Sensorsysteme erlauben u. a. einen effizienteren und sichereren Betrieb von sensorgestützten Triebwerken, Turbinen, (Offshore-)Windkraftanlagen oder Geothermieanlagen. Zudem ermöglichen sie durch eine kontinuierliche Überwachung von komplexen Verschleißteilen wie Flugzeug-Triebwerken

eine vorausschauende Wartung und können so einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Luftfahrt leisten. Auch neue Energiequellen wie Wasserstoff können dadurch einfacher genutzt und hergestellt werden.

Die entwickelten Demonstratoren trotzen Feuchtigkeit, Vibration, Druck, aggressiven Medien und sie bleiben bei einer Temperaturspanne von -40°C bis zu 300°C voll funktionstüchtig. Im Gegensatz zu bisherigen konventionellen Systemen können die Signale unter diesen extremen Bedingungen am Ort der Messung nicht nur aufgenommen, sondern auch vernetzt und (vor-)verarbeitet werden. Die Temperaturspanne der Sensoren – etwa im Flugzeug-Triebwerk oder in einer Gasturbine – umfasst über 300°C : das Doppelte dessen, was konventionelle Sensoren heute typischerweise leisten können.

Das Konsortium vereinigt Wissen um Werkstoffe, Aufbau- und Verbindungstechnik, hochtemperaturstabile integrierte Schaltungen, Sensoren, Materialdiagnostik und Testverfahren bis hin zu Zuverlässigkeitsanalysen und Modellierungen. Die entstandenen Teststände simulieren etwa den Einsatz des Sensorsystems an einem Flugzeug-Triebwerk nach NATO-Richtlinien oder die Widerstandsfähigkeit von Elektronik und Sensorik bei bis zu 2000 bar und 200°C . Auch ein MEMS-basierter Ultraschallsensor (CMUT) für den Einsatz bei Geothermie-Bohrungen ist entstanden. Er kann während einer Bohrung durch den Bohrschlamm hindurch die Gesteinswand in einigen Zentimeter Abstand sicher erkennen. Als weitere Anwendungsfelder sollen mit Blick auf Industrie 4.0 industrielle Prozesse wie Umform- und chemische Prozesse erschlossen werden.

Federführung: Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS

ML4P – Machine Learning for Production

Mit Maschinellem Lernen (ML) bei komplexen Produktionsanlagen die Leistung und (Ressourcen-)Effizienz erhöhen: Dies war das Ziel von »ML4P – Machine Learning for Production«. Erstmals entwickelte das Konsortium ein toolgestütztes Vorgehensmodell,

um den Einsatz von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) im industriellen Kontext planbar, wiederholbar und anwenderfreundlich zu gestalten. Der Herausforderung, dass Daten oft nur begrenzt verfügbar sind, hingegen hohes Expertenwissen vorhanden ist, begegnete das interdisziplinäre Konsortium, indem es neue Data Analytics Tools entwickelte. Die in einer Verarbeitungspipeline modular organisierten ML4P-Komponenten ermöglichen die Überführung von Daten und Informationen aus verschiedenen IT- und Prozessleitsystemen in eine für Maschinelles Lernen geeignete Form in Echtzeit. Hybride KI-Methoden erlauben es, Experten- und Domänenwissen mit datengetriebener ML zu kombinieren und so auch mit geringen Datenmengen zuverlässige und nachvollziehbare Resultate zu erzielen.

Die Vorteile der ML-Methoden: Mit der gewonnenen Datenbasis lassen sich unbekannte Zusammenhänge identifizieren und Prozesse modellieren. Die selbstlernenden Mechanismen machen die Anlagen flexibel und schnell wandelbar. Die modulare ML4P-Gesamtarchitektur ermöglicht eine Instanziierung der ML4P-Komponenten sowohl lokal beim Kunden oder verteilt in der Cloud.

In enger Abstimmung mit dem Leitmarkt »Digitalwirtschaft« wurden Beratungs- und Servicedienstleistungen für die Konzeptionierung, die Umsetzung, die Inbetriebnahme und den dauerhaften Betrieb von kundenorientierten ML4P-Lösungen ausgearbeitet. Die Einsatzfähigkeit in unterschiedlichen industriellen Anwendungsszenarien wurde schon zur Projektlaufzeit durch eine kontinuierliche Erprobung in den Anwendungsbereichen Stückgut, Einzelfertigung und Verfahrenstechnik unter Beweis gestellt. Im Probebetrieb läuft die modulare Software-Suite seit Ende 2021 bereits beim Membranfilterhersteller SUEZ Water Technologies Solutions.

Federführung: Fraunhofer-Institut für Optoelektronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB

QUILT – Grenzen der Optik verschieben

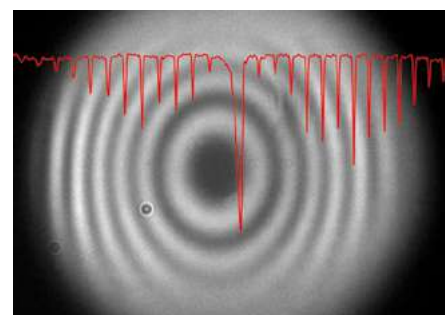
Unterschiedliche Wellenlängen von Licht können über unsere Umwelt Aufschluss

geben: Kurzwellige Ultraviolett-Strahlung kann z. B. kleinste Strukturen in Zellen sichtbar machen, Infrarot-Strahlung liefert Informationen über schädliche Gase in der Luft oder die Zusammensetzung von Kunststoffen, besonders langwellige Terahertz-Strahlung ermöglicht es, die Dicken von Lackschichten genau zu bestimmen. Während für alles »Sichtbare« die Lichtquellen und Kameras weit entwickelt, günstig und umfassend verbreitet sind, erfordern die anderen Bereiche sehr großen Aufwand für die Erzeugung und Detektion des Lichts. Für diese schwer zugänglichen Wellenlängenbereiche quantenoptische Lösungen zu entwickeln war Ziel des Fraunhofer-Leitprojekts »QUILT – Quantum Methods for Advanced Imaging Solutions«.

Dem Konsortium gelang es, das grundlegende Konzept der Quantenverschränkung in unterschiedlichen Messmethoden umzusetzen. Mit dem Einsatz unterschiedlicher Wellenlängen bei verschränkten Photonen kann die von einem Photon gesammelte Information auf das zweite übertragen und damit für die Kamera sichtbar gemacht werden.

Die Projektpartner realisierten erstmals ein entsprechendes Detektionsprinzip für die Terahertz-Strahlung und entwickelten ein quantenoptisches Pendant zum klassischen Fourier-Transform-Spektrometer für die Infrarotspektroskopie. Dem Konsortium gelang erstmals die Aufnahme eines Videos, indem nicht detektiertes Licht zur Bildgebung genutzt wurde. Ein Verfahren zur Bildrekonstruktion beim asynchronen Ghost Imaging wurde erarbeitet. Entstanden sind Demonstratoren für die quantenbasierte Bildgebung, Spektroskopie und optische Tomographie. Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie werden das Anwendungspotenzial der quantenbasierten Methoden und deren Mehrwerte evaluiert, insbesondere für Industriezweige wie die Umwelttechnologien und die Medizintechnik. Das Leitprojekt QUILT war Wegbereiter für zahlreiche Projekte der Quantentechnologie, unter anderem für QuNET.

Federführung: Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF



Mit verschränkten Photonen und Interferenzeffekten lassen sich Infrarotspektren von Molekülen (hier: Methan) für Kameras sichtbar machen.
Bild: Fraunhofer IPM

Projekte und Ergebnisse 2021



Wasserstofftechnologien



Globaler Wasserstoff-Potenzialatlas

Im Projekt HyPat erarbeiten neun renommierte Institutionen unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI bis 2024 einen globalen Wasserstoff-Potenzialatlas. Ein umfassender Überblick über zukünftige Produktions- und Importländer unter Berücksichtigung der technoökonomischen, sozialen und wirtschaftlichen Besonderheiten soll sicherstellen, dass Deutschland auch in Zukunft seinen Energiebedarf durch Importe von grünem Wasserstoff und Wasserstoff-Syntheseprodukten decken kann. Ziel ist es, eine globale Angebots- und Nachfrageprognose für 2050 zu entwickeln. Diese Erhebung leistet entscheidende Grundlagen, um Lieferkosten von zukünftig importiertem Wasserstoff und Syntheseprodukten für Deutschland und Europa zu bewerten.

Bereits verlegte Erdgasrohre sollen den Transport von wasserstoffreichen Gasen gewährleisten.

Das Fraunhofer ISI entwickelt dafür weltweite Potenzialanalysen für erneuerbare Energien. Dafür fließen Akzeptanzfragen wie auch Stakeholderinteressen ein, Nachfrageszenarien für Wasserstoff und Syntheseprodukte werden aufgezeigt. Des Weiteren werden Förderinstrumente für den Markthochlauf analysiert und Lösungen für die Zertifizierung von grünem Wasserstoff und grünen Syntheseprodukten erstellt.

Die Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG widmet sich der technoökonomischen Bewertung von Herstellung und insbesondere des Transports von grünem Wasserstoff. Dafür wird der potenzielle Eigenbedarf dieser Länder analysiert. Die Fraunhofer IEG unterstützt zudem mit ihrem Wissen über bestehende Gasinfrastrukturen, zum Aufbau von Wasserstoffinfrastrukturen, zu Transportoptionen, zur Wasserstoffherzeugung und -nutzung sowie zu Syntheseprodukten.

Ebenfalls an HyPat beteiligt ist das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE mit seinen umfangreichen verfahrenstechnischen Kompetenzen. Ein Schwerpunkt liegt auf der Analyse von künftigen Herstellverfahren und -kosten für Wasserstoff und Syntheseprodukten in ausgewählten Ländern.

Das Projekt HyPat wird im Rahmen des Ideenwettbewerbs »Wasserstoffrepublik Deutschland« vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.



Grünes Methanol aus Leuna

Der größte Methanolproduzent Europas, TotalEnergies, testet zusammen mit dem Elektrolyseur-Hersteller Sunfire und Fraunhofer die Herstellung von Methanol aus kohlenstoffarm produziertem Wasserstoff und abgetrenntem Kohlendioxid. Ein wichtiger Schritt zur Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgasemissionen, insbesondere in der Grundstoffchemie.

Das Konsortialprojekt e-CO₂Met zielt darauf ab, das Zusammenspiel von drei innovativen Prozessen zu testen: Genutzt wird das CO₂ aus der Raffinerie von TotalEnergies, der grüne Wasserstoff wird mit dem 1-Megawatt-Hochtemperatur-Elektrolyseur von Sunfire mit einem Wirkungsgrad über 80 Prozent erzeugt, und die anschließende Methanolsynthese findet auf der Fraunhofer-Skalierungsplattform Hy2Chem statt.

TotalEnergies erkundet in dem Projekt die CO₂-Abscheidung und -Speicherung für die wirtschaftlich sinnvolle Wiederverwendung von CO₂, indem das Treibhausgas mithilfe erneuerbarer elektrischer Energie in Methanol umgewandelt wird. Das so erzeugte Methanol kann bereits als E-Fuel betrachtet werden und Erdöl oder -gas in der chemischen Industrie ersetzen. Darüber hinaus soll das synthetisch erzeugte Methanol als Ausgangsstoff für eine weitere Veredelung, etwa zu nachhaltigen Flugzeugtreibstoffen, genutzt werden.

Die Herstellung des synthetischen Methanols wird erstmals im Fraunhofer Hydrogen Lab im Chemiepark Leuna mit der Skalierungsplattform Hy2Chem im großen Maßstab erprobt: Der Teststand ist vollständig in ein Infrastrukturnetz der ansässigen Chemieindustrie integriert und ermöglicht Power-to-X-(PtX-) Prozesse, indem etwa Wasserstoff in das Pipeline-System des Kooperationspartners Linde eingespeist wird. Am Hydrogen Lab und an der Hy2Chem-Plattform sind das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP und das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES beteiligt.

Vor allem die Verwendung von Wasserstoff als Chemierohstoff bietet für den bestehenden Chemiestandort Leuna Potenziale, um den Strukturwandel zu gestalten und eine Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa aufzubauen.

Synthetische Kraftstoffe für den Verkehr

Auch Verkehrsmittel wie Schiffe oder Flugzeuge müssen künftig klimaneutral betrieben werden, sind jedoch schwer auf elektrischen Antrieb umzustellen. Synthetische Treibstoffe (SynFuels) helfen, die CO₂-Emissionen zu reduzieren, indem das bei der Fortbewegung emittierte CO₂ zuvor anderen, unvermeidbaren Quellen entnommen wurde. In Summe werden so deutlich weniger Treibhausgase freigesetzt.

Für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft arbeiten unter Federführung des Branchennetzwerks DECHEMA 37 Partner an einem Gesamtkonzept für die Einführung nachhaltiger SynFuels. Sie entwickeln nachhaltige Syntheseverfahren einschließlich der Hochskalierung und untersuchen die motorischen Eigenschaften und Emissionen dieser zukünftigen Kraftstoffe, damit herkömmliche Diesel- und Ottomotoren schnell umgerüstet werden können. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesystem ISE forscht an der Skalierung zur Herstellung von Oxy-methylenethern (OME3-5) bis in den Maßstab von einer Million Tonnen jährlich. Dabei ist es entscheidend, die Einzelschritte der OME-Synthese, beginnend bei »grünem« Wasserstoff/Methanol bis zur Produktion eines normgerechten Kraftstoffs, in einen hocheffizienten Gesamtprozess zu integrieren. Ein Bewertungsverfahren wurde erstellt, um Energieeffizienz, Wirtschaftlichkeit und CO₂-Fußabdruck zu beurteilen – und den aussichtsreichsten Prozess zu identifizieren. Das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT ist beteiligt an Eignungsuntersuchungen zur Verträglichkeit von synthetischen Kraftstoffen bzw. Gemischen für diverse kraftstoffführende Komponenten. Die entwickelten Testmethoden sollen aussagekräftig sein, was die chemische Dauerbeständigkeit von Werkstoffen gegenüber den neuartigen Kraftstoffen anbelangt.

Eine Reduzierung von CO₂ im Verkehr wird dann möglich, wenn der synthetische Kraftstoff unter Zugabe von CO₂ auf Basis von grünem Wasserstoff produziert werden kann. Oxymethylen-ether weisen gute Verbrennungseigenschaften auf und können zudem die lokalen Emissionen wie Stickoxide und Ruß signifikant reduzieren. Sie sind ungiftig, verfügen über eine hohe Cetanzahl für den effizienten Betrieb von Dieselmotoren und sind gut kompatibel mit der vorhandenen Infrastruktur.



Foto: iStock

Nutzfahrzeuge sind weltweit für knapp 50 Prozent der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr verantwortlich.

Wenn der Lkw bald ohne Diesel fährt

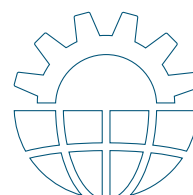
Nutzfahrzeuge sind weltweit für knapp 50 Prozent der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr verantwortlich. Mit einem Anteil von 74 Prozent an der Transportleistung bilden Lkw das Rückgrat des Güterverkehrs in Deutschland und Europa. Um die Klimaziele zu erreichen, muss der Straßenverkehr dem Klimaschutzgesetz zufolge bis 2045 komplett defossilisiert werden.

Während batterieelektrische Fahrzeuge im Personenverkehr bereits in der alltäglichen Nutzung angekommen sind, besteht für den Nutzfahrzeugbereich noch hoher Entwicklungsbedarf. Technologische Neuerungen aus dem Pkw-Bereich können nur bedingt auf den Nutzfahrzeugsektor übertragen werden. Neben dem anderen Einsatzzweck sind Aspekte wie deutlich höhere Lebensdauer, minimale Lebenszykluskosten oder der Sekundärmarkt in Schwellen- und Entwicklungsländern im Vergleich anders gelagert. Deshalb entwickelt ein Fraunhofer-Konsortium seit 2020 hocheffiziente Antriebsstränge speziell für Nutzfahrzeuge.

Je nach Einsatzzweck wurden diese modular konzipiert, jeweils zusätzlich mit Batteriepufferspeicher: Für Industrieländer wird eine Energieversorgung durch eine Brennstoffzelle untersucht, für Schwellenländer ein generatorelektrisches Powerpack. Eine Systemmodellierung der Niedertemperaturbrennstoffzelle (PMFC) einschließlich Stack und Komponenten macht die Optimierungspotenziale sichtbar. Für die Optimierung des elektrischen Traktionsantriebs wurden gedruckte Bleche mit hohem Siliziumgehalt entwickelt und deren magnetische Kennwerte ermittelt, um den Wirkungsgrad weiter zu verbessern. Mit Blick auf den späteren Einsatz der Nutzfahrzeuge in Entwicklungs- und Schwellenländern mit oft instabiler Stromversorgung wurden auch synthetische Energieträger untersucht.

Die Forschungsarbeiten wurden durch das Fraunhofer-Inno-push-Programm gefördert. Der Erhalt bzw. der Ausbau von Kompetenzen bei marktrelevanten Technologien wie Brennstoffzellen oder bei der Digitalisierung stand deshalb besonders im Fokus.

Ressourceneffizienz und Klimatechnologien



So geht Klimaneutralität 2045

2021 veröffentlichte das ARIADNE-Projekt den ersten umfangreichen Szenarienreport »So geht Klimaneutralität 2045« mit Transformationspfaden im Modellvergleich. Die Studie von mehr als 50 Forschenden verschiedener Institute belegt: Die Stromerzeugung aus Wind und Sonne müsste bis 2030 etwa dreimal größer sein als 2020. Dann könnte der wichtige Ausstieg der Kohlestromerzeugung bereits um 2030 erfolgen, wodurch erhebliche Mengen CO₂ eingespart werden können. Zusätzlich sind erhebliche Kraftanstrengungen in den Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr nötig.

Die Forschenden analysierten sechs verschiedene Szenarien zur Erreichung der Klimaziele,

mit vier Technologieschwerpunkten: direkte Elektrifizierung, Wasserstoff, synthetische E-Fuels wie Methan und einen Energiemix. Ihr Resümee: Schnelle Investitionen sind nötig, ebenso ein Austausch von Anlagen, bevor diese ihr Lebenszeitende erreicht haben. Eine stärkere Defossilisierung der Energiewirtschaft bis 2030 ist kostengünstiger als der im Klimaschutzgesetz 2021 vorgesehene Transformationspfad. Die direkte Elektrifizierung des Energieverbrauchs ist für das Erreichen der Klimaziele zentral.

In den ARIADNE-Zielszenarien steigt der Anteil der Elektrizität an der Endenergie von 18 Prozent 2019 bis 2045 auf 40 bis 69 Prozent. Zusätzlich zur direkten Elektrifizierung trägt die indirekte Elektrifizierung über Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe zwischen 8 und 37 Prozent zur Endenergie bei. Bisherige Energiequellen der Industrie müssen durch nachhaltige Alternativen wie Strom aus erneuerbaren Energien oder Wasserstoff ersetzt werden. Für die Wärmewende muss bis 2030 die jährliche Sanierungsrate auf 1,5 bis 2 Prozent steigen, 5 Millionen Wärmepumpen müssen installiert und etwa 1,6 Millionen Gebäude neu an das Fernwärmenetz angeschlossen werden. Im Verkehrssektor hat die direkte Elektrifizierung vorerst das größte Treibhausgas-Minderungspotenzial.

ARIADNE ist eines der vier Projekte im Rahmen der Kopernikus-Förderlinie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Im Konsortium ist der Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems CINES eines der Mitglieder.

Um Klimaneutralität zu erreichen, muss die Stromerzeugung aus Wind und Sonne steigen.



Grüner Strom: Pilotprojekt mit der Mercedes-Benz AG

In einem weiteren Vorhaben der Kopernikus-Projekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung untersuchten rund 100 Partner aus Wissenschaft, Industrie und Gesellschaft, wie sich der industrielle Strombedarf maßgeblich aus erneuerbaren Quellen speisen lässt. Prozesse und die Betriebsorganisation der Unternehmen können so gestaltet werden, dass sich der Energieverbrauch flexibel an das volatile Energieangebot anpassen lässt.

Als Konsortialmitglied identifizierte das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA über 40 denkbare energetische Flexibilisierungsmaßnahmen stellvertretend für die gesamte Automobilbranche bei Mercedes-Benz und mehreren Zuliefererbetrieben. Zum Beispiel eignen sich fahrerlose Transportsysteme zur Stromspeicherung – sofern die Produktion nicht voll ausgelastet ist und die Stromkosten niedrig sind. Auch die Lüftung der Fabrikhalle kann innerhalb eines definierten Bereichs an die intelligente Stromversorgung angepasst werden.

Für eine cloudbasierte Energiesynchronisationsplattform entwickelten die Forschenden des Fraunhofer IPA mit den Partnern Software AG und TRIMET Aluminium SE einen ersten Prototyp. Zunächst wurde dafür die Energieflexibilität in einem Datenmodell abgebildet. Geeignete Optimierungsmaßnahmen wurden abgeleitet und auf IT-Services in der Energiesynchronisationsplattform realisiert. Dies ermöglicht eine standardisierte und automatisierte Vermarktung von Energieflexibilitätsmaßnahmen von der Produktionsmaschine bis zum Energiemarkt.

Expertinnen und Experten des Fraunhofer IPA und der Universität Stuttgart haben das Potenzial der Industrie zur Flexibilisierung der Stromnachfrage analysiert und dabei in den betrachteten Branchen der deutschen Industrie ein Flexibilitätspotenzial von 1,5 Gigawatt Lasterhöhung und 3,3 Gigawatt Lastverzicht für einen Zeitraum von 15 Minuten identifiziert. Das entspricht einer Leistung von etwa 430 bzw. 940 Onshore-Windrädern. Auf das Jahr kumuliert ergeben sich daraus 2,5 bzw. 4,4 Terawattstunden an flexibilisierbarer Energie.

Standorte für die Herstellung CO₂-neutraler Brenn- und Kraftstoffe

Für Anwendungen wie Flug- oder Schiffsverkehr sowie für die Grundstoffindustrie können synthetische, mit grünem Wasserstoff hergestellte Brenn- und Kraftstoffe (Power-to-Liquids) die Lösung für die Reduktion der CO₂-Emissionen bieten. Dazu, welche Standorte sich für die Produktion dieser Power-to-Liquids eignen, legte das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE einen ersten globalen Atlas zu diesen Power-to-X-(PtX)-Verfahren vor.

Eingeflossen sind technische und ökonomische Potenziale von Energieträgern, die aus grünem Strom gewonnen werden. Berücksichtigt wurden Analysen etwa zu Flächenverfügbarkeit oder Wetterbedingungen sowie Faktoren wie die lokale Wasserverfügbarkeit, Naturschutz, Investitionssicherheit oder Transportkosten. Bei der Berechnung der ökonomischen Potenziale von einzelnen Standorten berücksichtigten die Forschenden neben den Stromgestehungskosten und den Wirkungsgraden der Energieumwandlungsprozesse auch Peripherie-, Speicher- und Transportkosten.

Die niedrigsten Erzeugungskosten weisen demnach Standorte mit guten Bedingungen für die Windenergie, möglichst verbunden mit Photovoltaik, auf. Gerade bei Wasserstoff können die Kosten für den Transport nach Deutschland ein entscheidender Faktor sein. Synthetische Brenn- und Kraftstoffe für den europäischen Markt direkt dort zu produzieren, wo auch der grüne Wasserstoff erzeugt wird, kann sich als effizienter erweisen, als nur den Wasserstoff zu transportieren.

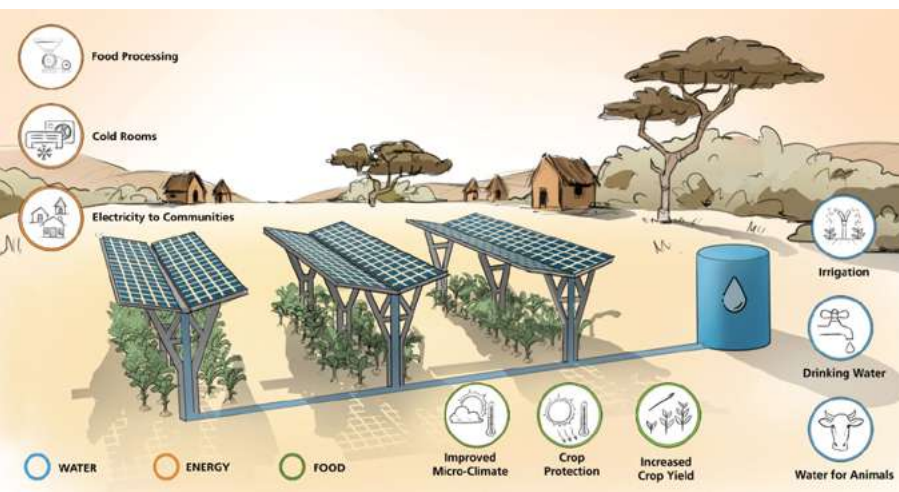
Das prognostizierte Gesamtpotenzial für speicherbaren Strom, der außerhalb von Europa gewonnen wird, grenzten die Forschenden durch Faktoren wie Investitionssicherheit oder vorhandene Infrastruktur weiter ein. Auf Deutschland heruntergerechnet, kommt die Untersuchung zu dem Schluss, dass der verbleibende Brenn- und Kraftstoffbedarf ausreichend durch geeignete außereuropäische Produktionsstätten gedeckt werden könnte.

Für die Energiewende müssen jedoch Energieeffizienz und der direkte Einsatz



Gasbetriebener Magnesiumdruckgussprozess: Ansatzpunkt für eine bivalente Energieversorgung.

Foto: C&C Bark



links: Schema von Agri-Photovoltaik einschließlich Regenwassergewinnung in Mali.
Graphik: Fraunhofer ISE

rechts: Synthetische, mit grünem Wasserstoff hergestellte Brenn- und Kraftstoffe reduzieren die CO₂-Emissionen. Geeignete Standorte für deren Herstellung zeigt der globale PtX-Atlas im Internet.



Produktion von Solarstrom sowie die Regenwassergewinnung und -speicherung über das Solaranlagen-system.

In Mali wird ein Demonstrator mit integriertem Wassermanagement aufgebaut. Indem die Solarmodule V-förmig aufgestellt werden, sammeln sie Regenwasser und leiten dieses über hohle Pfosten in der Unterkonstruktion in einen Wassertank. Damit sollen Schwankungen im Regenvorkommen und den damit verbundenen landwirtschaftlichen Anbaumöglichkeiten ausgeglichen werden. Das lokale Grundwasservorkommen wird geschont, gleichzeitig könnten die Erträge durch die stabile Wasserbereitstellung steigen.

von erneuerbarem Strom stets Priorität haben, mahnen die Forschenden. Der PtX-Potenzialatlas entstand im Rahmen des vom Bundesumweltministerium geförderten Projekts DeV-KopSys. Untersucht werden Energiesektor-übergreifend verträgliche Entwicklungspfade für den Verkehr.

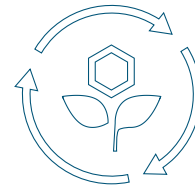
In Gambia werden die vier geplanten Demonstratoren regional so angepasst, dass sie mit bewässertem Reisanbau oder mit Systemen zur Regenwassernutzung kombiniert werden. Der erzeugte Strom soll je nach Bedarf den Einsatz von Wasserpumpen, Getreidemühlen, Kühlkammern sowie Geräten zur Verarbeitung der Ernte ermöglichen.

Agri-Photovoltaik: Sonne, Regen und Land in Westafrika besser nutzen

Seit Längerem entwickelt das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE Konzepte für die Doppelnutzung von Land, indem Landnutzung und Photovoltaik kombiniert werden, kurz: Agri-PV. Ein internationales Konsortium aus Deutschland, Mali und Gambia untersucht seit 2020 nun sogar die dreifache Landnutzung in Westafrika: Diese umfasst den Anbau von Nahrungsmitteln, die

Das internationale Konsortium vereint FuE-Aktivitäten der Agrarwissenschaft, Sozioökonomie und Solarenergie und will durch die Errichtung von Agri-PV-Anlagen die Energie für Mehrwertdienste in den lokalen Gemeinden liefern. Im Rahmen der ökonomischen Forschungsaktivitäten sollen gemeinwohlorientierte Finanzierungsmodelle für die lokale Bevölkerung entstehen. Die gesammelten Einnahmen aus den Systemen werden für die Rückerstattung der Investitionsanteile und für die Instandhaltung der Anlagen verwendet.

Bioökonomie



Kunststoffe mit biologischen Funktionen

Rohre, die nicht mehr verstopfen, da sie aus Kunststoffen bestehen, die sich selbst reinigen können. Materialien, die sich selbst abbauen können oder Anti-Schimmel-Oberflächen besitzen: Möglich wird dies, wenn es gelingt, aktive Enzyme in Kunststoffe einzubinden.

Die Herausforderung: Während die Verarbeitung von Kunststoffen meist bei Temperaturen über 100 °C erfolgt, werden gängige Enzyme bei diesen Temperaturen denaturiert und verlieren ihre Aktivität. Einem Forschungsteam des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung IAP und der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg ist die funktionale Einbindung der Enzyme gelungen – und zwar bereits in der technischen Herstellung über den Labormaßstab hinaus. Erste funktionalisierte Kunststoffgranulate, Folien und Spritzgusskörper mit aktiven Enzymen wurden hergestellt.

Dazu setzen die Forschenden poröse anorganische Träger ein, in die sich die Enzyme einlagern. Auch wenn dadurch die Beweglichkeit der Enzyme eingeschränkt ist, bleiben sie weiterhin aktiv. Allerdings gibt es keinen allgemein gültigen Stabilisierungsprozess. Für jedes Enzym muss individuell ein geeigneter Träger und eine passende Technologie gefunden werden.

Die stabilisierten Enzyme können nicht nur auf der Oberfläche des Kunststoffs aufgetragen, sondern direkt in den Kunststoff eingearbeitet

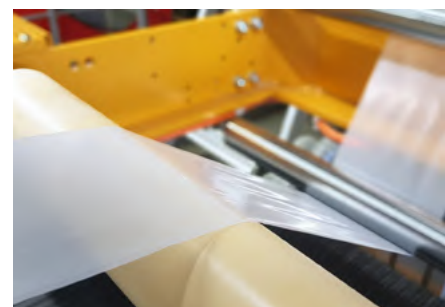
werden, um die Funktionalität des Materials bei Abnutzungserscheinungen zu erhalten. Entwickelt wurde ein Verfahren, das sich sowohl für Biokunststoffe als auch für klassische erdölbasierte Kunststoffe wie Polyethylen eignet. In den Untersuchungen zeigte sich darüber hinaus, dass stabilisierte Enzyme nach der Einarbeitung in den Kunststoff nochmals höheren thermischen Belastungen gewachsen sind, als sie es vor der Verarbeitung waren: eine erhebliche Erleichterung für den Einsatz der Enzyme und für sämtliche Prozessschritte.

Bisher haben sich die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IAP vor allem mit eiweißspaltenden Proteasen beschäftigt. Ein derart funktionalisierter Kunststoff kann eine selbstreinigende Wirkung entfalten. Die Kooperationspartner an der BTU setzen sich verstärkt mit Enzymen zum Abbau von Kunststoff und von giftigen Substanzen auseinander.

Das durch das Land Brandenburg geförderte Projekt »Biofunktionalisierung/Biologisierung von Polymermaterialien – BioPol« läuft noch bis 2023.

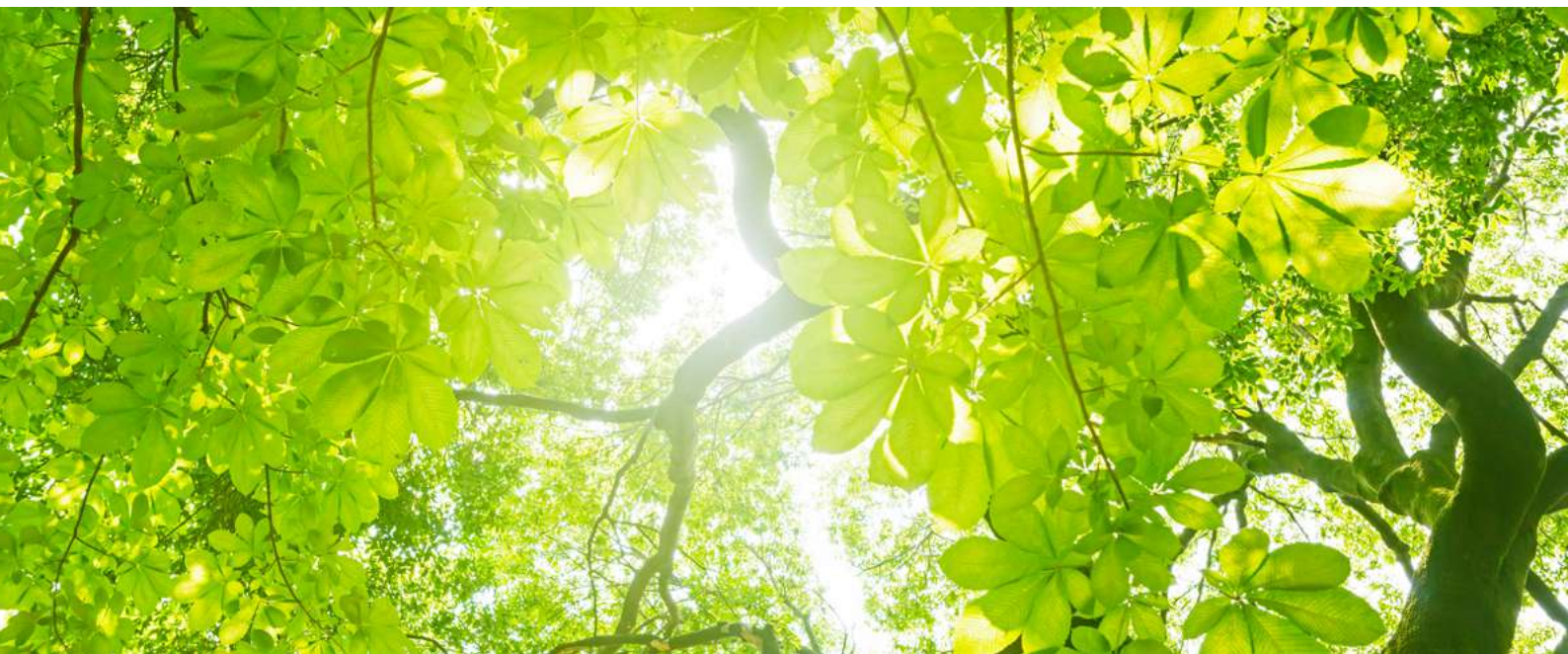
Klimaneutrales Bioöl aus der Kläranlage

Noch basieren in Deutschland 98 Prozent der Antriebsenergie im Verkehr und 22 Prozent der Heizenergie auf flüssigen Energieträgern. Diese stammen überwiegend aus fossilen Quellen. 16 Prozent des Mineralölaufkommens werden in der Chemieindustrie verbraucht. Zwei wichtige Meilensteine auf dem Weg



Herstellung einer bio-funktionalisierten Folie im Verarbeitungstechnikum.

Foto: Fraunhofer IAP



Das Projekt »eBioCO₂n« entwickelt Technologien, die der Photosynthese nachempfunden sind.

zur Reduktion von Treibhausgasemissionen sind klimaneutrale synthetische Biokraftstoffe und Chemierohstoffe, z. B. aus biogenen Abfallstoffen.

Ein bedeutender Schritt ist Fraunhofer-Forschungsgruppen bei der Erschließung dieser Rohstoffquellen gelungen. Mit einem thermochemischen Konversionsverfahren, dem Thermo-Catalytic Reforming (TCR®-Technologie) lässt sich aus vielen Abfallstoffen ein Öl erzeugen, das einem fossilen Rohöl ähnelt. Es weist einen hohen Heizwert und sehr niedrige Säurewerte auf, zudem ist es thermisch stabil. In Raffinerien lässt es sich zusammen mit mineralischem Rohöl verarbeiten oder dezentral zu Produkten wie Benzin, Diesel oder zu Treibstoff für den Flugverkehr aufbereiten.

Im Projekt »Nutzung biogener Reststoffe« wurde das Bioöl aus Klärschlamm oder aus Agrarreststoffen hergestellt: Aus den bisher als Abfall deklarierten Reststoffen werden so klimaneutrale Wertprodukte. Neben dem Öl entstehen eine stabile Biokohle und ein Synthesegas. Dieses kann an Fraunhofer-Anlagen in Sulzbach-Rosenberg und Straubing katalytisch zu Methanol umgewandelt werden.

Bei der TCR®-Technologie wird die Biomasse in einem kontinuierlich arbeitenden Schneckenreaktor unter Sauerstoffabschluss in feste und flüchtige Bestandteile zerlegt.

Die entstehenden Dämpfe werden weiter veredelt, um die Gasausbeute und die Qualität zu verbessern. Bei der anschließenden Kondensation werden Öl und Prozesswasser getrennt. Das verbleibende Gas wird gereinigt. Das Projekt »Nutzung biogener Reststoffe« gehört zum größten Fraunhofer-Konsortialprojekt für die Bioökonomie: »Evolutionäre bioökonomische Prozesse EVOBIO – Integrative Nutzung von Stoffströmen zur Herstellung optimierter Materialien für innovative Produkte in bioökonomischen Prozesskreisläufen«. Die Förderung erfolgte im Rahmen des Fraunhofer-Innovationsprogramms.

CO₂-reduzierte Herstellung von Feinchemikalien mit Enzymen

Für die chemische Industrie bedeutet der Rohstoffwandel den weitgehenden Verzicht auf fossile Rohstoffe. CO₂ spielt künftig als Baustein zur Herstellung von Chemikalien eine wichtige Rolle. Ein interdisziplinäres Forschungsteam in Straubing und Marburg entwickelt in seinem Projekt »eBioCO₂n« Technologien, die der Photosynthese nachempfunden sind.

Dabei werden biokatalytische Reaktionen mit Strom angetrieben, um CO₂ über sogenannte Kaskadenreaktionen für die Herstellung wertvoller Chemikalien wie Aminosäuren

zu nutzen. Für die Nachbildung der natürlichen Photosynthese werden Enzyme in maßgeschneiderte redoxaktive Hydrogele auf Elektroden eingebettet. Dies erlaubt, große Mengen an Enzymen einzusetzen. Zudem werden ein exzellenter Elektronenfluss und der Schutz der Enzyme gewährleistet, sodass eine hohe Produktausbeute garantiert ist.

Damit die sequenziellen Enzymreaktionen ablaufen können, sind bestimmte Co-Faktoren notwendig. Das sind kleine organische Moleküle, die für die Funktionalität der Enzyme essenziell, aber kostenintensiv sind. Deshalb werden sie im eBioCO₂n-System stromgetrieben regeneriert, mithilfe von eigens entwickelten Enzymsystemen.

Ziel ist es, komplexe, fein aufeinander abgestimmte Multi-Enzymkaskaden anzutreiben und so eine modulare Plattform für die nachhaltige Synthese der Zukunft zu entwickeln. Das Konsortium realisiert zunächst einen Demonstrator im Milliliter-Maßstab, der aus CO₂ wertvolle Zwischenprodukte erzeugt. Der Ansatz vereint Technologien der Bioelektrokatalyse und der synthetischen Biologie. Er soll den Weg frei machen für die CO₂-Kreislaufwirtschaft – etwa für Unternehmen der Pharmaindustrie und Agrochemie oder für die Herstellung von Geschmack und Geruchsmolekülen.

Das Projekt eBioCO₂n wird im Rahmen des Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprogramms gefördert. Beteiligt sind das Innovationsfeld Bioinspirierte Chemie am Straubinger Institutsteil des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB und die Abteilung Biochemie und Synthetischer Metabolismus des Max-Planck-Instituts für terrestrische Mikrobiologie in Marburg sowie Forschende der Technischen Universität München (TUM).

Ökologisch verträglicher Ersatz für Palmöl

In den letzten 20 Jahren hat sich der globale Bedarf an Pflanzenöl verdoppelt und wird weiter steigen. So wurden 2020 rund 200 Millionen Tonnen Pflanzenöl produziert. Mit mehr als 62 Prozent bilden Soja und Palmöl

bisher die Hauptquellen – verbunden mit massiven ökologischen Schäden wie der Rodung von Regenwald.

Die in Südamerika heimische Macauba-Palme könnte mit ihrem Öl den von der Industrie dringend gesuchten, nachhaltigen Ersatz für das Palmöl liefern: Die brasilianische Palme benötigt deutlich weniger Wasser als klassische Ölpalmen und kann auch in (halb-)trockenen Regionen angebaut werden, wodurch die Rodung von tropischem Regenwald überflüssig würde. Aufgrund der hohen Biomasseproduktion kann Macauba pro Hektar und Jahr bis zu 25 Tonnen CO₂ binden. Diese Palmenart kommt mit geringer Bodenqualität aus, leistet aber zugleich erhebliche Beiträge zur Erhöhung der Wasserbindung in Böden.

Allein in Brasilien könnten 200 Millionen Hektar an Weideland und semiariden Regionen ohne negative Eingriffe in die Ökosysteme für den Anbau von Macauba-Palmen in Kombination mit dem Anbau weiterer Nutzpflanzen (z. B. Kaffee) oder der Viehhaltung verwendet werden.

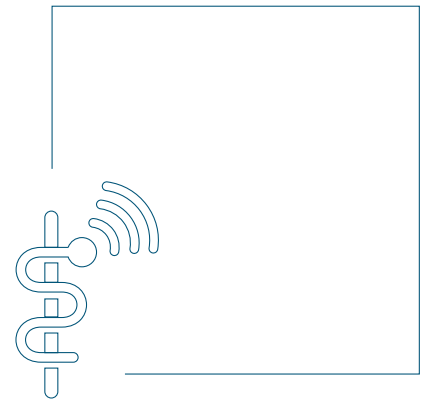
Eine zunehmende Kultivierung und Nutzung zur Ölgewinnung der Macauba-Früchte würde enorme Mengen an Pressrückständen und Schrotten mit sich bringen. Daran, diese Nebenströme zu erschließen, arbeitet das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV innerhalb der Fraunhofer Innovation Platform for New Food Systems vor Ort in Campinas mit brasilianischen Partnern: So eignen sich die Proteine aus Macauba-Kernen hervorragend für die Herstellung rein pflanzlicher Lebensmittel, die Fruchtpulpe enthält wertvolle Ballaststoffe für die Lebensmittelherstellung. Aber auch technische Anwendungen von Macauba-Fractionen in flexiblen Verpackungen sind denkbar.

Die Abteilung Verfahrensentwicklung Lebensmittel des Fraunhofer IVV ist beteiligt am Förderprojekt »Acrowards« der Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Hier kooperieren 15 Partner aus Deutschland und Brasilien. Weiterhin werden die Anwendungspotenziale der Macauba-Pulpenballaststoffe in dem Cornet-AiF-Projekt »AcroFiber«, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert wird, untersucht.

CO₂ wird stromgetrieben an ein Ausgangssubstrat gebunden, um auf fossile Rohstoffe verzichten zu können. Foto: Fraunhofer IGB / Marc Müller



Intelligente Medizin



Magnetische Miniroboter für körperschonende Behandlungen

Forschungsteams der Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE und der Universität zu Lübeck entwickeln winzige schwimmende Roboter. Diese lassen sich mit magnetischer Steuerung zu ihren Wirkungsorten im Körper führen: Dort geben die Mini-U-Boote dann gezielt Medikamente ab, etwa für Chemotherapien, oder sie führen schonende Eingriffe an schwer zugänglichen Bereichen durch.

Gemeinsam mit radiologischen Fachkräften aus verschiedenen Bereichen des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein gelang es den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, einen solchen Mikroroboter mithilfe von Magnetfeldern durch ein Modell der mittleren menschlichen Hirnarterie zu einem Aneurysma zu steuern. Die Originalarbeit wurde im Juli 2021 in »Scientific Reports« veröffentlicht.

Der additiv gefertigte, mit magnetischen Nanopartikeln beschichtete Mikroroboter wurde am Institut für Medizintechnik der Universität zu Lübeck hergestellt. Rotierende magnetische Felder bewirken dessen Drehung und Vorwärtsbewegung.

Für die Visualisierung des Mikroroboters verwenden die Forschungsteams der Fraunhofer IMTE und der Universität zu Lübeck eine tomographische und echtzeitfähige Magnetpartikelbildgebung, basierend auf der magnetischen Nanopartikel-Beschichtung. Diese Magnetfelder sind für den Körper

unbedenklich, es ist keine Strahlung nötig. Magnetfelder als theranostische Methode eröffnen eine Vielzahl neuer Anwendungen.

Künstliche Intelligenz hilft bei Automatisierung in der Medizin

Personalisierte Medikamente wie modifizierte Stammzelltransplantate oder Zell- und Gentherapeutika (ATMPs – Advanced Therapy Medicinal Products) eröffnen bei komplexen Krankheiten neue Behandlungschancen. Gegen bestimmte Krebsarten etwa werden bereits gentechnologisch veränderte T-Zellen oder Lymphozyten (CAR-T- oder CAR-NK-Zellen) erfolgreich eingesetzt. Allerdings sind die überwiegend manuelle Herstellung und die begleitende Qualitätskontrolle dieser Therapeutika aufwendig und teuer. Das limitiert die Verfügbarkeit innovativer Therapeutika perspektivisch bislang noch stark.

Ein Vorstoß in Richtung Automatisierung wurde nun bei der Qualitätskontrolle erzielt: Eine KI-unterstützte Durchflusszytometrie erkennt mit einer Sicherheit von 98,6 Prozent bereits die unterschiedlichen Lymphozyten-Typen (B-Zellen, CD4- und CD8-positive T-Zellen, Killerzellen) im Blut von zu behandelnden Personen. Im nächsten Schritt wird die Qualitätskontrolle des ATMP Palintra® bzw. Palixizumab® per KI vorangetrieben. Das Zellprodukt dient zur Prävention von Abstoßungsreaktionen bei Stammzelltransplantationen.

Das Vorhaben »AIControl« wird im Fraunhofer-Förderprogramm »KMU akut – Forschung für



Der Mikroroboter ist 3 Millimeter lang und 1,2 Millimeter im Durchmesser. Damit ist er kleiner als ein Reiskorn.

Foto: Anna Bakenecker



den Mittelstand« unterstützt. Es ist Teil eines Konsortiums im Fraunhofer-Innopush-Programm mit dem Ziel einer kostengünstigen, intelligenten Pharmaproduktion. Dafür gilt es, Produktionsprozesse zu modifizieren: flexibel, automatisiert, mit erhöhtem Durchsatz und dennoch niedrigen Kosten unter Einhaltung der hohen Qualitätsstandards. Fraunhofer-Institute bündeln ihr biologisches und medizinisches Know-how sowie die Expertise in Automatisierungstechnologien, um die Produktion von Zell- und Gentherapeutika oder Impfstoffen schneller, sicherer und kostengünstiger zu gestalten.

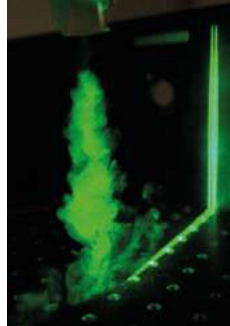
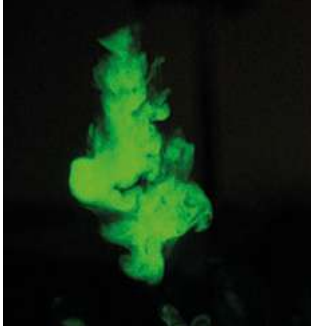
Projektabschluss Hospital 4.0

Im Förderprojekt »Hospital 4.0 – Schlanke, digital-unterstützte Logistikprozesse in Krankenhäusern« wurde untersucht, wie sich Logistik in Krankenhäusern durch technologiebasierte Prozesse optimieren lässt. Im Vordergrund standen die Logistik von Medizinprodukten, Verbrauchsmaterialien und Betten. Zudem wurde ein Weiterbildungsprogramm für Klinikpersonal deutschlandweit aufgesetzt, um die Konzepte und Methoden der Studienergebnisse in der Breite zu vermitteln.

Bei den Referenzprozessen Lagerlogistik und Bettenmanagement konnte eine verbesserte Transparenz, Sicherheit und Effizienz von Logistikprozessen geschaffen werden. Durch die Verschlankeung und Automatisierung gezielter Prozesse gewinnt das Krankenhauspersonal mehr Zeit für die Patientenpflege. Beispielsweise können mit RFID-Technologie relevante Informationen in Echtzeit verfügbar gemacht werden. Dies schafft Transparenz und erlaubt eine schnelle Vernetzung für alle beteiligten Akteure und für Ressourcen – eine erhebliche Erleichterung für das Tagesgeschäft. Gezeigt werden konnte, dass die Integration digitaler Technologien mit einer einhergehenden Qualifikation des Personals die Qualität und Effizienz der Patientenversorgung deutlich steigern und die Pflegekräfte substanziell entlasten. Fläche, Material und Personalkapazitäten können reduziert werden.

Auf Basis einer umfassenden Prozess- und Potenzialanalyse entstand eine Vision der Krankenhauslogistik im Jahr 2030. Referenzmodelle zur Optimierung der Krankenhauslogistik einschließlich eines Lernkonzepts und Werkzeugen zur Digitalisierung wurden in dem Buch »Hospital 4.0 – Schlanke, digital-unterstützte Logistikprozesse in Krankenhäusern« zusammengefasst.

Hospital 4.0 untersucht, wie sich Logistik in Krankenhäusern optimieren lässt.



Für die inhalative Gabe wird das Arzneimittel fein vernebelt (hier mithilfe von grünem Licht sichtbar gemacht) – es kann so direkt an seinen Wirkungsort in die Atemwege und Lunge gelangen.

Foto: Fraunhofer ITEM | Ulrich Froriep

In mehreren Projekten wird das Bauchspeicheldrüsen-Medikament Nafamostat auf seine Wirksamkeit gegen das Coronavirus untersucht.

Beteiligt am Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung waren neben der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT das Universitätsklinikum Augsburg, das Klinikum Bayreuth, die Technische Hochschule Ingolstadt und das auf IT-Lösungen für Krankenhäuser spezialisierte Software-Unternehmen POLAVIS.

Gesucht: Medizin gegen COVID-19

Eine Möglichkeit, im Kampf gegen die Pandemie schneller medizinische Hilfsmittel zu entwickeln, bietet Drug Repurposing: der Einsatz bereits für andere Zwecke zugelassener Therapeutika. Mehrere Fraunhofer-Forschungskonsortien suchen mithilfe der Drug-Repurposing-Wirkstoffbibliothek aus etwa 5600 Substanzen am Discovery Research ScreeningPort, dem Hamburger Standort des Fraunhofer-Instituts für Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP, nach vielversprechenden Wirkstoffen. Ein hochwirksames Therapeutikum für den frühen Einsatz bei COVID-19 wäre trotz verfügbarer Impfungen weiterhin sehr wichtig. Denn neben Impfdurchbrüchen besteht auch das Risiko der Ausbildung weiterer SARS-CoV-2-Varianten, gegen die die verfügbaren Impfstoffe weniger wirksam sein könnten.

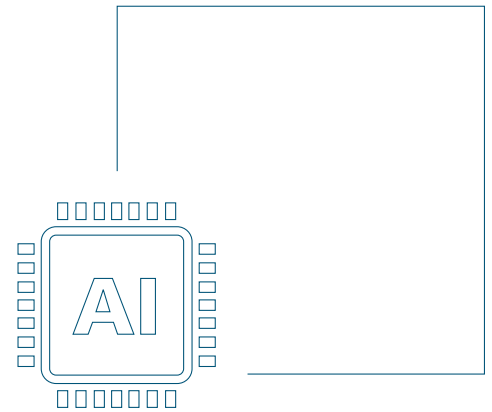
Eine hohe Wirksamkeit beim Schutz vor Zellschädigung durch das Virus SARS-CoV-2 erzielt der Proteaseinhibitor Nafamostat. Der durch Nafamostat beeinflusste Mechanismus

spielt für den Eintritt von SARS-CoV-2 in die Wirtszelle und deshalb insbesondere im frühen Krankheitsverlauf von COVID-19 eine wichtige Rolle. Das seit 1986 in Japan zugelassene synthetische Medikament wird bisher vor allem gegen Entzündungen der Bauchspeicheldrüse und gegen akute Thrombenbildung eingesetzt. Bei der SARS-CoV-2-Infektion hemmt der synthetische Wirkstoff die menschliche Protease TMPRSS-2, welche das Virus für den erfolgreichen Eintritt in die Wirtszelle benötigt.

Ein Konsortium forscht nun daran, Nafamostat in Mikropartikeln oder Liposomen zu verpacken, um das Therapeutikum für die Inhalation oder das gezielte Ansteuern der Atemwege nach einer Injektion zu modifizieren: Denn je näher der Wirkstoff in die Nähe der infizierten Körperstellen gelangt, desto höher die Wirksamkeit und desto geringer die zu verabreichende Menge. Damit sinkt auch das Risiko für Nebenwirkungen. Gleichzeitig entwickelt Fraunhofer einen »smarten« Inhalator, der die Atembewegung für die Freisetzung des Wirkstoffs ausnutzt.

Bei der Suche nach einer Medizin gegen COVID-19 kooperieren Forschungsgruppen von sieben Fraunhofer-Instituten in verschiedenen Vorhaben – weltweit und national – mit der Wissenschaftsgemeinschaft: Im Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung RENACO mit Helmholtz-Instituten, im internationalen Fraunhofer-Förderprojekt iCAIR® und im Fraunhofer-Anti-Corona-Programm bei den Projekten DRECOR und BEAT-COVID.

Künstliche Intelligenz



Energieversorgung mit KI sichern

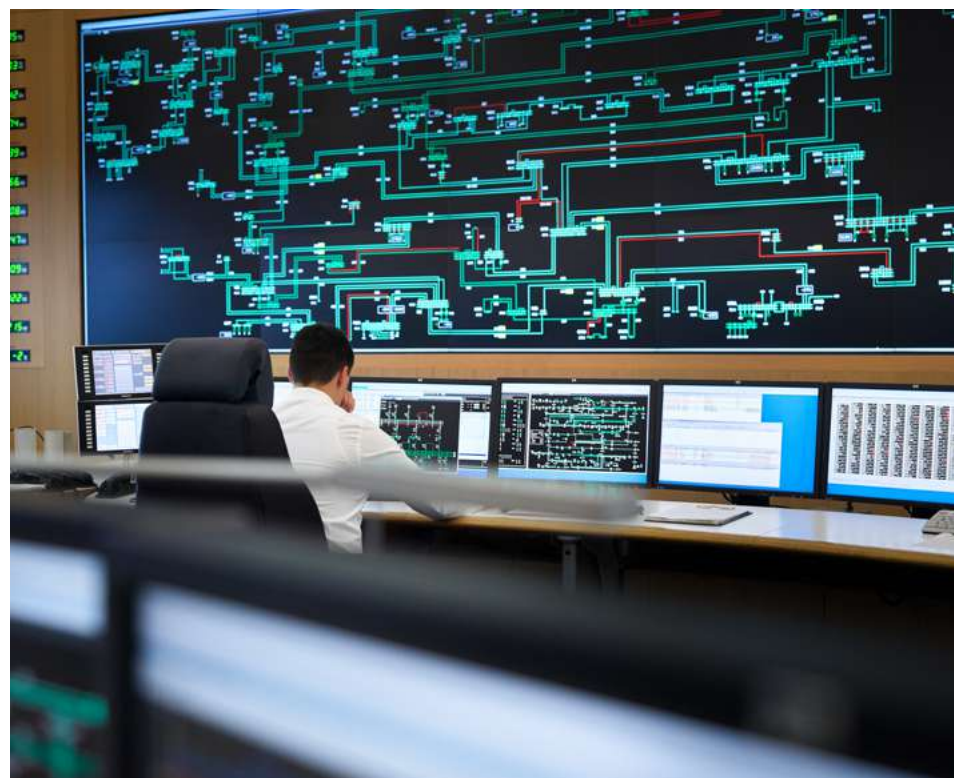
Der Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz macht zusammen mit Instituten der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) die Energieversorgung sicherer und nachhaltiger: Mit Drohnenaufnahmen, KI-Algorithmen und Neuronalen Netzen wird ein kontinuierliches Zustandsmonitoring aufgebaut. Lernende Algorithmen sollen Bildaufnahmen automatisiert auswerten und klassifizieren. Damit können mögliche Defekte an Freileitungen und Strommasten gezielter gefunden, lokalisiert und schneller behoben werden. Bislang wird der Zustand mit Hub-schrauberflügen und Begehungen vor Ort überprüft. 50Hertz und der belgische Netzbetreiber Elia – die beide unter dem Dach der Elia Group zusammenarbeiten – sichern mit 19 000 Kilometer Stromleitungen die Energieversorgung von 30 Millionen Menschen.

50Hertz stellt für den Aufbau einer KI-Datenbank umfangreiches Bildmaterial aus Drohnen- und Helikopterflügen bereit. Außer der FMD-Geschäftsstelle steuern die Fraunhofer-Institute für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM sowie für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI ihre fachliche Expertise bei. Bereits entstanden ist ein web-basiertes Tool für Labeling und Bildverwaltung, ein erster Test für Korrosionsschäden an Masten wurde erfolgreich durchgeführt.

In einem weiteren Projekt mit 50Hertz wird eine Machbarkeitsstudie zu Predictive Maintenance von Anlagen im Umspannwerk durchgeführt. Ziel ist ein vorausschauendes

Monitoring dieser Netzinfrastruktur mithilfe von Machine-Learning- und KI-Methoden zur Anomaliedetektion. Bislang haben Messungen an Notstrombatterien und Schalteinrichtungen sowie Manipulationen zum Hervorrufen von Verschleißszenarien in mehreren Umspannwerken im Netzgebiet von 50Hertz stattgefunden. Die Auswertungen münden in ein Systemkonzept einschließlich Umsetzungsempfehlungen zum Einsatz von Sensorik und KI für die Instandhaltung. Beteiligt sind vier Fraunhofer-Institute und die FMD-Geschäftsstelle.

Intelligentes KI-gestütztes Monitoring kritischer Versorgungsinfrastrukturen bei 50Hertz. Foto: 50Hertz/Jan Pauls





Testphase einer Ampelanlage in Lemgo-Lüttfeld.

Foto: Fraunhofer IOSB

Fraunhofer macht Ampeln intelligent

Um 10 bis 20 Prozent könnte der Verkehrsfluss auf Straßen durch Künstliche Intelligenz (KI) verbessert werden. Damit ließe sich auch der Schadstoff-Ausstoß verringern – um bis zu 30 Prozent. Zu diesem Ergebnis kamen 2021 Erprobungs- und Simulationsphasen in Lemgo mit »intelligenten Ampeln«.

Die neuartigen Lichtsignalanlagen sammeln nicht nur Informationen über das aktuelle Verkehrsaufkommen mit Radartechnologie, Kameras oder Sensoren wie bisherige moderne Ampeln. Sie nutzen zudem die Technologie des bestärkenden Lernens (»reinforcement learning«). Dabei lernt der Algorithmus durch viele tausend Wiederholungen, welche Phasenfolge einer Ampel in einer Simulation des Kreuzungsverkehrs zum optimalen Verkehrsfluss führt. Anders als bisherige Ampelanlagen kann KI Regelmäßigkeiten erkennen und Schlüsse für kommende Verkehrslagen ziehen. Auch Einsatzfahrten von Rettungsfahrzeugen könnten durch diese neue Technologie optimiert werden.

Die Testphasen in Lemgo wurden vom Hersteller für Verkehrstechnik Stührenberg und einem Team des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB am Institutsteil für industrielle Automation in Lemgo durchgeführt. Im Herbst 2021 starteten zudem Untersuchungen zur Lenkung von Fußgängerströmen durch Ampeln.

Neben Lemgo stellen derzeit auch Städte wie Köln oder Wuppertal auf ein adaptives, umweltsensitives Echtzeit-Verkehrsmanagement um. Das Forschungsvorhaben des Lemgoer Institutsteils des Fraunhofer IOSB birgt jedoch eine Neuerung in der Verkehrstechnik: Die Erprobung eines Reinforcement-Learning-Agenten für eine Ampelsteuerung unter realen Bedingungen ist neu in der gegenwärtigen Forschungslandschaft.

In den Wintermonaten 2021/22 konnte der Realbetrieb aufgenommen werden. Dazu wurde die Testampel mit einem zusätzlichen Schaltkasten aufgerüstet. Er enthält eine WLAN-Verbindung zwischen Sensoren und dem ebenfalls installierten Edge Computer. Auf diesem laufen die Optimierungs-Algorithmen der Ampelsteuerung.

Angriff und Verteidigung von KI-Algorithmen

Unter dem Motto »KI made in Germany« arbeiten Forschungsgruppen am Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC daran, dass Künstliche Intelligenz (KI) sicher in der Wirtschaft angewendet werden kann und Anwendungen durch KI abgesichert werden. Ein wichtiges Forschungsgebiet sind »Adversarial Attacks« genannte Angriffe. Hier decken die Forscher und Forscherinnen Lücken in der KI auf und entwickeln Lösungen, um Angriffe frühzeitig zu erkennen sowie abzuwehren.

Dem Forschungsteam gelang es, ein gängiges Objekterkennungssystem dahingehend zu überlisten, dass es ein Fraunhofer-Logo, ausgedruckt über gängige PC-Hardware, beispielsweise als Auto »erkennt«. Solche »Creation Attacks« decken die Grenzen von KI und ihrer Einsatzfähigkeit auf – insbesondere bei kritischen Infrastrukturen und Verkehrssituationen. Die Täuschung basiert auf präparierten Bild- oder Audiodateien, die KI-Algorithmen zu Fehlinterpretation verleiten. Bisher gelangen solche Angriffe nur, wenn die manipulierte Datei direkt an den Computer übergeben wurde. Ein neuer Typ von Angriffen (»Physical Adversarial Attacks«) erlaubt nun sogar Angriffe in der realen, physischen Welt. Dafür verfeinerte das Forschungsteam die Angriffe, sodass diese nun aus der Ferne funktionieren, also auch über die Bilder einer Kamera. Mittels gradientenbasierter Verfahren wurde nachvollzogen, wie die Eingabe angepasst werden muss, um das zugrunde liegende Neuronale Netz zu täuschen: So kann ein Bild erzeugt werden, das die Erwartungen der KI über das Zielobjekt voll erfüllt – obwohl physisch gar kein solches Objekt vorhanden ist.

Darauf aufbauend arbeitet das Forschungsteam an entsprechenden Erkennungssystemen zur Abwehr dieser neuen Art von Überlistungsangriffen. In verschiedenen Projekten haben sie bereits Möglichkeiten entwickelt, um die Sicherheit von Neuronalen Netzen mess- und somit künftig zertifizierbar zu machen.

Ein intelligentes Hearable für den Industriearbeitsplatz

An vielen industriellen Arbeitsplätzen herrscht ein erhöhter Geräuschpegel, was die Kommunikation vor Ort erschwert. Ein kleines Hearable im Ohr kann dieses Problem lösen: Das Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT vereint an seinem Standort Oldenburg einige seiner Technologieentwicklungen auf einer KI-gestützten Plattform. Integriert in einen kleinen »Knopf im Ohr« kann eine bessere Verständlichkeit, Sprachsteuerung und -dokumentation bis hin zu einem akustischen Monitoring für die Qualitätskontrolle ermöglicht werden.

Mikrofone am und im Ohr sichern eine optimale Aufnahme von Audio- und Sprachsignalen. Durch eine anschließende Signalverarbeitung mittels Verfahren des Maschinellen Lernens werden Hintergrundgeräusche intelligent abgeschwächt und Sprache wird hervorgehoben. Das ermöglicht nicht nur einen natürlichen Sprachaustausch mit Menschen, sondern auch mit Maschinen. Denn in Verbindung mit den robusten Spracherkennungslösungen des Oldenburger Institutsteils Hör-, Sprach- und Audiotechnologie lässt sich u. a. auch eine Sprachsteuerung von Anlagen am Lärm Arbeitsplatz umsetzen.

Auch eine freihändige, verbale Dokumentation von Prozessen wird so ermöglicht. Bei lauten Szenarien zeigen insbesondere die innen liegenden Mikrofone mit einer Sprachaufzeichnung direkt im Ohrkanal großes Potenzial, da Außengeräusche effektiv abgeschirmt werden und die Sprache durch die Fraunhofer-Algorithmen dennoch gut verständlich bleibt.

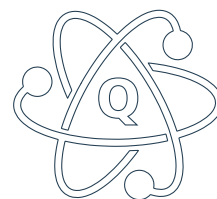
Verschiedene Funktionen des Hearables lassen sich kundenindividuell je nach Einsatzbereich kombinieren: Eingebunden werden kann etwa ein akustisches Monitoring von Maschinen und Prozessen zur Qualitätssicherung. Die Funktionen benötigen keine Cloud-Anbindung und können in bestehende Systeme integriert werden. Damit wird hohen Anforderungen an Datenschutz und -sicherheit Rechnung getragen.



Ein kleines Hearable für verständliche Kommunikation, Sprachsteuerung und -dokumentation sowie ein akustisches Qualitätsmonitoring.

Foto: Fraunhofer IDMT

Quantentechnologien



Erste quantengesicherte Verbindung zwischen Bundesbehörden realisiert

Im August gelang ein Meilenstein der Quantentechnologieforschung: Im Rahmen einer Pressekonferenz wurde erstmals öffentlich in Bonn eine quantengesicherte Video-Schleife zwischen dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) durchgeführt.

Abhörsichere Datenübertragung ist Teil der BMBF-geförderten Initiative QuNET. Darin entwickeln die Fraunhofer- und die Max-Planck-Gesellschaft sowie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Technologien für ein Pilotnetz zur Quantenkommunikation in Deutschland. Die Projektpartner untersuchen dafür die Gesamtarchitektur für Systeme zur quantensicheren

Kommunikation sowie die Möglichkeiten zum Austausch von Quantenschlüsseln über lange, mittlere sowie kurze Distanzen mittels Freistrahl- und Fasersystemen. Dafür verbinden die Forschungsteams neuartige Methoden mit etablierten Verfahren der klassischen Kryptographie. Sie achten dabei auch auf deren Integration in bestehende Infrastrukturen der Kommunikationsnetze. Für den Transport der Quantenzustände über weite, landesübergreifende Strecken wird mit Flugzeugen und satellitenkompatiblen Technologien an optischen Freistrahlssystemen geforscht.

Auf Freistrahl- und Fasersysteme für die quantenbasierte Kommunikation auf mittleren und kurzen Distanzen fokussieren sich Fraunhofer-Forschende. Hier geht es um die Ankopplung von Quantentechnologie an Glasfaserinfrastrukturen, um Quantenlichtquellen sowie um Teleskope, mit denen sich kurzfristige und mobile Verbindungen realisieren lassen.

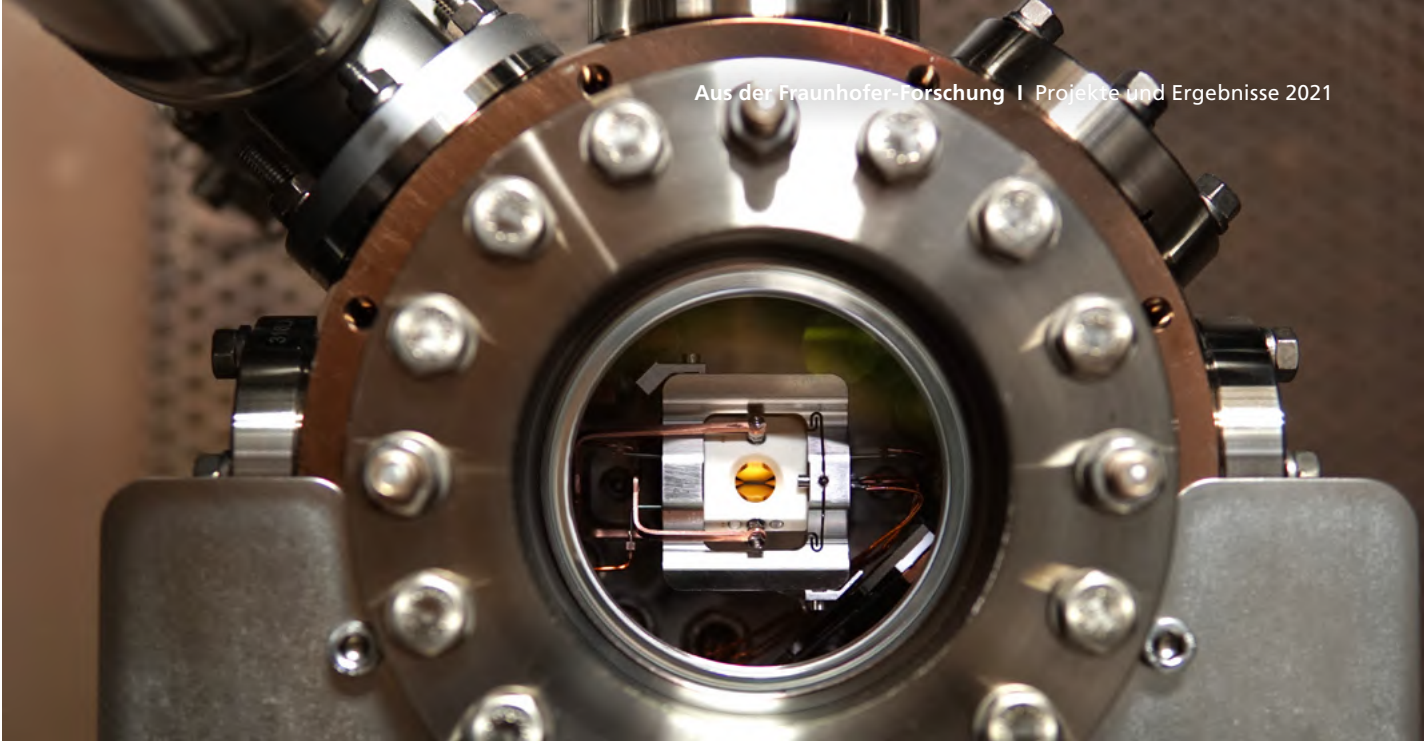
Quantenkommunikation ist eine der entscheidenden Schlüsseltechnologien für abhörsichere Netze und die Bedrohungen in der IT-Sicherheit. Sicherheit und Souveränität im Netz wiederum sind Voraussetzungen für eine stabile Demokratie.

Projektpartner sind das Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts (MPL), das Institut für Kommunikation und Navigation (IKN) des DLR und die Fraunhofer-Institute für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF sowie für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI.

Die ehemalige Bundesforschungsministerin Anja Karliczek startet die erste quantengesicherte Verbindung zwischen zwei Bundesbehörden in Deutschland.

Foto: BMBF/Hans-Joachim Rickel





Adressieroptik für Ionenfallen-Quantencomputer

Physiker der Universität Innsbruck bauten einen Demonstrator für einen industriellen Ionenfallen-Quantencomputer: Auf einem minimalem Raumbedarf von zwei 19-Zoll-SerVERRACKS gelang es ihnen, 24 Calcium-Ionen in einer Vakuumkammer individuell zu kontrollieren und zu verschränken (Ca+). Um die Ionen als Qubits zu manipulieren, entwickelte das Fraunhofer-Institut für Optik und Feinmechanik IOF eine Laser-Adressieroptik.

Zur Präparation der Quantenzustände und zur Bewerkstelligung der Rechenoperationen auf dem Quantenregister setzt das Forschungsteam Laserlicht verschiedener Wellenlängen ein. Unter anderem werden Einzel-Ionen mit einem Adressierstrahl beleuchtet, diese Adressierung erfolgt im (Sub-)Mikrometerbereich. Das Fraunhofer-Forschungsteam entwickelte eine optomechanische Einheit, bei der Piezosteller Mikroprismen bewegen. Damit wird aus einer starren Anordnung von eingangsseitigen Fasern eine dynamisch regelbare Anordnung von Laserquellen. Für eine integrierbare, kompakte Optik musste der optische Weg mehrfach gefaltet werden. Dafür wurde ein Parabolspiegel mit optimaler Brennweite am Fraunhofer IOF gefertigt und das Funktionsprinzip der gesamten Strahlführungsoptik zum Patent angemeldet. Das Rechenergebnis des Quantencomputers wird anhand des Zustands der Ionen, die in der Falle als lineare Kette angeordnet sind, »ausgelesen«. Der Zustand des Ions zum Zeitpunkt der Messung ergibt sich aus dem Fluoreszenzsignal des Ions.

Für die Ionenfalle kooperierten die Forschenden des Fraunhofer IOF mit den Laserspezialisten der TOPTICA Photonics und den Quantenexpertinnen und -experten des Spin-offs Alpine Quantum Technologies (AQT). Mit diesem Spin-off der Universität Innsbruck und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften soll ein kommerzieller Quantencomputer für Europa gebaut werden.

Der skalierbare Quantencomputer in Innsbruck entstand im Rahmen des Projekts »Advanced quantum computing with trapped ions« (AQTION) als Teil der EU-Initiative Quantum Flagship.

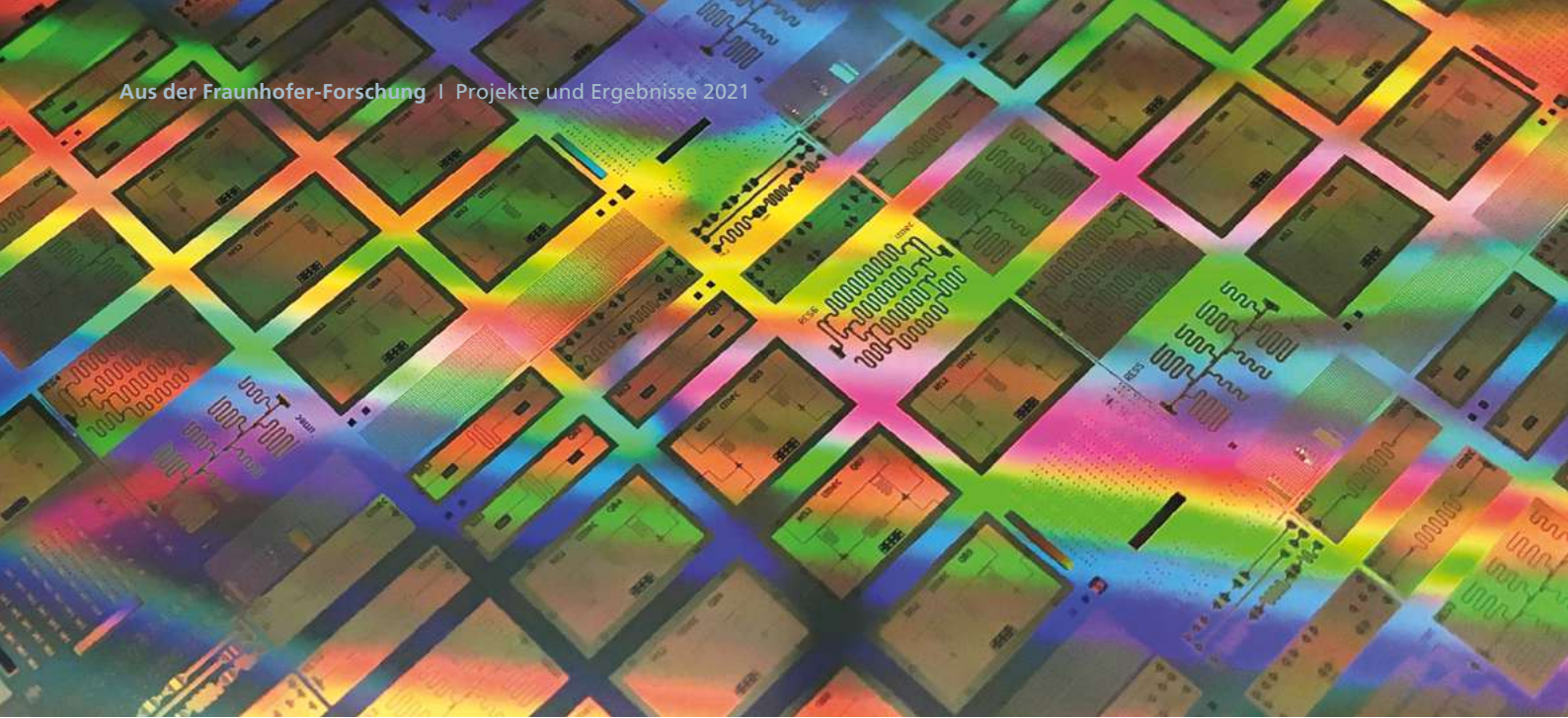
Silizium-Qubits für die Halbleiterindustrie

Die Entwicklung hochskalierbarer Quantenprozessoren in Silizium ist Ziel des EU-Vorhabens »Quantum Large-Scale Integration with Silicon – QLSI«. Siliziumbasierte Spin-Qubits können mit etablierten Verfahren und der Infrastruktur aus der Halbleiterindustrie hergestellt werden und sind kompatibler mit bereits bestehender Technik. Dadurch kann dieser Ansatz womöglich schneller skaliert und nutzbar gemacht werden. QLSI ist Teil des EU Quantum Flagship. Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für Photonische Mikrosysteme IPMS und für Angewandte Festkörperphysik IAF.

Seit Februar 2021 arbeitet ein europäisches Konsortium aus Industrie, Wissenschaft und Quanten-Start-ups daran, halbleiterbasierte Quantenprozessoren für den Industrieinsatz

Das Herzstück des Quantencomputers aus dem EU-Projekt AQTION: die Ionenfalle in der Vakuumkammer.

Foto: Universität Innsbruck



Testchip mit supraleitenden Qubits auf Basis von 300-mm-Wafertechnologie.

Foto: IMEC

in Europa zu entwickeln. Sie setzen dafür auf Spin-Qubits als Grundlage der Quanteninformationsverarbeitung. Insbesondere Silizium-Qubits lassen sich effizient ansteuern und auslesen. Wegen ihrer kompakten Anordnung, ihrer hohen Güte und ihrer Kompatibilität mit industriellen Herstellungsprozessen erscheinen sie für eine schnelle Umsetzung zum industriellen Quantencomputing besonders geeignet.

Das Fraunhofer IPMS bringt mit dem Center Nanoelectronic Technologies seine Expertise in hochmoderner, industriekompatibler CMOS-Halbleiterfertigung auf dem 300-mm-Wafer-Standard ein. Nanostrukturierung, Materialentwicklung und elektrische Ansteuerungen werden hierbei ganz besonders relevant sein.

In enger Zusammenarbeit mit Infineon Dresden, der RWTH Aachen University und dem Forschungszentrum Jülich sollen erste Qubit-Demonstratoren auf Waferlevel realisiert werden. Das Fraunhofer IAF wird sich mit der Charakterisierung von Qubits bei tiefen Temperaturen beschäftigen. Dabei kommt die umfangreiche Infrastruktur des Instituts zur Charakterisierung von kryogenen Bauelementen zum Einsatz, um die Variabilitätsaspekte zwischen einzelnen Qubits zu analysieren und für die spätere industrielle Produktion zu verstehen.

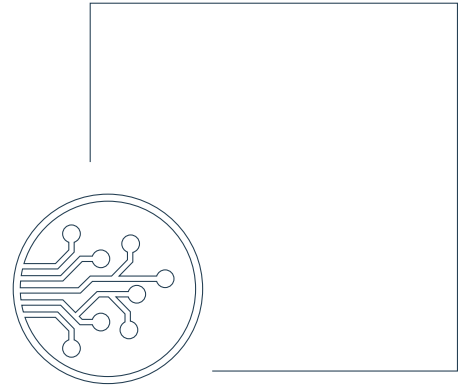
Bis zum Ende der Laufzeit 2025 wollen die 19 Partner unter Leitung des französischen Forschungsinstituts CEA-Leti eine wettbewerbsfähige Industrie für Quantentechnologien in Europa etablieren.

Prozessor mit supraleitenden Qubits

Auf das Prinzip der supraleitenden Qubits setzt das Verbundprojekt »German Quantum Computer based on Superconducting Qubits – GeQCoS«. Das Konsortium um das Walther-Meißner-Institut der Bayerischen Akademie der Wissenschaften will einen Quantenprozessorprototyp demonstrieren, der über eine besonders hohe Fidelität verfügt. Grundlegend verbesserte Bauelemente sollen die Qubits besser gegen äußere Störeinflüsse abschirmen und so die Stabilität der Quanteneigenschaften über einen langen Zeitraum gewährleisten. Der Schulterschluss zwischen Hardware und Software bildet einen weiteren Schwerpunkt: Entwickelt werden Algorithmen, die ideal auf die Art der Qubits und der Operationen sowie den vorhandenen Verbindungen zwischen den Qubits abgestimmt sind.

Infineon wird skalierbare Fabrikationsprozesse entwickeln, während das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF Chipgehäuse optimiert, um die hochsensitiven Quantenschaltkreise optimal anzusteuern und gleichzeitig von der Umgebung abzuschirmen. Das Fraunhofer IAF bringt zudem seine Expertise in der Aufbau- und Verbindungstechnik ein, um mit den Qubits bei tiefen Temperaturen operieren und diese skalieren zu können. Im Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sind zudem das Karlsruhe Institute of Technology (KIT), die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und das Forschungszentrum Jülich beteiligt.

Next Generation Computing



Energieeffiziente KI-Chips zur Erkennung von Vorhofflimmern

Damit Künstliche Intelligenz (KI) im Alltag breite Anwendung findet, muss der Energieverbrauch gesenkt werden. Deshalb rief das Bundesforschungsministerium zum Pilotinnovationswettbewerb »Energieeffizientes KI-System« auf. Als Aufgabe war ein KI-Chip einschließlich Software zu entwickeln, der mit hoher Genauigkeit Vorhofflimmern erkennt und in Echtzeit klassifiziert – und dies bei möglichst niedrigem Energieverbrauch. Unter den vier Siegern waren zwei Forschungsgruppen mit Fraunhofer-Beteiligung.

In der Kategorie FPGA (Field Programmable Gate Arrays) errang das Team um Dr. Jens Krüger vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM und um Prof. Dr.-Ing. Norbert Wehn von der Technischen Universität Kaiserslautern den ersten Platz. FPGAs sind flexibel konfigurierbare Chips zur Abbildung Neuronaler Netze, mit denen eine Vielzahl von Schaltungen realisiert und die bestmögliche Ausführung eines optimalen Algorithmus erzielt werden kann. Das FPGA lässt sich beliebig oft neu programmieren und unterstützt die Suche nach dem optimalen Neuronalen Netz. Identifiziert wurde dies mithilfe von automatisiertem neuronalen Lernen. Ein holistischer Ansatz stellte sicher, dass neben dem Neuronalen Netz auch die Hardware betrachtet wird.

Ebenfalls einen ersten Platz errang eine Forschungsgruppe um Dr. Marco Breiling vom

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS und um Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey sowie Dr. Marc Reichenbach von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg in der Kategorie ASIC 130 (anwendungsspezifische integrierte Schaltkreise mit 130-Nanometer-Technologie). Hier setzte die Gruppe auf Deep Learning und entwickelte ein Neuronales Netz mit sehr kompakten Datentypen (ternär, d. h. nur mit Gewichtswerten +1, 0, -1) und dadurch deutlich höherer Effizienz. Eine Energieeinsparung von bis zu 95 Prozent gelang, indem die Verarbeitungszeit auf wenige Millisekunden reduziert und der KI-Teil während der meisten Zeit der Signalerfassung »schlafen« gelegt wird. Auch eine spezielle datenflussorientierte Chiparchitektur trägt zur Energieeffizienz bei, zudem erlaubte die Automatisierung des Entwurfsprozesses schnelle Turn-Around-Zyklen.

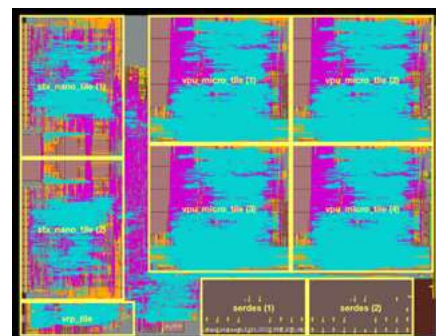
Die Siegerteams entwickeln derzeit ihre Konzepte mit Unterstützung des Bundesforschungsministeriums zusammen mit industriellen Konsortien weiter.

Erste RISC-V-Chips für künftige EU-Hochleistungsrechner laufen

Die gängigen »Hello World«-Grüße wurden versendet, meldete die »European Processor Initiative (EPI)« im September 2021: Die auf Basis der offenen Befehlssatzarchitektur RISC-V entwickelten Beschleunigerchips namens EPAC haben ihren Erstbetrieb aufgenommen. Diese neuartigen Mikroprozessoren

Layout des EPAC-Chips mit Beschleunigern in Globalfoundries 22FDX-Technologie.

Foto: Fraunhofer IIS



und Beschleuniger sind Kernkomponenten des ersten energieeffizienten europäischen Hochleistungsrechners, den die EPI-Initiative 2024 fertigstellen will. Dies soll vor allem die Wettbewerbsfähigkeit von Wirtschaft und Wissenschaft in Europa stärken. Zunächst adressiert das Forschungskonsortium die europäischen Hochleistungsrechenzentren sowie Industrie und Autohersteller. Denn beispielsweise benötigen autonomes Fahren und verknüpfte Mobilität immer mehr Rechenleistung und höhere Sicherheit – bei gleichzeitig geringerem Energieverbrauch.

Eine der Kernkomponenten sind Hardware-Beschleuniger (Acceleratoren), die auf spezifische Applikationen spezialisiert sind. Sie liefern deutlich höhere Recheneffizienz als Mehrzweck- oder Graphikprozessoren (GPUs). Ihre Architektur, das Hardware-Design, Compiler und Software beruhen auf europäischem Know-how, an dem Fraunhofer maßgeblich beteiligt ist. Diese Chips bauen auf den RISC-V-Prozessorarchitekturen auf, deren Befehlssatzarchitektur nicht patentiert und damit frei verfügbar ist.

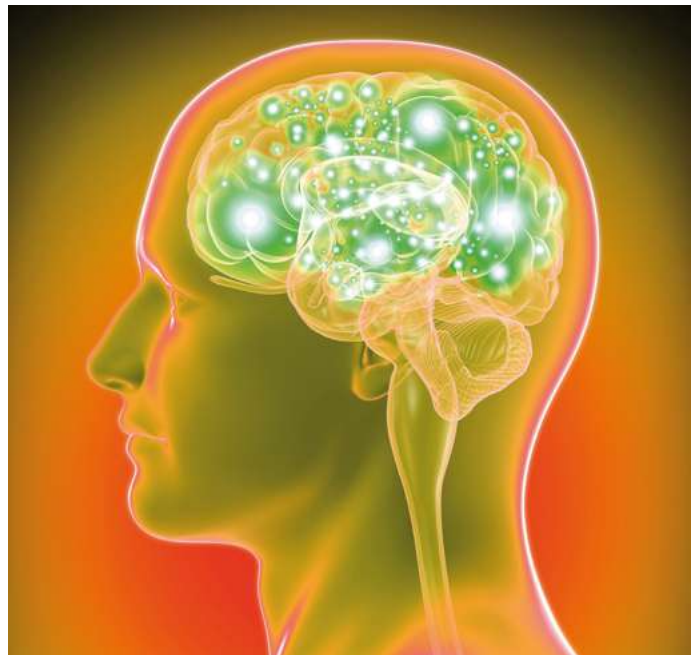
Im Sommer 2021 wurden die ersten 140 dieser neuartigen EPAC-Beschleunigerchips mit der 22-Nanometer-Technologie von Globalfoundries in Dresden gefertigt. Der Chip verfügt über mehrere unterschiedliche Beschleunigereinheiten. Zwei der vier verbauten Beschleunigereinheiten stammen von den Fraunhofer-Instituten für Integrierte Schaltungen IIS und für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM sowie von der ETH Zürich. Die Integration der Einzelkomponenten auf den Chip erfolgte durch das Fraunhofer IIS. Nach den Tests der ersten EPAC-Chips soll in der Weiterentwicklung mit einem Chiplet-Ansatz eine noch höhere Rechenleistung sowie eine geringere Energieaufnahme erreicht werden.

Die EPI-Initiative, Teil des EU-Rahmenprogramms Horizon 2020, vereint 28 Partner aus zehn EU-Staaten.

Fertigung von Qubits: Stabil und skalierbar

Das zentrale Hardware-Element von festkörperbasierten Quantencomputern sind Qubits. Um diese industriell nutzen zu können, müssen sie stabil und skalierbar gefertigt werden können. Dafür startete Mitte 2021 das EU-Projekt »Materials für Quantum Computing – MATQu«. Die beiden Fraunhofer-Institute für Photonische Mikrosysteme IPMS und für Angewandte Festkörperphysik IAF bringen ihre Expertise in der 300-mm-Fertigung und in der Tieftemperaturmesstechnik ein.

Für die Herstellung stabiler Josephson-Kontakte, der gängigsten Realisierung supraleitender Qubits, kann bereits auf etablierte Produktionsprozesse zurückgegriffen werden. Die Leistungsfähigkeit der so produzierten Qubits hängt jedoch



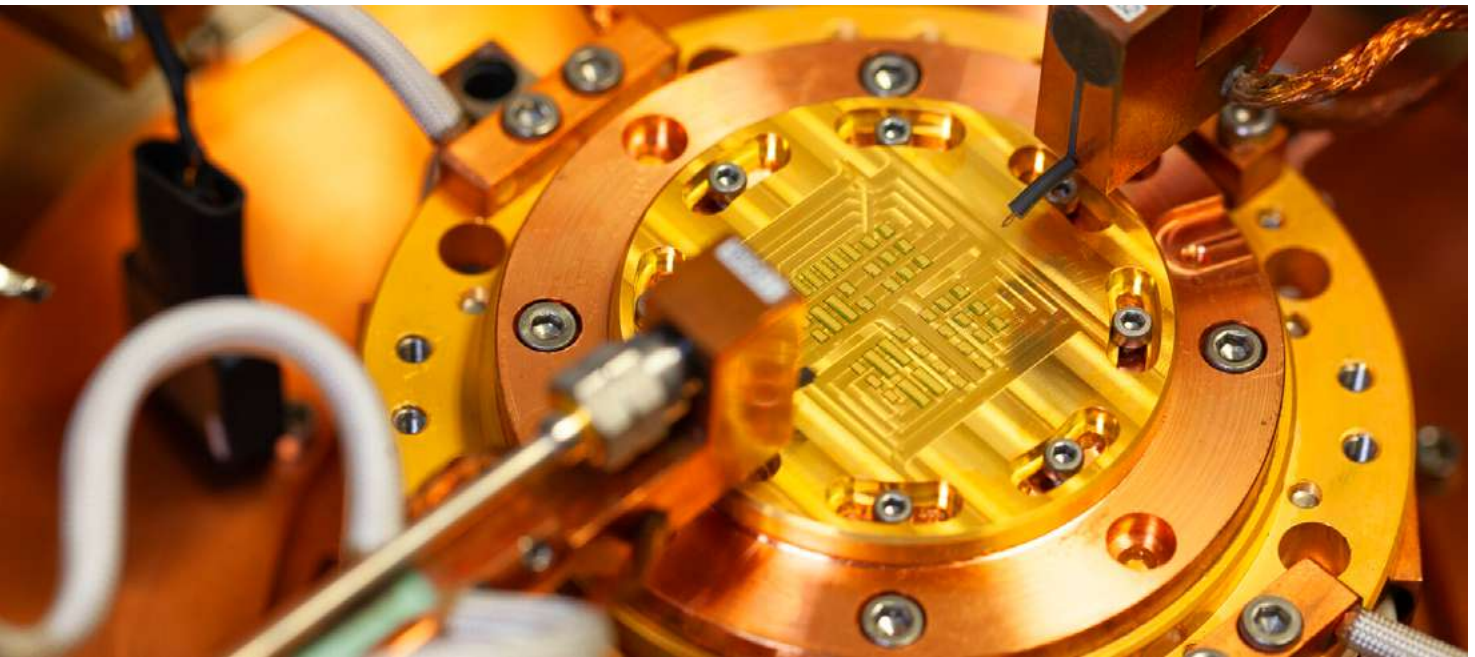
entscheidend von der Qualität der verwendeten Substrate und Materialien sowie von der Reproduzierbarkeit der Herstellungsprozesse ab. Ein verbessertes »Tunen« der Qubits und geringere Variabilitäten zwischen ihnen sind auch Voraussetzungen, um die derzeitigen Skalierungsgrenzen in der Qubit-Anzahl heutiger Quantencomputer nach oben zu verschieben.

Das Fraunhofer IPMS bringt seine Expertise in der 300-mm-Fertigung ein, die bereits als Industriestandard für CMOS-Computing-Plattformen dient, sowie die umfassenden Kenntnisse in der Abscheidung, Strukturierung und der Integration von supraleitenden Schichten. Das Fraunhofer IAF steuert seine Geräte und Kenntnisse zur Tieftemperaturmesstechnik bei, insbesondere, um die Variabilität von supraleitenden Schichten zu untersuchen.

Das Projekt wird von der gemeinsamen Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbands Mikroelektronik und der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) sowie dem Fraunhofer IAF in einem Konsortium mit insgesamt 18 EU-Partnern koordiniert. Es erhält eine Förderung durch das ECSEL-Programm Joint Undertaking (JU) der EU im Rahmen von Horizon 2020.

Automatisiertes Fahren: Energieeffizient und datensicher

Die aktuellen Steuergeräte für das autonome Fahren benötigen zurzeit bis zu 500 Watt. Das Gehirn eines Autofahrers verbraucht allerdings nur 20 Watt. Um eine ähnlich effiziente Datenverarbeitung zu erreichen, erforscht und entwickelt ein Fraunhofer-Konsortium eine Rechenplattform mit



neuromorphen Prozessoren, welche sich an der Arbeitsweise des Gehirns orientieren. Adressiert werden aktuelle Fragestellungen: Wie können Rechenprozesse zukünftig äußerst energieeffizient in Sensornähe bewerkstelligt werden? Wie kann Maschinelles Lernen auf verteilten föderierten Systemen stattfinden?

Die neuromorphen Beschleuniger, die im Projektabschnitt SEC-Learn FLY geschaffen werden, sollen eine um eine Größenordnung geringere Leistungsaufnahme als klassische von-Neumann-basierte Computerarchitekturen haben und für KI-Algorithmen optimiert werden. Ein Spiking Neural Network wird eine energieeffiziente Sensorsignalverarbeitung auf Edge Devices ermöglichen. Das Maschinelle Lernen soll dann verteilt über viele Edge Devices stattfinden, ohne dass Unmengen an Trainingsdaten in die zentrale Cloud gesendet werden müssen. Auf diese Weise können sensible Daten in den lokalen Systemen verbleiben und der Datenschutz wird gewährleistet. Für die erforderlichen neuromorphen Bauelemente (Memristoren) bestehen bereits einige Fraunhofer-Patente.

Ziel des Gesamtvorhabens SEC-Learn ist es, bis zum Jahr 2024 eine neue Rechnerarchitektur für Edge Cloud Computing über die gesamte Wertschöpfungskette zu entwickeln – angefangen von neuromorphen Bauelementen über die Beschleuniger-Hardware und die Algorithmen zum verteilten Training bis hin zur Cloud. Als Anwendungsfälle konzentriert sich das Konsortium auf Spracherkennung sowie autonomes Fahren. Am Projektabschnitt SEC-Learn FLY sind elf Institute der Fraunhofer-Verbünde IUK-Technologie und Mikroelektronik sowie die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) beteiligt, es wird aus dem Konjunkturprogramm der Bundesregierung gefördert.

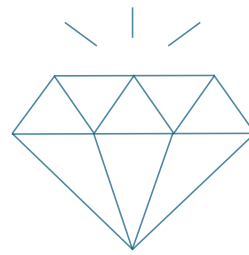
links: Neuromorphe Prozessoren arbeiten nach dem Vorbild des menschlichen Gehirns.

rechts: Ein Blick ins Innere eines Kryo-on-Wafer-Messplatzes, der Charakterisierungen von Wafern bei extrem niedrigen Temperaturen ermöglicht.

Foto: Fraunhofer IAF

Auszeichnungen 2021





Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Fraunhofer zeigen Forschungsleistungen mit exzellenter Qualität. Sie tragen dazu bei, dass Fraunhofer einen Spitzenplatz in der Forschung in Europa einnimmt. Für ihre herausragenden Leistungen erhalten sie jedes Jahr hoch angesehene nationale und internationale Auszeichnungen.

Fraunhofer- Forschungs- preise

Joseph-von-Fraunhofer-Preis

Seit 1978 verleiht die Fraunhofer-Gesellschaft jährlich Preise für herausragende wissenschaftliche Leistungen ihrer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die anwendungsnahe Probleme lösen.

Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt«

Der Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt« wird alle zwei Jahre für Forschungs- und Entwicklungsleistungen vergeben, die maßgeblich dazu beitragen, die Lebensqualität der Menschen zu verbessern, deren Leistungsfähigkeit im täglichen Leben und bis ins Alter zu erhalten sowie für eine gesündere Umwelt zu sorgen. Er wird gemeinsam von der Fraunhofer-Gesellschaft, ihrer Exzellenzstiftung und ehemaligen Vorstandsmitgliedern und Institutsleitungen vergeben.

Hugo-Geiger-Preis

Mit dem Hugo-Geiger-Preis zeichnet das Bayerische Wirtschaftsministerium drei hervorragende Promotionsarbeiten aus. Kriterien der Beurteilung sind: wissenschaftliche Qualität, wirtschaftliche Relevanz, Neuartigkeit und Interdisziplinarität der Ansätze. Benannt ist der Preis nach dem Staatssekretär Hugo Geiger, der als Schirmherr der Gründungsversammlung der Fraunhofer-Gesellschaft am 26. März 1949 fungierte.

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2021

Mikrochips:

Kleiner, leistungsfähiger, konkurrenzlos

Elektronische Mikrochips wie in Smartphones sollen immer kleiner, schneller und leistungsfähiger werden. Mit bisherigen Fertigungstechnologien lassen sich jedoch nur Chipstrukturen von etwa zehn Nanometern realisieren.

Das Forschungsteam um Michael Kampmann und Martin Witt vom Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT sowie Dr. Jacqueline Atanelov von der IMS Nanofabrication GmbH entwickelte ein neuartiges Mikrosystem-Schaltelement für einen Elektronen-Multistrahler-Maskenschreiber. Dieses ermöglicht es, in der seriellen EUV-Lithographie Strukturen von unter zehn Nanometern zu realisieren – und damit Halbleiter-Chips von sieben und fünf Nanometern zu produzieren. Statt wie bisher die Masken bei der Lithographie mit einem einzigen Strahl zu beschreiben, verwendet das neue Verfahren über 262 000 Strahlen. Die Elektronenstrahlen fließen quasi wie durch eine Membran, jedoch nicht parallel wie Wasserstrahlen aus einem Duschkopf, sondern über spezielle Steuerelektroden einzeln ansteuerbar. Das Verfahren ist bisher konkurrenzlos – und es ist unverzichtbar, will man die heute kleinsten erreichbaren Strukturen auf Mikrochips schreiben. Derzeit erzielt IMS mit den Geräten einen Jahresumsatz von 400 Millionen US-Dollar.

Die Jury begründet die Preisvergabe des Joseph-von-Fraunhofer-Preises u. a. damit, dass »die IMS Nanofabrication GmbH mit dieser Entwicklung ihre marktführende Stellung erreichen konnte«.



*Dr. Jacqueline Atanelov, Michael Kampmann
und Martin Witt (v. l.).*

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2021

Internet der Dinge: Effiziente und robuste Vernetzung

Der Vernetzung von Objekten im Internet der Dinge, kurz IoT, kommt immer größere Bedeutung zu. Schon heute steigt der Bedarf an verbundenen IoT-Geräten – vom Konsumentenbereich bis zur Industrie 4.0 – rasant und nimmt immer weiter an Fahrt auf. Wichtig sind vor allem einfache, batteriebetriebene oder energieautark versorgte Sensorknoten, die über mehrere Kilometer hinweg kommunizieren. Dabei geht es meist um kleine bis sehr kleine Datenmengen, die nur gelegentlich übertragen werden müssen. Bislang fehlte allerdings eine geeignete, zuverlässige Kommunikation, mit der sich viele Tausend Datenpakete zur gleichen Zeit übertragen lassen.

Ein Forscherteam rund um Prof. (Univ. Navarra) Michael Schlicht, Josef Bernhard und Dr. Gerd Kilian aus dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS hat mit mioty® eine völlig neue standardisierte Lösung entwickelt: Das System überträgt die Daten von mehreren Tausend bis zu hunderttausend Sensorknoten pro Quadratkilometer – also bis zu 1,5 Millionen Datenpakete pro Tag – verlustfrei an eine einzige Sammelstelle: in Stadt- und Industrieumgebungen und auch in Gegenden ohne Mobilfunkabdeckung. Die Funksensoren und das mioty®-Protokoll sind dabei so energieeffizient, dass die Batterien bis zu 20 Jahre durchhalten.

Die Jury begründet die Vergabe des Joseph-von-Fraunhofer-Preises u. a. mit »der Zuverlässigkeit der Datenübertragung, der Reichweite, der Skalierbarkeit, sowie der Energieeffizienz«.



Dr. Gerd Kilian, Prof. (Univ. Navarra) Michael Schlicht und Josef Bernhard (v. l.).

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2021

Redox-Flow-Batterien: Schritt in Richtung Massenmarkt

Energiespeicher sind eine Schlüsseltechnologie für die Energiewende. Besonders vielversprechend sind Redox-Flow-Batterien: Sie sind zyklenstabil, nicht brennbar, recycelbar, skalierbar und frei von kritischen Materialien. Allerdings waren sie bislang zu teuer für den Massenmarkt.

Prof. Dr.-Ing. Christian Doetsch, Lukas Kopietz und Dr. Thorsten Seipp haben am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT nun das »Herz« einer Redox-Flow-Batterie – den Stack – vollständig re-designed, um dieses und weitere Probleme zu lösen. Möglich wurde dies durch ein neuartiges, massenproduktionstaugliches Herstellungsverfahren für Bipolarplatten, der Kernkomponente des Stacks: In einem Pulver-zu-Rolle-Verfahren entsteht aus einem Pulvergemisch von zermahlenem Kunststoff und Graphit eine sehr dünne »Endlos-Platte«, die flexible, thermoplastisch verschweißbare Biopolarplatten bis zu mehreren Quadratmetern ermöglicht. Das Ergebnis: Der neue Stack benötigt weniger Material, ist deshalb 80 Prozent leichter, benötigt keine Dichtflächen mehr, sodass der damit verbundene Montageaufwand entfällt, und ist im Ergebnis daher deutlich kostengünstiger als herkömmliche Modelle. Um das neue Produkt in den Markt einzuführen, wurde das Spin-off Volterion gegründet.

Die Jury begründet die Vergabe des Joseph-von-Fraunhofer-Preises u. a. mit »dem erfolgreichen Exit von Fraunhofer, der prototypisch den Weg der Vermarktung von neuen Fertigungstechnologien zeigt«.



Lukas Kopietz, Prof. Dr.-Ing. Christian Doetsch und Dr. Thorsten Seipp (v. l.).

Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt 2021«

Impfstoffherstellung: Erreger mit energiearmen Elektronen inaktivieren

Bei der Herstellung von Totimpfstoffen kommen bisher toxische Chemikalien wie Formaldehyd zum Einsatz, um damit die Viren zu inaktivieren. Dies hat jedoch erhebliche Nachteile: So zerstört die Chemikalie einen Teil der Virus-Außenstrukturen, belastet die Umwelt selbst bei fachgerechter Entsorgung und macht eine aufwendige Reinigung des Impfstoffs notwendig. Hinzu kommt: Je nach Virus kann die Inaktivierung Wochen oder gar Monate in Anspruch nehmen.

Dr. Sebastian Ulbert und Dr. Jasmin Fertey vom Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI sowie Frank-Holm Rögner vom Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP und Martin Thoma vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA haben nun ein Verfahren entwickelt, das Krankheitserreger durch die Behandlung mit niederenergetischen Elektronen innerhalb weniger Millisekunden inaktiviert. Auf diese Weise lassen sich Vakzine schneller, umweltfreundlicher, effizienter und kostengünstiger herstellen.

Die Jury begründet die Vergabe des Fraunhofer-Preises »Technik für den Menschen und seine Umwelt« u. a. mit der »einfachen und effizienten Methode, die für die Impfstoffwirkung wichtigen Strukturen weitgehend zu erhalten«.



*Dr. Jasmin Fertey, Frank-Holm Rögner,
Martin Thoma und Dr. Sebastian Ulbert (v. l.).*

Fotos: Fraunhofer/IP. Banczerowski

Hugo-Geiger-Preis 2021

Hocheffiziente Mehrfachsolarzellen: Mit beschichteten Halbleitern zu Wirkungsgradrekorden

Der Wirkungsgrad der nahezu ausgereiften Silizium-Einfach-Solarzellen-Technik ist auf maximal 29 Prozent begrenzt. Mehrfachsolarzellen mit Verbindungshalbleitern aus Materialien der chemischen Hauptgruppe III (Erdmetalle/Borgruppe) und V (Stickstoff-Phosphor-Gruppe) erreichen bereits Wirkungsgrade von bis zu 39,2 Prozent – prädestiniert für den Einsatz auf geringer Fläche.

Für die Nutzung in Flachmodulen sind die Kosten der III-V-Halbleiter allerdings noch zu hoch, die Technik wird fast ausschließlich im Weltraum eingesetzt. Indem mehrere dünne III-V-Halbleiterschichten direkt auf einer Silizium-Zelle aufgebracht werden, können beide Technologien jedoch kosteneffizient vereint werden.

Dr. Markus Feifel entwickelte in seiner Promotion in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE eine komplexe und sehr leistungsfähige Solarzellenstruktur, mit der einige Wirkungsgradrekorde aufgestellt wurden. Wichtig war dabei vor allem, an der Grenzfläche zwischen Silizium und der aufgetragenen III-V-Schicht eine geringe Kristalldefektdichte zu erreichen, um Leistungsverluste in den darüber liegenden III-V-Teilzellen zu minimieren. Hier gelang Dr. Feifel durch die erstmals für dieses Materialsystem eingesetzte ECCI-Methode zur Fehlererkennung und -analyse sowie durch eine entsprechende Anpassung der III-V-Wachstumsbedingungen ein Durchbruch.



*Dr. Markus Feifel (l.).
rechts: Mehr Strom aus optimierten
Mehrfachsolarzellen.*

Fotos: Fraunhofer/C. Duepper

Hugo-Geiger-Preis 2021

Höherer Recycling-Anteil bei Kunststoffen: Geruchsforschung liefert Voraussetzungen

Recycling ist unabdingbar. Doch Substanzen, die unerwünschte Gerüche verursachen, limitieren in relevantem Maß den breiten Einsatz von recycelten Polyolefinen. Geruchsbelastung kann zudem ein Indikator für weitere unerwünschte und bedenkliche Begleitstoffe im Material sein.

In ihrer Promotion in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV charakterisierte Dr. Miriam Strangl die geruchsaktiven Substanzen in Kunststoffabfällen und Rezyklaten unterschiedlicher Herkunft. Dazu wählte sie einen chemoanalytischen Ansatz. Von den identifizierten Komponenten konnte ein Großteil zum allerersten Mal in einer Kunststoffmatrix nachgewiesen werden. Neu ist an der Arbeit auch die Aufklärung des Ursprungs und möglicher Bildungswege dieser Substanzen sowie die Bewertung einzelner Prozessschritte im Recyclingkreislauf bezüglich ihres möglichen geruchsreduzierenden Effekts. Damit legen die Ergebnisse den Grundstein für die Entwicklung zielgerichteter Strategien zur Desodorisierung von Rezyklaten, um vermehrt Neuware in hochwertigen Anwendungen durch wettbewerbsfähige Sekundärrohstoffe zu ersetzen.

Neben eingeworbenen Wirtschaftserträgen war die Arbeit auch Grundlage für das weiterführende EU-Forschungsprojekt »Circular Plastics Network for Training (C-PlaNeT)« mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (Förder-summe knapp 4 Mio €). Dr. Strangl war wesentlich an der Konzeptionierung beteiligt.



Dr. Miriam Strangl (l.). Foto: Studioline
rechts: Aromen werden mit flüssigem
Stickstoff »gefangen«.
Foto: Fraunhofer IVV

Hugo-Geiger-Preis 2021

Mensch-Maschine-Interaktion: Nutzerzustandsdiagnose stellt Menschen in den Fokus

In ihrer Dissertation in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE zum Thema der adaptiven Mensch-Maschine-Interaktion stellt Dr. Jessica Schwarz den Menschen bewusst in den Mittelpunkt.

Die Entwicklung des Nutzerzustandsdiagnose-Tools RASMUS ermöglicht eine ganzheitliche Erfassung und Bewertung mentaler Zustände und Einflussfaktoren auf die arbeitende Person bereits während der Aufgabenbearbeitung, um das technische System bedarfsgerecht und dynamisch an den Menschen anpassen zu können.

Hervorzuheben ist die multifaktorielle Zustandserfassung: Die Erfassung von Leistungseinbrüchen stellt sicher, dass die technikseitige Adaption den produktiven Selbstregulierungsstrategien des Nutzenden nicht entgegenwirkt. Die Erfassung verschiedener mentaler Zustände ermöglicht zusätzlich eine passgenaue Unterstützung seitens der Technik. Der Mensch muss sich nicht an die Maschine anpassen, sondern die Maschine passt sich an den Menschen an – eine wichtige ethische Komponente der Arbeit.

Die Erkenntnisse wurden bereits für eine Marineanwendung umgesetzt. Hier zeigte sich, dass eine solche kontext- und zustandsabhängige Anpassung der Technik zur Verbesserung von Arbeitssicherheit und Arbeitsergebnis beitragen kann. Weitere Anwendungsfelder sind beispielsweise Energieleitstellen oder die Luftraumüberwachung.



Dr. Jessica Schwarz (l.).
rechts: Experimentalaufbau der
Mensch-Maschine-Interaktion.
Fotos: Fraunhofer FKIE

Nationale und internationale Forschungspreise 2021

Nominiert für den Deutschen Zukunftspreis 2021

Nachhaltige Reifen durch Naturkautschuk aus Löwenzahn

Das Projekt »Nachhaltige Reifen durch Löwenzahn – Innovationen aus Biologie, Technik und Landwirtschaft« war unter den drei nominierten Teams für die Verleihung des Deutschen Zukunftspreises – Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation 2021. Als Sieger ging 2021 das BioNTech-Team für die Entwicklung eines Impfstoffs gegen SARS-CoV-2 hervor.

Den Gedanken, Naturkautschuk aus regional angebautem Löwenzahn zu gewinnen, anstatt ihn aus weit entfernten Tropenregionen importieren zu müssen, verfolgen Dr. Carla Recker (Continental), Prof. Dr. Dirk Prüfer (Westfälische Wilhelms-Universität Münster) und Dr. Christian Schulze Gronover (Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME) als Team seit 2011. Inzwischen wird bei Continental der »Urban Taraxagum« hergestellt, der erste in Serie gefertigte Fahrradreifen aus Löwenzahn-Kautschuk. Ein laufendes Folgeprojekt zwischen Continental und Fraunhofer zielt auf die Serienfertigung von Autoreifen.

Eine große Herausforderung für die Forschenden war der Weg zur Etablierung des Russischen Löwenzahns hin zu einer kultivierbaren Rohstoffquelle. Gemeinsam mit dem Pflanzenzuchtunternehmen ESKUSA und dem Julius-Kühn-Institut gelang es ihnen, aus Wildpflanzen des Russischen Löwenzahns ertragreiche und widerstandsfähige Pflanzen zu züchten. Entscheidend war die Analyse sogenannter DNA-Marker. Über diese natürlich vorkommenden Stellen im Erbgut können gewünschte Eigenschaften im Labor nachgewiesen werden – z. B. ein höherer Kautschukgehalt. Dank der Marker können die Forschenden die Pflanzen-Keimlinge daraufhin untersuchen, ob sie die gewünschten Eigenschaften besitzen, und einschätzen, ob es sich lohnt, mit diesen Pflanzen weiterzuzüchten.



*Dr. Christian Schulze Gronover,
Dr. Carla Recker und Prof. Dr. Dirk Prüfer (v. l.).
Foto: Deutscher Zukunftspreis*

CNA-Innovationspreis »Intelligenz für Verkehr und Logistik« 2021

Höhere Auslastung von Warenumsschlagplätzen durch Active Noise Control

Maximiliane Lorenz und Achim Klukas, Valentin Mees und Georg Stoll von den Fraunhofer-Instituten für Materialfluss und Logistik IML sowie für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF haben gemeinsam mit der TriCon Container-Terminal Nürnberg GmbH den Sonderpreis für herausragende unternehmerische und wissenschaftliche Leistungen beim CNA-Innovationspreis »Intelligenz für Verkehr und Logistik« 2021 gewonnen. Mit dem Preis zeichnet das Center for Transportation & Logistics Neuer Adler (CNA) Unternehmen für Projekte, Produkte oder Dienstleistungen aus, die einen besonderen Beitrag zum nachhaltigen Wirtschaftswachstum, zur Sicherung von Arbeitsplätzen sowie zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft leisten.

Das Fraunhofer-Forschungsteam entwickelte ein System, das Lärm beim Containerumschlag in Terminals verringert. Dabei werden Schallwellen der Portalkräne durch entsprechende Schallwellen aus Lautsprecher-Anlagen neutralisiert. Demonstratoren des von Fraunhofer entwickelten »Active Noise Control (ANC)«-Systems wurden bei TriCon für das Umschlag-Terminal angepasst, um Lärmemissionen bei der Verladung von Containern auf die Schiene zu reduzieren. Dies erlaubt z. B. eine bessere Auslastung von Umschlaganlagen in den Nachtstunden. Die Entwicklung ist Teil des Projekts »I²PANEMA«, das Prozesse in Häfen digitalisiert und sie dadurch effizienter und nachhaltiger gestaltet. Durch den Einsatz der ANC-Demonstratoren konnte gezeigt werden, wie sich Innovationen wie das Internet der Dinge auf Abläufe in Binnen- und Seehäfen übertragen lassen. Die Forschenden sehen die Adaptierbarkeit der Technologie für weitere bahntechnische Anwendungen, beispielsweise bei Zugbildungs- oder Wartungsanlagen sowie Industrieanlagen.



Maximiliane Lorenz, Valentin Mees, Achim Klukas und Georg Stoll (v.l.).
Foto: Fraunhofer IML

Hugo-Junkers-Preis 2021 geht zweimal nach Halle

Biomimetischer Kautschuk Neuartige Wundauflagen

In der Kategorie »Innovativste Projekte der angewandten Forschung« beim Innovationspreis des Landes Sachsen-Anhalt war das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle (Saale) 2021 doppelt erfolgreich.

Für die Entwicklung eines biomimetischen Synthesekautschuks, dessen Einsatz einen geringeren Abrieb bei Reifenanwendungen ermöglicht, erhielt ein Team um Prof. Dr. Mario Beiner den ersten Platz. Der zweite Platz ging an Dr. Christian Schmelzer, Tobias Hedtke und Dr. Marco Götzte für ihre innovative Lösung, natürliches Elastin zu Wundauflagematerialien zu verarbeiten. Im Forschungsprojekt »Biomimetischer Synthesekautschuk – BISOYKA« gelang es, die Ursachen für die einzigartigen mechanischen Eigenschaften von Naturkautschuk zu erforschen, diese auf Synthesekautschuk zu übertragen und aus dem neu entwickelten »biomimetischen Synthesekautschuk« Reifen mit verringertem Abrieb und hohem Wertschöpfungspotenzial herzustellen.

Dr. Christian Schmelzer und sein Team von »matriheal«, das 2022 in eine Ausgründung übergehen wird, eröffnen mit den von ihnen entwickelten Wundauflagen neue Lösungen für chronische und schlecht heilende Wunden. Das Forschungsteam wandelte Elastin in ein wasserlösliches Derivat um. Dessen Weiterverarbeitung zu resorbierbaren Wundauflagematerialien in Form von Nanofaservliesen und Proteinschwämmen adressiert die Behandlung großflächiger Wunden wie Brandwunden. Die entwickelten Materialien imitieren die mechanischen und biochemischen Eigenschaften der Haut, indem sie natürliche, biologisch abbaubare Bestandteile kombinieren.



Prof. Dr. Mario Beiner (l.). Foto: Fraunhofer IMWS
rechts: Dr. Christian Schmelzer, Tobias Hedtke und Dr. Marco Götzte (v.l.). Foto: Fraunhofer IMWS/IM.Menzel

Amazon Research Award 2021

Optimierte Call Graphs für Java-Enterprise-Anwendungen

Prof. Dr. Eric Bodden, Direktor am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und Leiter der Fachgruppe Secure Software Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn, zählte 2021 zu den Empfängern der Amazon Research Awards.

Mit 60 000 US-Dollar fördert Amazon Boddens Forschungsprojekt zur Verbesserung von automatisierten Code-Analysen. Bei der Erkennung von Sicherheitslücken in Softwareprogrammen werden seit einigen Jahren zunehmend statische Code-Analysen eingesetzt. Dabei zeigen Aufrufgraphen («call graph»), ähnlich wie Flussdiagramme, die Aufrufe zwischen einzelnen Funktionen eines Programms. Insbesondere mithilfe statischer Aufrufgraphen sollen alle Funktionsaufrufe, die möglich sind, repräsentiert werden. Das Berechnen eines vollständigen und präzisen Aufrufgraphen stellt jedoch insbesondere bei der Analyse von Java-Webapplikationen ein grundlegendes Problem dar. Moderne Web-Frameworks etwa rufen bestimmte Programmteile selbsttätig auf, was von Code-Analysen entsprechend modelliert werden muss. Mit seinem Projekt »HybridCG« will Bodden die Qualität solcher Call Graphs für Java Enterprise-Anwendungen optimieren. Dazu will er eine Werkzeugkette entwickeln, welche die statischen Call Graphs mit dynamischen Informationen aus der Laufzeit anreichert und die später in existierende Code-Analysen integrierbar ist. Erprobt werden soll der Ansatz auf Basis des Open-Source-Programmanalyserahmenwerks Soot (www.soot-oss.org), das am Heinz Nixdorf Institut gewartet wird und bereits bei Amazon Web Services zum Einsatz kommt.

Der Amazon Research Award unterstützt seit 2015 Forschungsprojekte über Spenden und mit wissenschaftlichen Konferenzen.



Prof. Dr. Eric Bodden.
Foto: Fraunhofer IEM

Deutscher Preis für Software-Qualität 2021

Software-Qualität in Forschung, Lehre und für die Wirtschaft

Den Deutschen Preis für Software-Qualität erhielt 2021 Prof. Dr.-Ing. Ina Schieferdecker. Seit 1993 war Ina Schieferdecker am Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS tätig und leitete das Institut ab 2015 gemeinsam mit Prof. Dr. Manfred Hauswirth. 2019 wechselte sie ins Bundesministerium für Bildung und Forschung, wo sie seither die Abteilung 5 »Forschung für Digitalisierung und Innovation« leitet. Sie ist zudem Gründungsdirektorin des Weizenbaum-Instituts für die vernetzte Gesellschaft.

Mit ihrem Engagement habe Schieferdecker über viele Jahre das Thema Softwarequalität in Forschung und Lehre, aber auch in Transferprojekten mit Unternehmen und in gesellschaftlichen Diskussionen vorangebracht, so die Jurybegründung. Sie leistete seit den 90er-Jahren bedeutende Beiträge zu Leistungs- und Sicherheitstests sowie zur Weiterentwicklung der Spezifikationssprache Testing and Test Control Notation (TTCN-3) und sie initiierte das UML Testing Profile (UTP), eine graphische Modellierungssprache für modellbasierte Testspezifikationen auf Basis der UML.

In der Aus- und Weiterbildung arbeite Schieferdecker maßgeblich an diversen Lehrplänen mit, insbesondere machte sie sich für den Test Automation Engineer und den Quality Engineer stark. Beide Qualifikationen werden für das Internet der Dinge benötigt.

Der Preis, eine Initiative des Arbeitskreises Software-Qualität und -Fortbildung (ASQF), wurde 2021 erstmals gemeinsam mit einer entsprechenden Fachgruppe der Gesellschaft für Informatik sowie dem German Testing Board (GTB) vergeben.



Prof. Dr.-Ing. Ina Schieferdecker.
Foto: Fraunhofer FOKUS / M. Heyde

Deutscher IT-Sicherheitspreis 2021

Cache Test – Sicherheitscheck für Internet-Infrastrukturen

Prof. Dr. Haya Shulman gewann 2021 den ersten Platz des Deutschen IT-Sicherheitspreises. Mit 100000 Euro ist dies die höchstdotierte Auszeichnung für IT-Sicherheit in Deutschland. Sie wurde vergeben für die Entwicklung von »Cache Test«, einer marktreifen Cybersicherheitslösung zum Schutz von Internet-Infrastrukturen. Mittels Cache Test können Hersteller und Betreiber automatisiert die Sicherheit ihrer Produkte und Infrastrukturen gegen Cache-Poisoning-Angriffe testen. Cache Poisoning ist ein typischer Angriff im Internet, um das Domain Name System (DNS) zu manipulieren. Das DNS ist einer der wichtigsten Dienste in vielen IP-basierten Netzwerken. Es dient dazu, den Datenverkehr zu steuern und die in URLs enthaltenen Hostnamen in IP-Nummern umzuwandeln. Angriffe können dazu führen, dass Internetnutzer auf gefälschte Webseiten umgelenkt und damit zur Preisgabe sensibler Daten und Passwörter verleitet werden. Sie sind auch die Grundlage für weiterreichende Angriffe, durch die Telefongespräche abgehört oder auch Web-Zertifikate gefälscht werden können.

Prof. Dr. Haya Shulman zählt international zu den führenden Wissenschaftlerinnen der Cybersicherheit. Sie studierte Informatik in Israel und kam nach der Promotion 2014 mit dem Fraunhofer-Attract-Programm nach Deutschland an das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT. Shulman ist Direktoriumsmitglied des Nationalen Forschungszentrums für angewandte Cybersicherheit ATHENE in Darmstadt. Seit Februar 2022 ist sie Professorin am Lehrstuhl für Informatik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main und hält eine LOEWE-Spitzen-Professur.

Der Deutsche IT-Sicherheitspreis wurde bereits zum achten Mal von der Horst-Görtz-Stiftung vergeben.



Prof. Dr. Haya Schulmann.

Foto: F. Diehl

Paul-Martini-Preis 2021

Therapiemöglichkeiten für Herzinsuffizienz

Prof. Dr. Dr. med. Thomas Thum, Kardiologe an der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) und Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM in Hannover, erhielt den mit 50000 Euro dotierten Paul-Martini-Preis. Mit der Auszeichnung würdigt die Paul-Martini-Stiftung, Berlin, herausragende Leistungen in der klinisch-therapeutischen Arzneimittelforschung. Prof. Dr. Dr. Thum wurde für seine Forschungsarbeiten zu Konzeption und erster Erprobung einer neuen Therapieform der Herzschwäche (Herzinsuffizienz) ausgezeichnet. Bei chronischer Herzinsuffizienz, woran allein in Deutschland über zwei Millionen Menschen leiden, können bislang nur die Symptome behandelt werden. Thum identifizierte die Wirkung von nichtcodierenden RNA-Molekülen, sogenannter miRNA, auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen, er entwickelte neue RNA-basierte Therapien und begleitete die Translation bis hin zur Erprobung an Patienten.

Als Folge chronischer Herzschwäche setzt ein krankhaftes Wachstum der Herzmuskelzellen ein, da der Herzmuskel versucht, die Unterversorgung auszugleichen. Reguliert wird dieses Wachstum bei Tieren und Menschen von miRNA-Molekülen. Mithilfe synthetisch hergestellter Moleküle, die auf die Herzmuskelzellen normalisierend wirken, konnte das Team um Prof. Dr. Dr. Thum einen dieser neuen RNA-Wirkstoffe schließlich in einer ersten Studie erproben. Der Wirkstoff erwies sich dabei als gut verträglich und zeigte Anzeichen einer therapeutischen Wirksamkeit. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, nicht nur wie bislang die Symptome der Herzinsuffizienz zu behandeln, sondern die Erkrankung selbst im chronischen Stadium heilen zu können. Eine weitere Studie mit einer größeren Anzahl an Patientinnen und Patienten ist geplant.

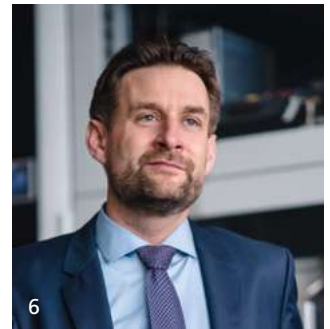


Prof. Dr. Dr. Thomas Thum.

Foto: w/L. Parsyak

Menschen in der Forschung 2021

Begeisterung und Kompetenz begründen den Erfolg der Fraunhofer-Gesellschaft: Sechs Persönlichkeiten aus der Forschung stehen hier in Vertretung für die vielen anderen, die bei Fraunhofer exzellente Arbeit leisten.



- 1 *Anita Schöbel*
- 2 *Thomas Thum*
- 3 *Ulrike Beyer*
- 4 *Steffen Meyer*
- 5 *Sabrina Schreiner*
- 6 *Rüdiger Quay*

Prof. Dr. rer. nat. Anita Schöbel

Mathematikerin | Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern | Professorin für Angewandte Mathematik an der TU Kaiserslautern

Schon als Kind war Anita Schöbel von Zahlen und Formeln fasziniert. Im Studium war es dann die praktische Anwendung der Mathematik, die ihre Begeisterung weckte – etwa wie sich öffentlicher Verkehr und andere komplexe Systeme optimieren ließen. Das Abitur bestand sie mit 1,0, Diplom und Promotion in Mathematik jeweils mit Auszeichnung. Und das, obwohl noch während der Promotionszeit ihre zwei Kinder geboren wurden, die ein und drei Jahre alt waren, als ihre Mutter 1998 den Dokortitel erhielt.

Im selben Jahr kam Anita Schöbel als wissenschaftliche Mitarbeiterin an das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM. Dort leitete sie die Arbeitsgruppe Verkehr – vormittags im Büro, abends zu Hause am Computer, die Nachmittage gehörten den Kindern. Nachdem sie als wissenschaftliche Assistentin wieder an die TU Kaiserslautern zurückgekehrt war, erfolgte 2004 der Ruf nach Göttingen. Dort lehrte sie bis 2018 als W3-Professorin am Institut für Numerische und Angewandte Mathematik an der Georg-August-Universität. Unvergessen bleibt ihr aus dieser Zeit ein Forschungssommer in Neuseeland, gemeinsam mit ihrer Familie, das sowohl wissenschaftlich als auch privat sehr fruchtbar war.

Als Professorin für Angewandte Mathematik kam sie 2019 nach Kaiserslautern und als Institutsleiterin auch ans Fraunhofer ITWM zurück. Dort etablierte sie den Leitspruch »Mathematik für eine gute Zukunft«, der zeigt, wie wichtig es ihr ist, mit ihrer Forschung wirklich etwas zu bewirken. Und das tut sie! Mit mathematischen Modellen hilft das Fraunhofer ITWM unter ihrer Leitung nicht nur, die Ent-

wicklung der Coronavirus-Pandemie besser zu verstehen, sondern auch neue Ansätze für die Energie- und Verkehrswende zu finden oder Krebstherapien zu optimieren. Ihr Fachgebiet Diskrete Optimierung sorgt für mehr Effizienz in Produktionsprozessen, bei der Konstruktion neuer Materialien oder in der Logistik. Und sie gestaltet die Entwicklung von Computing-Infrastrukturen der nächsten Generation, wie etwa Quantencomputing, maßgeblich mit. Bei all dem beruht ihr Erfolg nicht zuletzt darauf, dass sie Mathematik auch Laien verständlich erklären kann, wie ihr ein Kunde einmal bescheinigte, und immer nah an der Praxis bleibt.

So verwundert es nicht, dass sie heute zu den gefragtesten Forscherinnen Deutschlands zählt. Bei Fraunhofer, an der Universität, in ihrem Bundesland sowie bundesweit bekleidet sie mehr als zehn offizielle Ämter. Sie ist Sprecherin des Fraunhofer-Forschungsfelds »Next Generation Computing«, KI-Lotsin für Mobilität in Rheinland-Pfalz, Mitglied im wissenschaftlichen Senat der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) und seit Anfang 2022 President Elect der »Association of European Operational Research Societies« (EURO) – um nur einige zu nennen.

Als Institutsleiterin schätzt sie nicht nur die vielen spannenden Projekte, sondern auch das Engagement und die Begeisterung der Mitarbeitenden und den Zusammenhalt unter den Institutsleitenden. In der Forschung und innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft plädiert sie für weniger Bürokratie und mehr Eigenverantwortung. Viel liegt ihr auch an der interkulturellen Verständigung, die sie künftig gern mit länderspezifischen wissenschaftlichen und kulturellen Angeboten fördern würde.

»Next Generation Computing ist hybrid. Klassische Prozessoren, Neuromorphic Computing oder Quantencomputing werden dort eingesetzt, wo es am besten passt.«





Prof. Dr. Dr. med. Thomas Thum

Mediziner | Leiter am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM in Hannover | Professor für Kardiologie an der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH)

Er gilt als einer der weltweit führenden Experten auf dem Gebiet nichtcodierender RNA, er ist Kardiologe, erfolgreicher Unternehmer, W3-Professor und Fraunhofer-Institutsleiter. Professor Thomas Thum lebt die angewandte medizinische Forschung buchstäblich mit ganzem Herzen. Denn das Herz ist sein Spezialgebiet.

Als Spross einer Ärztfamilie war er schon früh fasziniert von Medizin. Seinen Vater begleitete er als Kind oft bei Hausbesuchen. Beeindruckt von dessen Einfühlsamkeit im Umgang mit den Patientinnen und Patienten, wollte auch er später Menschen helfen. Sein besonderes Interesse an den sich bewegenden Zellen des Herzens entstand während seines Medizinstudiums an der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH). 2001 schrieb er seine Doktorarbeit bereits am Vorgängerinstitut des Fraunhofer ITEM – und erhielt dafür den Hugo-Geiger-Preis für die beste wissenschaftliche Arbeit. Es folgten Stationen in Würzburg und London, wo der Mediziner seine klinische Laufbahn als Internist und Kardiologe verfolgte, bevor er wieder nach Hannover an die MHH zurückkam, wo er bis heute als W3-Professor tätig ist.

2004 kam Thomas Thum zum ersten Mal mit nichtcodierenden RNA-Molekülen, sogenannten miRNA, in Berührung. Deren Nutzen war Medizinern damals noch ein Rätsel, das der junge Forscher ergründen wollte. Er begann, ihre Wirkung vor allem auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu untersuchen – in westlichen Gesellschaften seit Langem die Todesursache Nummer eins. 2008 veröffentlichte er seine viel beachteten Ergebnisse erstmals im renommierten Magazin »Nature«. Um die

Grundlagenforschung schnell in die klinische Praxis zu überführen, gründete er die Firma Cardior Pharmaceuticals, mit der er Risikokapital für seine klinische Forschung einwarb. Mit Erfolg: 2019 startete er mit seinem Team die weltweit erste klinische Studie mit miRNA an Herzpatienten – für den Forscher ein großer Moment. Für die Konzeption und erste Erprobung dieser neuen Therapieform bei Herzinsuffizienz wurde er 2021 mit dem Paul-Martini-Preis ausgezeichnet.

Fast 20 Jahre nach seinen Anfängen bei Fraunhofer kehrte Thomas Thum in die Institutsleitung des Fraunhofer ITEM zurück, die er sich mit Professor Norbert Krug teilt. Heute trägt er die Verantwortung für 400 Fraunhofer-Mitarbeitende, 60 Angestellte an der MHH und ca. 25 Mitarbeitende seines Unternehmens. Als Institutsleiter erweitert er das Spektrum des bisher auf Lungenforschung spezialisierten Fraunhofer ITEM um den neuen Geschäftszweig Herz-Kreislauf. Sein Fokus liegt dabei auf Transfer und Translation. Er will sowohl die Bande zwischen universitärer und Fraunhofer-Forschung stärken als auch die Metropolregion Hannover als Wirtschaftsstandort. Ein wichtiges Anliegen ist ihm zudem die Förderung junger Talente in der translationalen Medizin. Und so erfüllt es den Familienvater auch mit Stolz, wenn seine zwei Söhne und seine Tochter ihn im Institut besuchen und sich für die medizinische Forschung interessieren.

»Mein Ziel ist, eine neue Generation von RNA-Medikamenten gegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen zur Marktreife zu entwickeln.«

Dr.-Ing. Ulrike Beyer

Maschinenbauingenieurin | Diplomwirtschaftsingenieurin | Leitung Task Force Wasserstoff@IWU am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz | Leitung der Initiativen »Nationaler Aktionsplan Brennstoffzellen-Produktion« und »Referenzfabrik für hochratenfähige Elektrolyseur-Produktion«

Der Wasserstoff steht an erster Stelle. Das gilt im chemischen Periodensystem – und auch im Leben von Dr.-Ing. Ulrike Beyer. Dafür will sie Gas geben, ist in ihrem LinkedIn-Profil zu lesen, und sie meint damit: für die Energiewende und die Klimaneutralität – aber insbesondere für die Industrie, die mit der Produktion von Wasserstoffsystemen Wertschöpfung wieder in nationale Kompetenzbereiche zurückholen will. Für diese Ziele spielt die Entwicklung neuer Technologien eine zentrale Rolle. »Wasserstoff bietet die einzigartige Möglichkeit, Klimaschutz und die Sicherung des Produktionsstandorts Deutschland zu verbinden«, betont die promovierte Maschinenbau- und Wirtschaftsingenieurin stets, wenn sie für die Chancen wirbt, die sich Industrie und Gesellschaft durch den Wasserstoff bieten.

Als Leiterin der TaskForce Wasserstoff@IWU am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU forscht Beyer daran, wie Wasserstoff Kohle und andere fossile Brennstoffe als Energieträger ersetzen kann. Benötigt werden dafür neue Produktionslösungen für die industrielle Massenfertigung von Wasserstoffsystemen: Das sind vor allem Elektrolyseure für die Wasserstoffherzeugung. Dazu initiierte sie die Referenzfabrik für hochratenfähige Elektrolyseur-Produktion. Das Fraunhofer-Konsortium mit fünf Instituten unter Beyers Leitung unterstützt das Leitprojekt H₂Giga der Bundesregierung insbesondere mit Technologieevolutionen zur Senkung der Fertigungskosten. Erreicht werden soll eine Kostenneutralität von grünem Wasserstoff im Vergleich zu fossilen Alternativen.

Gas zu geben gilt es auch bei der Brennstoffzelle, meint die Produktionstechnologin. Für deren industrielle Serienherstellung müssen Lösungen entwickelt werden. Deshalb konzeptionierte und koordiniert Beyer den Nationalen Aktionsplan Brennstoffzellen-Produktion der Fraunhofer-Gesellschaft. Darin bündeln sich die Forschungskompetenzen und -infrastrukturen von 18 Instituten. Ziel ist es, die Brennstoffzellen-Produktion hoch zu skalieren und effizienter zu gestalten. Insbesondere der strukturierte Roll-out der innovativen Entwicklungen und deren Implementierung in die Industrie muss erheblich beschleunigt werden. Denn es geht mittel- bis langfristig um einen Milliardenmarkt, um neue Wertschöpfungspotenziale und viele zukunftsfähige Arbeitsplätze – allein 150 000 in Deutschland, schätzt die Wasserstoff-Expertin.

Auch privat ist Wasserstoff für Ulrike Beyer das Element Nummer eins: Mit diversen Expeditionen in etablierte und potenzielle »Wasserstoff-Regionen« Europas – selbstverständlich klimaneutral mit dem Fahrrad – stiftet sie auch in ihrer Familie Neugier und Begeisterung für das zukunftssträchtige H.

»Wasserstoff hat das Potenzial, die Kohle der Zukunft zu sein. Ich treibe die Wasserstoffforschung nicht nur aus klimapolitischen Gründen voran, sondern insbesondere im Sinne einer zukunftsfähigen Wertschöpfung für eine nachhaltige Sicherung des Forschungs- und Produktionsstandorts Deutschland.«





Dipl.-Inf. Steffen Meyer

Informatiker | Gruppenleiter Location Awareness & Process Analytics am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Nürnberg

Ortung ist das Gebiet von Steffen Meyer. Der Informatiker erkundet es schon seit seiner Diplomarbeit, die ihn 2001 ans Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS führte. Faszinierend findet er Lokalisierungstechnik: »Allein dadurch, dass ich mich oder etwas bewege, wird in einem System eine Aktion ausgelöst«, erklärt er. Die neuen 5G- und 6G-Netze, an deren Standardisierungen das Fraunhofer IIS mitarbeitet, eröffnen neue Dimensionen für Anwendungen mit weitaus exakteren Ortungen, als sie heute möglich sind: Für Industrieprozesse bieten sich mannigfaltige Optimierungen an, etwa in der Mensch-Maschine-Interaktion. Für Endverbraucher können mobile Assistenzsysteme praktische Hilfestellungen leisten, die beispielsweise im Alter ein längeres Wohnen zu Hause unterstützen.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Ortung bringen Meyer mit sehr unterschiedlichen Kundenkreisen zusammen: mit der Deutschen Bahn, deren Tür-zu-Tür-Lösung des DB Navigators das Ortungsteam am Fraunhofer IIS mitrealisierte. Auch das National Maritime Museum in Greenwich greift wie andere Museen auf Meyers Know-how zurück. Dort wirkte sein Team dabei mit, dass Besucher auf den historischen Seekarten Schiffe einblenden können, die sie entlang der alten Routen »navigieren« können.

Und dann kam 2020 Corona und der Ruf nach einer Warn-App auf Smartphones. Herausgegeben vom Robert Koch-Institut (RKI) und entwickelt von SAP und der Deutschen Telekom, begleitete Fraunhofer das Projekt eng auf technologischer Seite. Für die Risikoeinschätzung von Begegnungen war ebenfalls eine Form der Ortung gefragt – die Distanzschät-

zung, kombiniert mit der Begegnungsdauer. Realisiert wurde dies über die Exposure-Notification-Schnittstelle, die die Verweildauer innerhalb festgelegter Distanzen festhält. Das Team des Fraunhofer IIS brachte dafür seine Expertise im Signalaustausch zwischen Geräten nach dem Standard Bluetooth Low Energy (BLE) ein. »Von März bis Ende April 2020, auch über Ostern, waren es sehr intensive Arbeitswochen. Gleichzeitig kam damals unser drittes Kind, Pauline, zur Welt«, sagt er rückblickend. Die Maxime, unter der diese Entwicklung lief, lautete damals: »Whatever it takes!«

Am 12. Juni 2020 wurde die Corona-Warn-App in Deutschland gelauncht – auf den Tag genau drei Monate nachdem die WHO COVID-19 zur Pandemie geklärt hatte. Zwei Tage zuvor war in einem Call mit Vertretungen des Bundeskanzleramts, des Bundesgesundheitsministeriums und der Industriekonzerne entschieden worden, dass die App verfügbar gemacht wird. Steffen Meyer war nicht nur dabei, er präsentierte die Anwendung. Tief beeindruckt bleibt er davon, wie erfolgreich die Fachleute verschiedener Disziplinen unter diesen Sonderbedingungen zusammenwirken konnten – ohne vertragliche Beschränkungen und über die institutionellen Grenzen hinweg.

Heute ist die Corona-Warn-App mit 40 Millionen Downloads (bis Ende 2021) die erfolgreichste Warn-App weltweit. Über eine Million Warnungen wurden seit ihrem Launch bis Ende 2021 von positiv getesteten Personen ausgesendet. Ortungsexperte Meyer hat da einen guten Überblick. Er kennt die Entwicklungskonsortien in Dänemark, Großbritannien, der Schweiz, Italien und in den USA. Einige davon berät er auch.

»Wenn es heißt ›Whatever it takes!‹, können Industrie und Forschung binnen sieben Wochen ein Produkt wie die Corona-Warn-App auf den Markt bringen.«

Dipl.-Des. Sabrina Schreiner

Industriedesignerin | Gruppenleiterin Nutzerzentrierte Technikgestaltung am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen

Sie bringt Design-Fachkräfte mit Seniorengruppen zusammen. Sie gestaltet den Dialog über neue Biogasanlagen und lässt Bürgerinnen und Bürger mit Forschenden über das Thema »nachhaltige Bioökonomie« diskutieren. Die diplomierte Industriedesignerin Sabrina Schreiner arbeitet an der Schnittstelle von Wissenschaft und Gesellschaft daran, zukünftige Nutzerinnen und Nutzer von Anwendungen stärker in Entwicklungen einzubinden. Als Gruppenleiterin Nutzerzentrierte Technikgestaltung am Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen entwirft sie interaktive Formate und Methoden, um bei Produktentwicklungen und Forschungsvorhaben frühzeitig die jeweiligen Zielgruppen einzubeziehen und deren Expertise bei der Suche nach Lösungen zu berücksichtigen.

Ein Beispiel für Schreiners Arbeit ist das SeniorDesignLab des Fraunhofer UMSICHT. Ihr Team koordinierte das Projekt, in dem Seniorinnen und Senioren gemeinsam mit Forschenden Produkte für den demographischen Wandel und ein selbstbestimmtes Leben im Alter entwickelten. Eine Erkenntnis: »Die Ideen der gemischten Teams mit Laien und Designern wurden von unserer Jury als kreativer und nutzerzentrierter bewertet«, berichtet Sabrina Schreiner. »Diesen Effekt konnten wir auch wissenschaftlich nachweisen. Dieses Ergebnis – dass es sich lohnt, Alltagsexperten einzubinden – kann man jetzt auch für andere Projekte nutzbar machen.«

Resultate und Erfahrungen des SeniorDesign-Labs fasst die folgende Publikation zusammen: »Developing a Two-Hour Design Thinking Workshop to Examine the Potentials of Age-Divers Co-creation: Why Product Design Teams Should Invite Users Aged 50+, when Designing for the Demographic Change«.

Sabrina Schreiner ist überzeugt: Einen partizipativen Ansatz wird die Wissenschaft verfolgen müssen, wenn es um die Entwicklung nachhaltiger und zukunftsfähiger Technologien und Produkte geht, etwa im Bereich Mobilität, Bioökonomie oder Kreislaufwirtschaft. Hier beschäftigt sich Schreiner derzeit im Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE mit der Gestaltung zirkulärer Kindersitze und neuer Produkt-Service-Systeme. Den vielfältigen Aufgaben entsprechend ist ihre Arbeitsgruppe interdisziplinär ausgerichtet: Neben Design sind die Fachrichtungen Biologie, Psychologie und Maschinenbau vertreten. Damit profitieren Partizipationsaufträge von verschiedenen Forschungsmethoden. »Es ist wichtig, die Sprache der anderen Disziplinen zu sprechen«, sagt Sabrina Schreiner.

An das Fraunhofer UMSICHT kam sie als Studentin für eine Diplomarbeit, bald darauf wurde sie wissenschaftliche Mitarbeiterin. Anfangs beschäftigte sie sich noch mit klassischen Designaufgaben. Heute gestaltet sie den Austausch zwischen verschiedenen Interessengruppen. »Wie können, rein praktisch, Technologie- und Innovationsprozesse an gesellschaftlichen Bedarfen ausgerichtet werden?«, fragt sie. »Das ist Design auf einer abstrakteren Ebene.«

Ihre Forschungsgruppe leitet die zweifache Mutter in Teilzeit – ein Modell, das die Fraunhofer-Gesellschaft anbietet. So ist es Sabrina Schreiner möglich, mit dem Partizipationsteam am Fraunhofer UMSICHT weiter am gemeinsamen Ziel zu arbeiten: »Mit unserem Ansatz haben wir die Chance, für die nächste Generation eine nachhaltige Zukunft zu gestalten.«

»Von einer stärkeren Einbindung der Gesellschaft in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben profitieren alle Beteiligten. Dies bildet den Nährboden für eine nachhaltige Zukunft.«





Prof. Dr. Rüdiger Quay

Diplomphysiker | Diplomvolkswirt | kommissarisch geschäftsführender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg | Inhaber der Fritz-Hüttinger-Professur für Energieeffiziente Hochfrequenzelektronik an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Naturwissenschaftlich formuliert ist der Fortschritt kein lineares Phänomen, stellt Rüdiger Quay fest. Schon einige Male habe er in seinem Forscherleben gesagt bekommen: »Was ihr da macht, das braucht doch kein Mensch!« Und einige Jahre später die Frage gehört, warum die Entwicklung denn noch nicht industriell verfügbar sei. Aktuell sei das der Fall bei den veränderten technischen Anforderungen an Halbleiter für 5G und 6G: Die exponentiell höheren Datenraten haben höhere Frequenzen zur Folge, dies erfordert energieeffizientere Sender und Empfänger – und deren Verbesserung ist Professor Quays derzeitiger Fokus. Seine Vision: ein Internet, das mehr Ressourcen einspart als verbraucht. Während Galliumnitrid-Halbleiter vor zehn Jahren lediglich eine fakultative Möglichkeit der Mobilfunkübertragung darstellten, ist das Material heute in vielen 4G-Basisstationen im Einsatz. Dazu, erzählt Quay, hat das Fraunhofer IAF wesentlich beigetragen: Mit dem Know-how, das Halbleitermaterial zu züchten – die Experten nennen das Materialwachstum –, und einer technologischen Zuverlässigkeit, die einer Basisstation den Betrieb über 20 Jahre ermöglicht. »Das gibt mir eine gewisse Gelassenheit, auch für unsere aktuelle Vorlauforschung. Dazu kommt die Phantasie, dass sich die aktuellen Rahmenbedingungen verändern können. Beides sind, glaube ich, wichtige Voraussetzungen für Forschende.«

Dass er mit Entwicklungen, die über einen Demonstrator hinaus Anwendung finden, zum Fortschritt beitragen will, sei für ihn früh klar gewesen. Vielleicht rührt es von seiner Studienzeit in den 90er-Jahren an der RWTH Aachen University her. Damals – heute unvorstellbar – seien die vielen Studierenden der

Naturwissenschaften sehr deutlich gemahnt worden, sich auf Anwendungen und ein zweites Standbein zu stützen. Deshalb ist Quay heute nicht nur Professor für energieeffiziente Hochfrequenzelektronik, sondern auch Diplomvolkswirt. Nicht nur Naturwissenschaftler zu sein, sondern zu verstehen, wie andere Menschen auf Zusammenhänge schauen, habe ihn persönlich weitergebracht: »Dadurch habe ich einen Perspektivwechsel erlernt, das war extrem wichtig.« Möglicherweise hatten auch seine sportlichen Aktivitäten Einfluss: Bis heute läuft Rüdiger Quay Halbmarathon.

Damit Forschungsfortschritte schneller in der Gesellschaft ankommen, würde sich der Physiker und Volkswirt von Industrie und Politik den Mut wünschen, auch einmal fünf Jahre auf eine laufende vielsprechende Entwicklung zu warten. Auch Aufklärung könnte Wege eröffnen, hofft Rüdiger Quay, etwa wenn ethische und karitative Interessengruppen mit Vertreterinnen und Vertretern der Wissenschaft zusammenkämen, um sich beispielsweise auf Verhaltensoptionen beim Konsum von Elektronikgeräten zu einigen. Schon 2025 drohe der Stromverbrauch der jetzigen Telekom-Netze von derzeit einem auf fünf Prozent zu wachsen. Ein für Deutschland kritischer Anstieg, urteilt Quay, der auch nicht durch ein Eindämmen der Aufholjagd bei der Digitalisierung gebremst werden könne. Sicher werden effiziente Netzkomponenten benötigt, und Rüdiger Quay wird die Bauteile dazu zeigen. Nur er wird wissen, wie lange er daran geforscht hat.

»Wenn Sie Ihr Handy anschalten, kommunizieren Sie ständig mit einer Basisstation. Deren Verstärker verwendet eine energieeffiziente Technologie, die wir mitentwickelt haben.«



Halbleiter-Wafer mit GaN-Transistoren für 5G- und 6G-Basisstationen.

Foto: Fraunhofer/IL Parsyak

Unternehmen im Fraunhofer-Umfeld

Die Fraunhofer-Institute werden von Wirtschaft und Politik als Keimzellen für Unternehmensansiedlungen und -gründungen geschätzt. Viele Fraunhofer-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter machen sich mit hier erarbeitetem Know-how selbstständig. Einige aktuelle Beispiele zeigen die folgenden Seiten.

Customcells Holding GmbH

Fraunhofer-Ausgründung CUSTOMCELLS® geht Joint Venture mit Porsche ein

Schöner kann Technologietransfer kaum erzählt werden: CUSTOMCELLS® wurde 2012 aus dem Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT in Itzehoe ausgegründet. Kern des Geschäftsmodells waren und sind Lithium-Ionen-Batterien als Kerntechnologie für Speicherlösungen. CUSTOMCELLS® ist mittlerweile eines der führenden Unternehmen in der Entwicklung und Serienproduktion von anwendungsspezifischen Batteriezellen.

Zum Beispiel für die Automobilindustrie. So kam 2019 auf eine Initiative der Stuttgarter Unternehmensberatung P3 Group eine Kooperation zwischen CUSTOMCELLS® und Porsche zustande. 2021 entschieden sich die Partner, eine hohe zweistellige Millionensumme in die Technologie zur Fertigung von Hochleistungsbatterien zu investieren: Die Cellforce Group GmbH wurde gegründet. Mit dem Joint Venture will sie sich an der Spitze des weltweiten Wettbewerbs um die leistungsstärkste Batteriezelle positionieren – und die Zukunft des Sportwagens mit Nachhaltigkeit sichern.

Die neuen Hochleistungszellen werden bei kompakterer Bauweise eine erhebliche Steigerung der Energiedichte gegenüber aktuellen Serienbatterien erreichen. Darüber hinaus ermöglicht die anwendungsspezifische Zellentwicklung einen besonders geringen Innenwiderstand. Der niedrige Innenwiderstand ist eine Grundvoraussetzung für eine verbesserte Rekuperation und ein leistungsfähigeres Schnellladen. Einer der Entwicklungspartner für diese nächste Generation der Lithium-Ionen-Batteriematerialien ist u. a. die BASF. Das Chemieunternehmen entwickelt für die Cellforce beispielsweise hochenergetische Kathodenmaterialien sowie Binder auf der Anodenseite, die zukünftig mit einem branchenführend niedrigen CO₂-Fußabdruck hergestellt werden sollen. Zahlreiche Partner tragen so zur Entwicklung der neuen Cellforce-Hochleistungszellen bei.

Die Pilotfertigung von Cellforce bei Reutlingen soll eine Kapazität von mindestens 100 Megawattstunden pro Jahr erreichen. Das entspricht Hochleistungs-Batteriezellen für 1000 Fahrzeuge.

www.customcells.de



Bluu GmbH

Zellbasierter Fisch aus dem Bioreaktor

Meeresfisch weiterhin auf den Speiseplan der Menschen bringen zu können, ohne der Umwelt zu schaden: Das ist das Ziel der Bluu GmbH. Als erstes Unternehmen Europas hat sich die Bluu GmbH auf die Produktion von zellbasierten Fischspeisen spezialisiert. Diese werden aus echten Fischzellen hergestellt und im Bioreaktor gezüchtet. Im Gegensatz zu wild gefangenem Fisch geht dies nicht zulasten des Tierwohls. Das Unternehmen schließt damit eine Marktlücke: Fast überall werden heute mehr Fische gefangen als natürlich nachwachsen können. Das gefährdet die Ernährungsgrundlage von Hunderten Millionen von Menschen.

Im Mai 2020 ging die Bluu GmbH an den Start, als Ausgründung der ehemaligen Fraunhofer-Einrichtung für Marine Biotechnologie und Zelltechnik EMB. Nur zehn Monate später konnte sich Bluu 7 Mio € Investitionen durch ein internationales Konsortium sichern. Im ersten Schritt wollen die Bluu-Gründer, Dr. Sebastian Rakers und Simon Fabich, die Produkte über Restaurants auf den Markt bringen. Ab Ende 2023 sollen auch Supermärkte beliefert werden.

Die Herausforderung bei der Herstellung von zellbasierten Fischspeisen besteht darin, die porösen Gerüststrukturen derart aufzubauen, dass ausreichend Nährstoffe und Sauerstoff an die Zellen gelangen. Nur wenn dies gewährleistet ist, können sich die auf den Gerüststrukturen wachsenden Zellen so strukturieren und ausbilden, wie sie es im natürlichen Fischgewebe auch tun würden.

Die zellbasierte Fischfleischproduktion hat einige Vorteile: Die Schlachtung von Fischen entfällt, zudem sind keine der Massentierhaltung ähnlichen Aquakulturen nötig, die zur Verschmutzung und Eutrophierung von Gewässern führen. Weitere Vorteile des kultivierten »Fischs« sind sein hoher Nährwert sowie die Verfügbarkeit und damit verbundene kurze Lieferketten. Auch die Verwendung von Gentechnik, Antibiotika und Umweltgiften gehört der Vergangenheit an.

www.bluu.bio



Sensry GmbH

Innovative Halbleitertechnologien für KMU

Elektronische Lösungen von der vordersten Front der Forschung für Sensor- und Kommunikationssysteme, damit sich vor allem kleine und mittlere Unternehmen (KMU) am wachsenden Internet der Dinge beteiligen können: Darauf setzen die Produkte eines Start-ups von Fraunhofer, GlobalFoundries und Next Big Thing.

Die Sensry GmbH ermöglicht ihren Kunden Zugriff auf hoch integrierte, vertrauenswürdige und kostengünstige Sensorsysteme. Das von Sensry angebotene Baukastenprinzip bietet für Prototypen und Kleinserien ein Höchstmaß an Flexibilität durch eine modulare Bauweise. Im Ergebnis erhalten die Kunden jeweils einen maßgeschneiderten Sensorknoten mit flexibler kundenspezifischer Ausstattung an Sensoren und Kommunikationslösungen. Die Plattform verbindet modernste und energieeffiziente Aufbau- und Packaging-Technologien (FD-SOI auf 22FDX-Technologie) mit neuesten Halbleiter-Entwurfsmethoden und einer zukunftsweisenden Prozessorarchitektur (RISC-V), sie garantiert höchste Datensicherheit durch Security-Komponenten und erlaubt die Integration unterschiedlichster Sensoren für Fog, Edge und Cloud Computing.

Sensry entstand Ende 2018 aus dem Projekt »Universelle Sensor-Plattform – USeP«. Gefördert wurde das Projekt durch den Freistaat Sachsen und die Europäische Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE). Zielsetzung des Vorhabens war es, insbesondere kleineren Anbietern für Sensorik- und Kommunikationssysteme Zugang zur nächsten Generation der Elektronik zu ermöglichen. Als Innovationstreiber sind KMU wesentlich für den Technologietransfer in der Breite verantwortlich.

An den technologischen Grundlagen von Sensry mitgewirkt haben die Institutsteile Entwicklung Adaptiver Systeme (EAS) des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS und All Silicon System Integration (ASSID) des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM sowie die Fraunhofer-Institute für Photonische Mikrosysteme IPMS und für Elektronische Nanosysteme ENAS.

<https://sensry.net>



E-VITA GmbH

Mit Elektronen Saatgut desinfizieren

Das Joint Venture E-VITA GmbH widmet sich seit 2021 der chemiefreien, nachhaltigen Behandlung von Saatgut und Futtermitteln, um es von krankheitserregenden Pilzen, Bakterien und Viren zu befreien.

Für das umweltfreundliche, rein physikalische Verfahren zur Desinfektion von Saatgut macht sich E-VITA die keimabtötende Wirkung von beschleunigten Elektronen zunutze. Treffen die energiereichen Elektronen im Wirkungsbereich auf Schadorganismen, werden diese effektiv abgetötet. Die Elektronen dringen dabei nur so tief in die Schale ein, dass ein Einfluss auf den Embryo und das Endosperm im Inneren des Saatkorns nachweislich ausgeschlossen werden kann. Neben der Desinfektion wird das Korn zudem mit biologischen Stimulanzen zur nachhaltigen Erhöhung der Erträge und Verbesserung der Widerstandsfähigkeit behandelt. Erste Entwicklungen zur sicheren, chemiefreien Behandlung von Saatgut mit Elektronen starteten in den 80er-Jahren im Forschungsinstitut Manfred von Ardenne und wurden vom Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP in langjährigen Entwicklungsprojekten zur industriellen Reife geführt. Seit 2014 wird die Technologie durch die vor allem in Norddeutschland aktive Agrarhandelsgruppe Ceravis AG flächendeckend eingesetzt, seit 2019 auch von der BayWa AG in Sachsen. In Deutschland beläuft sich die Produktionsmenge mittlerweile auf über 20000 Tonnen im Jahr. Seit 2021 kooperieren das Fraunhofer FEP und die Ceravis AG nun als Joint Venture E-VITA.

Um das Verfahren auch für kleinere Mengen attraktiv zu gestalten, war die Entwicklung kompakterer Anlagentechnik notwendig. Deren Herzstück ist eine vom Fraunhofer FEP entwickelte Elektronenringquelle. Die E-VITA GmbH bietet vor allem, aber nicht ausschließlich Anlagen mit dieser neuen, kompakten Technik an, die auch bei geringeren Jahresdurchsätzen wirtschaftlich effizient arbeiten und damit für landwirtschaftliche Betriebe verschiedener Größenordnungen lohnenswert sind.

www.e-vita.de



Batalyse GmbH

Batterie + Analyse = Batalyse

In Batterien und Brennstoffzellen entscheiden optimierte Materialien und Komponenten über die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit des Systems. Um die Materialentwicklung oder die Zellen bzw. Stacks der Kunden mit denen der Konkurrenz zu bewerten, bietet die Ausgründung Batalyse GmbH umfangreiche Visualisierungsmöglichkeiten an. Der Schutz sensibler Daten hat dabei stets oberste Priorität – die Daten verbleiben beim jeweiligen Kunden, Batalyse stellt allein die Softwarelösung zur Auswertung bereit.

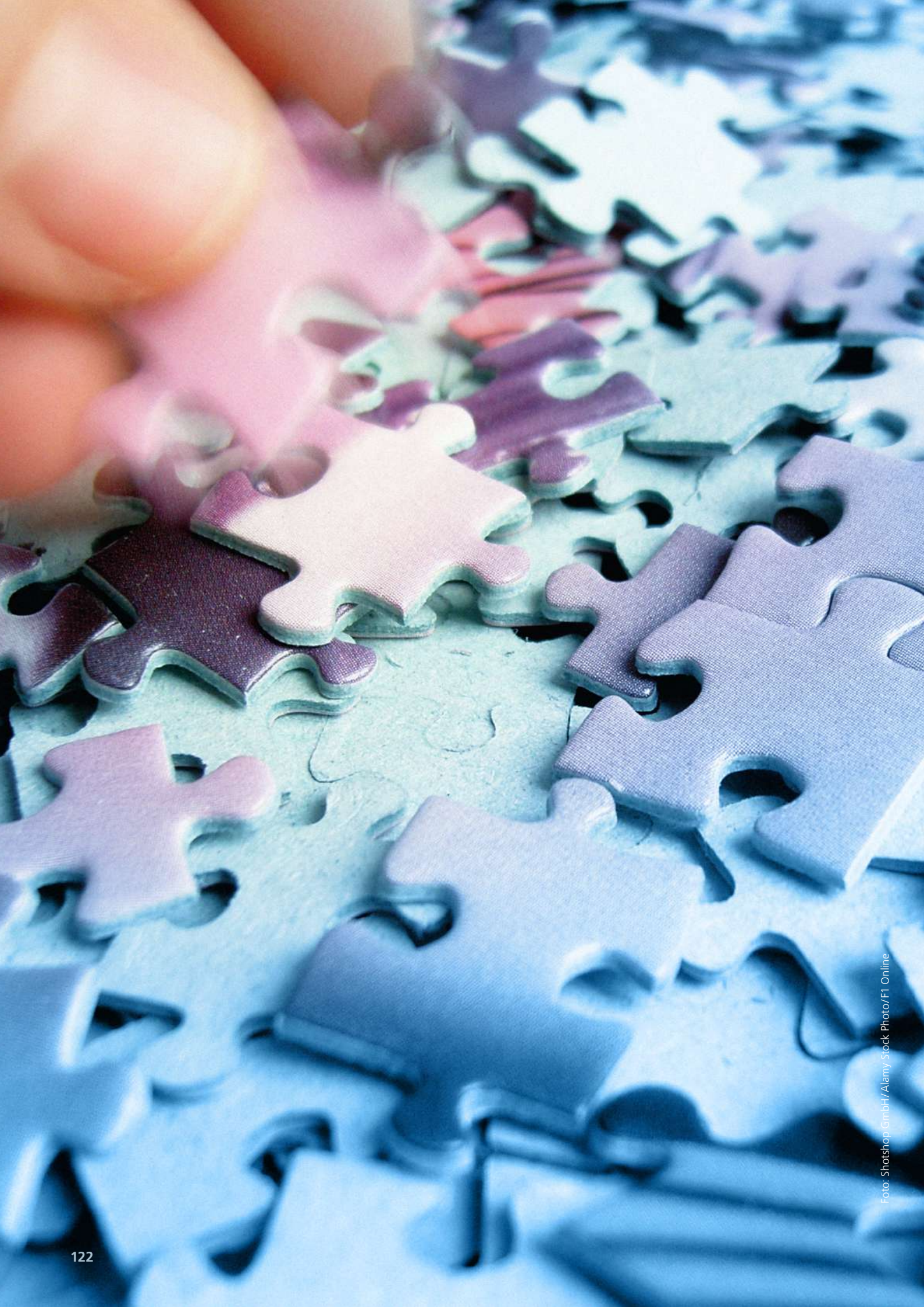
Für Materialentwickler, Hersteller von Batteriezellen sowie für Entwicklungs- oder Qualitätsmanagement-Abteilungen von Unternehmen im Bereich elektrochemischer Energiespeicher und Brennstoffzellen ermöglicht die Batalyse GmbH die automatisierte Erfassung, Dokumentation, logische Verknüpfung, Kategorisierung, Standardisierung und Auswertung von Test-, Analyse- und Produktionsdaten.

Kernstücke sind drei Softwarelösungen: Data Analysis wertet Batterie- und Brennstoffzellen-Testdaten aus. Collect sammelt, kategorisiert und standardisiert Test-, Analyse- und Produktionsdaten und speichert sie auf einem zentralen Server mit eigenem Berechtigungssystem. Mind ist ein Laborinformations- und Managementsystem zur Verknüpfung der gewonnenen Daten mit Informationen zu eingesetzten Materialien, Werkzeugen, Anlagen und Prozessen. In Kombination der Module entsteht eine automatisierte Auswertung, mit der sich Daten und Informationen für einen Einsatz mit Künstlicher Intelligenz vorbereiten lassen.

Impulsgeber auf dem Weg zur Selbstständigkeit war die eigene Erfahrung der Gründer: Als Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT stellten Dr. Markus Hagen und Eran Nave fest, dass die Datenauswertung und -dokumentation in der Batterieforschung ein immenser Zeitfaktor war. Drei Jahre lang bereiteten sie, mit großer Unterstützung von Fraunhofer Venture, die Ausgründung vor, bis es im Mai 2021 so weit war.

<https://batalyse.com>







Konzentration und Ausdauer werden beim Puzzeln trainiert. Am Ende passt eins ins andere – wie beim künftigen Hochleistungsrechnen die Anwendung zum Chip. Der Stencil-Tensor-(STX-)Accelerator als Chipbestandteil wurde designt, um aufwendige Simulationen möglichst schnell und energieeffizient zu lösen (S. 91/92).

Finanzen

Bilanz zum 31. Dezember 2021	124
Gewinn- und Verlustrechnung für das Geschäftsjahr 2021	126
Zusammenhang zwischen Gewinn- und Verlustrechnung, Leistungsrechnung und Einnahmen- und Ausgabenrechnung	128
Leistungsrechnung der Fraunhofer-Einrichtungen	130
Auszüge aus dem Anhang 2021	135
Wiedergabe des Bestätigungsvermerks des Abschlussprüfers	137

Bilanz zum 31. Dezember 2021

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München

AKTIVA	2021 in €	2021 in €	2021 in €	Vorjahr in T€
A. Anlagevermögen				
I. Immaterielle Vermögensgegenstände				
1. Konzessionen, gewerbliche Schutzrechte und ähnliche Rechte und Werte	12.780.079,94			11.370
2. Geleistete Anzahlungen	33.252.200,15			34.999
		46.032.280,09		46.369
II. Sachanlagen				
1. Grundstücke, grundstücksgleiche Rechte und Bauten einschließlich der Bauten auf fremden Grundstücken	1.461.940.820,57			1.296.791
2. Technische Anlagen und Maschinen	642.086.036,60			570.624
3. Andere Anlagen, Betriebs- und Geschäftsausstattung	49.377.596,83			47.846
4. Geleistete Anzahlungen und Anlagen im Bau	427.074.683,40			493.152
		2.580.479.137,40		2.408.413
III. Finanzanlagen				
1. Anteile an verbundenen Unternehmen	92.782,82			93
2. Beteiligungen	10.326.794,50			9.010
3. Wertpapiere des Anlagevermögens	8.296.616,21			8.522
4. Sonstige Ausleihungen	265.000,00			128
		18.981.193,53		17.753
			2.645.492.611,02	2.472.535
B. Umlaufvermögen				
I. Vorräte				
1. Unfertige Leistungen	527.029.022,13			494.665
– erhaltene Anzahlungen	–425.125.091,54			–408.822
		101.903.930,59		85.843
II. Forderungen und sonstige Vermögensgegenstände				
1. Forderungen aus Lieferungen und Leistungen	204.486.086,66			201.246
2. Ausgleichsansprüche und Forderungen an Bund und Länder				
a) aus der institutionellen Förderung	39.051.590,36			104.249
b) aus Projektabrechnungen einschließlich Aufträgen	251.996.231,84			226.996
c) wegen Pensions- und Urlaubsrückstellungen	90.131.800,00			85.405
	381.179.622,20			416.650
3. Forderungen gegen verbundene Unternehmen	7.759.852,39			10.586
4. Sonstige Vermögensgegenstände	110.539.165,89			128.419
		703.964.727,14		756.901
		439.849.778,06		440.611
III. Sonstige Wertpapiere				
IV. Kassenbestand, Bundesbankguthaben und Guthaben bei Kreditinstituten		231.980.334,25		100.211
			1.477.698.770,04	1.383.566
			63.084.911,54	87.124
			4.186.276.292,60	3.943.225
C. Rechnungsabgrenzungsposten				
Treuhandvermögen			8.574.603,12	23.018

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München

PASSIVA	2021 in €	2021 in €	2021 in €	Vorjahr in T€
A. Eigenkapital				
I. Vereinskaptal				
Vortrag	15.387.267,43			15.340
Jahresergebnis	65.795,74			47
		15.453.063,17		15.387
II. Rücklagen für satzungsgemäße Zwecke				
Vortrag	18.825,00			16
Entnahme	5.000,00			-
Einstellung	1.400,00			3
		15.225,00		19
			15.468.288,17	15.406
B. Sonderposten				
1. Rücklage aus Lizenzerträgen für satzungsgemäße Zwecke		415.508.285,76		415.508
2. Zuwendungen zum Anlagevermögen		2.633.935.494,63		2.460.606
3. Zur Finanzierung des Umlaufvermögens verwendete Zuwendungen		295.492.150,84		324.711
4. Barwert Teilzahlungen aus Patentverkauf		47.410.084,22		53.577
5. Zur Finanzierung von Restrukturierungen		24.611.000,00		25.000
			3.416.957.015,45	3.279.402
C. Rückstellungen				
1. Rückstellungen für Pensionen und ähnliche Verpflichtungen		9.031.800,00		8.805
2. Sonstige Rückstellungen		200.064.869,54		190.202
			209.096.669,54	199.007
D. Verbindlichkeiten				
1. Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen		93.898.393,57		100.404
2. Noch zu verwendende Zuschüsse von Bund und Ländern				
a) aus der institutionellen Förderung	270.723.478,51			204.528
b) aus Projektabrechnungen	150.602.251,84			108.062
		421.325.730,35		312.590
3. Verbindlichkeiten gegenüber verbundenen Unternehmen		-		186
4. Sonstige Verbindlichkeiten (davon aus Steuern: Mio € 0; Vorjahr: Mio € 9)		25.241.424,51		31.627
			540.465.548,43	444.807
E. Rechnungsabgrenzungsposten			4.288.771,01	4.603
			4.186.276.292,60	3.943.225
Treuhandverbindlichkeiten			8.574.603,12	23.018

Gewinn- und Verlustrechnung für das Geschäftsjahr 2021

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München

	2021 in €	2021 in €	2021 in €	Vorjahr in T€
1. Erträge aus institutioneller Förderung				
1.1 Bund		860.393.848,93		1.013.632
1.2 Länder		167.310.401,47		162.298
			1.027.704.250,40	1.175.930
2. Eigene Erträge				
2.1 Erlöse aus Forschung und Entwicklung				
2.1.1 Bund: Projektförderung	608.119.080,10			593.075
Aufträge	15.472.180,07			17.979
2.1.2 Länder: Projektförderung	263.533.465,67			215.691
Aufträge	3.271.042,31			2.267
2.1.3 Industrie, Wirtschaft und Wirtschaftsverbände	729.837.671,82			662.416
2.1.4 Einrichtungen der Forschungsförderung und Sonstige	147.063.586,92			132.128
		1.767.297.026,89		1.623.556
2.2 Sonstige Erlöse		6.498.060,70		8.208
Summe Umsatzerlöse			1.773.795.087,59	1.631.764
2.3 Erhöhung des Bestandes an unfertigen Leistungen		32.364.185,05		38.799
2.4 Andere aktivierte Eigenleistungen		7.507.804,13		7.061
2.5 Sonstige betriebliche Erträge		41.955.051,13		34.745
2.6 Erträge aus Beteiligungen		2.108.372,31		2.107
2.7 Sonstige Zinsen und ähnlich Erträge		1.030.011,39		1.526
			84.965.424,01	84.238
Summe Zuwendungen und eigene Erträge			2.886.464.762,00	2.891.932
3. Veränderung der Sonderposten				
3.1 Rücklage aus Lizenzträgen für satzungsgemäße Zwecke				
3.1.1 Einstellung		-14.753.755,84		-13.091
3.1.2 Verbrauch		14.753.755,84		13.091
3.2 Zuwendungen zum Anlagevermögen				
3.2.1 Einstellung (betrifft Investitionen)		-469.931.632,22		-475.310
3.2.2 Auflösung (betrifft Abschreibungen)		295.203.372,82		310.052
3.3 Aus der Finanzierung des Umlaufvermögens freigewordene Zuwendungen		29.218.488,50		-59.497
3.4 Zur Finanzierung von Restrukturierungen				
3.4.1 Einstellung		-63.000,00		-25.000
3.4.2 Verbrauch		452.000,00		
			-145.120.770,90	-249.755
4. Für die Aufwandsdeckung zur Verfügung stehende Zuwendungen und eigene Erträge			2.741.343.991,10	2.642.177

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München

	2021 in €	2021 in €	2021 in €	Vorjahr in T€
Übertrag			2.741.343.991,10	2.642.177
5. Materialaufwand				
5.1 Aufwendungen für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe	214.246.229,25			202.906
5.2 Aufwendungen für bezogene Forschungs- und Entwicklungsleistungen	235.611.799,70			223.938
		449.858.028,95		426.844
6. Personalaufwand				
6.1 Gehälter	1.325.823.722,01			1.268.901
6.2 Soziale Abgaben und Aufwendungen für Altersversorgung und für Unterstützung davon für Altersversorgung: € 67.927.204,95 (Vorjahr: T€ 63.802)	301.287.596,86			282.525
		1.627.111.318,87		1.551.426
7. Abschreibungen auf immaterielle Vermögensgegenstände des Anlagevermögens und Sachanlagen		294.485.370,34		309.117
8. Sonstige betriebliche Aufwendungen		368.323.928,07		347.470
9. Abschreibungen auf Finanzanlagen und auf Wertpapiere des Umlaufvermögens		863.908,33		6.831
10. Zinsen und ähnliche Aufwendungen		639.240,80		439
Summe der Aufwendungen			2.741.281.795,36	2.642.127
11. Jahresüberschuss			62.195,74	50
12. Entnahme aus den Rücklagen			5.000,00	–
13. Einstellung in die Rücklagen			–1.400,00	–3
14. Jahresergebnis			65.795,74	47
15. Zuführung zum Vereinskaptal			–65.795,74	–47
			–	–

Zusammenhang zwischen Gewinn- und Verlustrechnung, Leistungsrechnung und Einnahmen- und Ausgabenrechnung

Erträge / Einnahmen	Leistungsrechnung in €	Vereinsvermögen in €	Überleitungs- posten in €	Gewinn- und Verlustrechnung in €
Erträge/Einnahmen				
aus institutioneller Förderung	1.022.977.850,40		4.726.400,00	1.027.704.250,40
aus Forschung und Entwicklung	1.802.355.381,64		-35.058.354,75	1.767.297.026,89
aus sonstigen Erlösen	1.353,89		6.496.706,81	6.498.060,70
Erhöhung des Bestandes an unfertigen Leistungen			32.364.185,05	32.364.185,05
Andere aktivierte Eigenleistungen	7.507.804,13			7.507.804,13
Sonstige betriebliche Erträge	48.500.280,38	395.691,56	-3.802.537,11	45.093.434,83
Einnahmen- und Ausgabenrechnung	2.881.342.670,44			
Veränderung der Sonderposten				
Zuwendungen zum Anlagevermögen				
Einstellung in den Sonderposten (betrifft Investitionen)			-469.931.632,22	-469.931.632,22
Auflösung des Sonderpostens (betrifft Abschreibungen)		19.847,81	295.183.525,01	295.203.372,82
Aus der Finanzierung des Umlaufvermögens freigewordene Zuwendungen	29.218.488,50			29.218.488,50
Zur Finanzierung von Restrukturierungen			389.000,00	389.000,00
Veränderung der Ausgleichsansprüche wegen Pensions- und Urlaubsrückstellungen	4.726.400,00		-4.726.400,00	
Finanzvolumen	2.915.287.558,94	415.539,37	-174.359.107,21	2.741.343.991,10

Aufwendungen / Ausgaben	Leistungs- rechnung in €	Vereins- vermögen in €	Überleitungs- posten in €	Gewinn- und Verlustrechnung in €
Aufwendungen/Ausgaben				
Materialaufwand	405.765.201,38	21.574,95	44.071.252,62	449.858.028,95
Personalaufwand	1.641.898.187,94	5.640,00	-14.792.509,07	1.627.111.318,87
Abschreibungen auf Anlagevermögen		165.753,66	294.319.616,68	294.485.370,34
Sonstige betriebliche Aufwendungen	397.895.759,59	160.375,02	-28.229.057,41	369.827.077,20
Aufwand lt. Gewinn- und Verlustrechnung				2.741.281.795,36
Veränderung des Sonderpostens				
Zur Finanzierung von Restrukturierungen	-389.000,00		389.000,00	
Investitionen				
(laufende Investitionen und Ausbauinvestitionen)	470.117.410,03		-470.117.410,03	
Jahresüberschuss		62.195,74		62.195,74
Finanzvolumen	2.915.287.558,94			
		415.539,37	-174.359.107,21	2.741.343.991,10

Leistungsrechnung der Fraunhofer-Einrichtungen

Fraunhofer-Institut/-Einrichtung für	Ort	Aufwendungen		Erträge	Zuwendungs-
		Betriebshaushalt	Investitionen	Projekterträge	bedarf ¹
		2021	2021	2021	2021
		in T€	in T€	in T€	in T€
Verbund Energietechnologien und Klimaschutz (ab 1.1.2021)					
Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG	Bochum	10.297,3	1.394,7	8.347,1	3.344,9
Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE	Kassel	29.668,5	2.167,8	25.106,2	6.730,1
Solare Energiesysteme ISE	Freiburg	104.394,2	12.269,3	106.815,7	9.847,9
Windenergiesysteme IWES	Bremerhaven	37.631,7	15.274,0	50.356,1	2.549,6
Summe Verbund Energietechnologien und Klimaschutz		181.991,7	31.105,9	190.625,1	22.472,5
Verbund Gesundheit (ab 1.1.2021)					
Biomedizinische Technik IBMT	Sulzbach	17.278,1	1.465,8	11.723,8	7.020,1
Bildgestützte Medizin MEVIS	Bremen	11.448,1	947,0	9.350,5	3.044,6
Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE	Lübeck	4.937,9	326,6	3.844,9	1.419,6
Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM	Hannover, Braunschweig, Regensburg	38.142,8	3.016,2	28.435,8	12.723,2
Translationale Medizin und Pharmakologie ITMP	Frankfurt, Berlin, Penzberg, Göttingen	12.767,9	860,9	6.487,2	7.141,5
Zelltherapie und Immunologie IZI	Leipzig, Potsdam-Golm, Halle	44.487,6	6.308,4	35.957,7	14.838,3
Summe Verbund Gesundheit		129.062,4	12.924,8	95.800,0	46.187,2

¹ Rundungen erfolgen anhand der Echtwerte.

Fraunhofer-Institut/-Einrichtung für	Ort	Aufwendungen		Erträge	Zuwendungs-
		Betriebshaushalt 2021 in T€	Investitionen 2021 in T€	Projekterträge 2021 in T€	bedarf ¹ 2021 in T€
Verbund IUK-Technologie					
Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI	Sankt Augustin	15.604,4	384,6	11.482,5	4.506,6
Angewandte Informationstechnik FIT	Sankt Augustin, Augsburg	22.005,9	2.768,5	17.971,9	6.802,5
Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC	Garching	12.989,6	1.152,7	11.237,1	2.905,1
Digitale Medientechnologie IDMT	Ilmenau, Oldenburg	11.950,2	432,6	8.086,7	4.296,1
Experimentelles Software Engineering IESE	Kaiserslautern	17.016,4	641,4	14.841,1	2.816,7
Graphische Datenverarbeitung IGD	Darmstadt, Rostock	16.287,0	1.239,0	8.639,9	8.886,1
Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS	Sankt Augustin	26.922,6	1.504,7	23.005,2	5.422,1
Kognitive Systeme IKS	München	8.219,6	357,1	7.826,3	750,4
Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE	Wachtberg	11.392,8	154,0	7.984,7	3.562,1
Offene Kommunikationssysteme FOKUS	Berlin	33.239,1	1.231,2	26.315,8	8.154,5
Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB	Karlsruhe, Ettlingen, Ilmenau, Lemgo	40.826,6	3.894,7	32.472,9	12.248,4
Sichere Informationstechnologie SIT	Darmstadt	8.574,7	224,7	7.470,6	1.328,7
Software- und Systemtechnik ISST	Dortmund	8.157,7	262,4	8.631,7	-211,6
Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM	Kaiserslautern	33.958,2	2.118,5	26.696,8	9.380,0
Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI	Dresden	14.952,2	2.766,1	13.764,4	3.953,9
Geschäftsstelle IUK-Technologie IUK-GS	Berlin	280,2	18,2	18,4	280,0
Summe Verbund IUK-Technologie		282.377,2	19.150,3	226.445,9	75.081,6
Verbund Innovationsforschung					
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO	Stuttgart	40.245,5	2.053,1	34.895,6	7.402,9
Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT	Euskirchen	5.141,0	853,8	2.560,0	3.434,8
System- und Innovationsforschung ISI	Karlsruhe	31.909,8	963,3	25.087,9	7.785,2
Informationszentrum Raum und Bau IRB	Stuttgart	7.576,9	33,2	2.440,7	5.169,4
Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW	Leipzig	9.983,2	354,9	6.300,4	4.037,7
Summe Verbund Innovationsforschung		94.856,4	4.258,2	71.284,7	27.830,0
Verbund Light & Surfaces					
Angewandte Optik und Feinmechanik IOF	Jena	40.435,5	19.416,9	45.862,4	13.990,0
Lasertechnik ILT	Aachen	39.699,6	3.848,3	29.233,6	14.314,3
Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP	Dresden	27.572,2	1.297,8	21.224,5	7.645,5
Physikalische Messtechnik IPM	Freiburg	21.076,0	1.929,7	13.725,7	9.279,9
Werkstoff- und Strahltechnik IWS	Dresden	28.148,5	3.971,9	21.465,9	10.654,6
Summe Verbund Light & Surfaces		156.931,7	30.464,6	131.512,0	55.884,3

1 Rundungen erfolgen anhand der Echtwerte.

Fraunhofer-Institut/-Einrichtung für	Ort	Aufwendungen		Erträge	Zuwendungs-
		Betriebshaushalt	Investitionen	Projekterträge	bedarf ¹
		2021	2021	2021	2021
		in T€	in T€	in T€	in T€
Verbund Mikroelektronik					
Angewandte Festkörperphysik IAF	Freiburg	17.287,2	4.574,3	17.493,1	4.368,4
Elektronische Nanosysteme ENAS	Chemnitz	17.132,5	7.733,4	17.305,9	7.560,0
Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR	Wachtberg	20.598,1	1.010,5	16.460,4	5.148,2
Integrierte Schaltungen IIS	Erlangen, Dresden	197.762,6	7.461,4	151.538,3	53.685,7
Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB	Erlangen	29.157,9	1.938,7	21.624,5	9.472,1
Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS	Duisburg	27.318,5	150,9	16.211,1	11.258,3
Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT	München	16.188,8	540,8	11.056,1	5.673,5
Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI	Berlin, Goslar	62.412,9	8.874,1	51.181,4	20.105,6
Photonische Mikrosysteme IPMS	Dresden	49.289,4	2.578,3	34.837,4	17.030,3
Siliziumtechnologie ISIT	Itzehoe	24.373,1	1.801,1	17.996,9	8.177,3
Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM	Berlin, Dresden	38.485,0	4.255,6	30.725,4	12.015,3
Geschäftsstelle Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)	Berlin	904,1	48,7	269,7	683,1
Summe Verbund Mikroelektronik		500.910,1	40.967,9	386.700,3	155.177,7
Verbund Produktion					
Additive Produktionstechnologien IAPT	Hamburg	8.977,4	1.718,5	5.631,8	5.064,1
Entwurfstechnik Mechatronik IEM	Paderborn	13.823,0	1.503,6	11.787,4	3.539,2
Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF	Magdeburg	19.127,4	745,1	13.415,5	6.457,0
Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV	Augsburg	17.715,8	1.847,3	15.780,4	3.782,7
Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP	Rostock	11.207,4	422,0	8.818,8	2.810,6
Materialfluss und Logistik IML	Dortmund, Hamburg	39.878,6	4.065,3	34.391,9	9.552,0
Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK	Berlin	18.679,2	1.840,5	12.680,7	7.839,0
Produktionstechnik und Automatisierung IPA	Stuttgart	68.853,6	4.625,8	57.333,1	16.146,4
Produktionstechnologie IPT	Aachen	29.568,9	1.928,1	22.942,8	8.554,2
Schicht- und Oberflächentechnik IST	Braunschweig	15.792,9	1.712,1	9.250,3	8.254,7
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU	Chemnitz	48.973,6	5.264,3	37.249,2	16.988,7
Summe Verbund Produktion		292.597,9	25.672,7	229.282,0	88.988,6

¹ Rundungen erfolgen anhand der Echtwerte.

Fraunhofer-Institut/-Einrichtung für	Ort	Aufwendungen		Erträge	Zuwendungs-
		Betriebshaushalt	Investitionen	Projekterträge	bedarf ¹
		2021	2021	2021	2021
		in T€	in T€	in T€	in T€
Verbund Ressourcentechnologien und Bioökonomie (ab 1.1.2021)					
Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB	Stuttgart, Leuna, Straubing	26.962,1	1.507,1	19.552,3	8.916,9
Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME	Aachen, Schmallenberg, Gießen	32.102,5	2.005,1	22.250,4	11.857,2
Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT	Oberhausen, Sulzbach-Rosenberg	53.931,0	3.905,9	44.698,2	13.138,8
Verfahrenstechnik und Verpackung IVV	Freising, Dresden	29.028,8	2.527,0	21.435,3	10.120,5
Summe Verbund Ressourcentechnologien und Bioökonomie		142.024,5	9.945,1	107.936,1	44.033,4
Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS					
Angewandte Polymerforschung IAP	Potsdam-Golm, Hamburg	24.798,8	3.563,3	15.374,1	12.988,1
Bauphysik IBP	Stuttgart, Holzkirchen	29.582,6	1.128,7	20.566,2	10.145,0
Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF	Darmstadt	27.293,0	1.909,1	18.014,0	11.188,1
Chemische Technologie ICT, Teilinstitut für Polymertechnik	Pfanztal	25.784,6	1.327,4	16.951,3	10.160,8
Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM	Bremen, Dresden, Stade	54.656,0	6.794,7	45.778,1	15.672,6
Holzforchung, Wilhelm-Klauditz-Institut, WKI	Braunschweig	15.037,6	1.240,9	12.476,4	3.802,1
Keramische Technologien und Systeme IKTS	Dresden, Hermsdorf	64.990,1	18.005,9	58.557,9	24.438,1
Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI	Freiburg	10.998,6	504,5	8.680,2	2.823,0
Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS	Halle	25.137,8	3.738,9	20.001,5	8.875,2
Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM	Mainz	13.102,7	595,5	7.250,7	6.447,5
Silicatiforschung ISC	Würzburg, Bayreuth	26.793,8	1.208,0	16.949,9	11.051,8
Werkstoffmechanik IWM	Freiburg	25.446,0	2.200,9	16.840,4	10.806,5
Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS	Alzenau, Hanau	7.981,2	78,2	3.447,3	4.612,1
Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP	Saarbrücken	14.168,7	988,1	7.517,5	7.639,4
Geschäftsstelle Verbund MATERIALS V-MAT	Darmstadt	453,1	0,7	62,6	391,2
Summe Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS		366.224,6	43.284,8	268.468,0	141.041,4

¹ Rundungen erfolgen anhand der Echtwerte.

Fraunhofer-Institut/-Einrichtung für	Ort	Aufwendungen		Erträge	Zuwendungs-
		Betriebshaushalt	Investitionen	Projekterträge	bedarf ¹
		2021 in T€	2021 in T€	2021 in T€	2021 in T€
Institute außerhalb von Verbänden					
Fraunhofer-Zentrale	München	42.267,6	5.896,5	7.447,6	40.716,5
Institutszentrum Birlinghoven	Sankt Augustin	427,6	27,1	31,5	423,2
Institutszentrum Stuttgart	Stuttgart	603,9	39,9	20,9	622,9
Zentrale Kosten		94.235,4	1.047,9	22.321,3	72.961,9
Fraunhofer-Kompetenznetzwerk	Ehningen	9.092,9	0,0	236,3	8.856,6
Quantencomputing					
Summe Institute außerhalb von Verbänden		146.627,4	7.011,4	30.057,6	123.581,2
Zusätzliche Forschungsförderung²					
Verteidigungs- und Sicherheitsforschung					
Angewandte Festkörperphysik IAF	Freiburg	14.608,3	1.687,8	5.967,3	10.328,8
Chemische Technologie ICT, Teilinstitut für Chemische Energieträger	Pfinztal	15.378,6	1.492,1	5.349,0	11.521,7
Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR	Wachtberg	18.063,4	1.321,9	5.811,6	13.573,7
Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE	Wachtberg	28.310,8	872,5	15.203,2	13.980,1
Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI	Freiburg	16.645,3	1.514,4	6.575,2	11.584,4
Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT	Euskirchen	6.649,8	562,3	2.187,4	5.024,8
Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Teilinstitut Ettlingen	Ettlingen	22.256,5	2.916,1	16.494,7	8.678,0
ATHENE					
ATHENE Graphische Datenbearbeitung IGD	Darmstadt	2.135,1	38,4	0,0	2.173,5
ATHENE Sichere Informationstechnologie SIT	Darmstadt	13.020,1	34,2	0,0	13.054,3
FFB					
Forschungsfertigung Batteriezelle FFB	Münster	14.498,4	710,9	15.209,3	0,0
Summe Zusätzliche Forschungsförderung		151.566,3	11.150,7	72.797,7	89.919,3
Ausbauinvestitionen			234.181,0	47.455,4	186.725,5
Leistungsrechnung		2.445.170,1	470.117,4	1.858.364,8	1.056.922,7
Finanzvolumen			2.915.287,6		

¹ Rundungen erfolgen anhand der Echtwerte.

² Ohne Vertragsforschung der verteidigungsbezogenen Institute zzgl. ATHENE und FFB.

Auszüge aus dem Anhang 2021

1. Allgemeine Erläuterungen

Die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. mit Sitz in München wird im Vereinsregister des Amtsgerichts München unter der Registernummer VR 4461 geführt.

Die Aufstellung des Jahresabschlusses zum 31. Dezember 2021 erfolgt freiwillig unter Beachtung der Vorschriften des Handelsgesetzbuches für große Kapitalgesellschaften. Die Aufstellung der Gewinn- und Verlustrechnung erfolgt nach dem Gesamtkostenverfahren.

Kernstück der Rechnungslegung der Fraunhofer-Gesellschaft ist die Leistungsrechnung, aus der sich nach Überleitung der kaufmännische Jahresabschluss ergibt.

Die Leistungsrechnung ist den Anforderungen der öffentlichen Zuwendungsgeber in Gliederung und Überleitung angepasst. Sie beinhaltet Betriebs- und Investitionshaushalte auf den Ebenen der Institute, der Zentrale und der Gesamtgesellschaft. Die Zahlen des Betriebshaushalts sind im kaufmännischen Sinn als Aufwand und Ertrag dargestellt. Die Investitionen in die Sach- und Finanzanlagen hingegen werden in Höhe

der Ausgaben zum Zeitpunkt der Anschaffung dargestellt. Abschreibungen sind daher im Betriebshaushalt nicht enthalten.

Für die Abrechnung gegenüber den Zuwendungsgebern wird die Leistungsrechnung der Gesamtgesellschaft durch Neutralisierung von nicht kassenwirksamen Erträgen und Aufwendungen zur kameralistischen Einnahmen- und Ausgabenrechnung übergeleitet. Die Gewinn- und Verlustrechnung enthält diese erfolgswirksamen Veränderungen der Forderungen und Verbindlichkeiten gegenüber dem Vorjahr sowie die Abschreibungen. In der Bilanz werden diese Überleitungen unter der Position Sonderposten »Zur Finanzierung des Umlaufvermögens verwendete Zuwendungen« ausgewiesen bzw. im Sonderposten »Zuwendungen zum Anlagevermögen« mitberücksichtigt. Im Lagebericht werden die Zahlen getrennt nach den drei Bereichen Vertragsforschung, Zusätzliche Forschungsförderung und Ausbauinvestitionen erläutert.

2. Bilanzierungs- und Bewertungsmethoden

Immaterielle Vermögensgegenstände und Sachanlagen sind zu Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten vermindert um planmäßige, lineare Abschreibungen bewertet.

Jahresabschluss der Fraunhofer-Gesellschaft		Überleitung auf kameralistische
	Gewinn- und Verlustrechnung	Einnahmen- und Ausgabenrechnung
	Überleitung auf kaufmännische Rechnungslegung	
	Leistungsrechnung	
Bilanz	Betriebs- und Investitionshaushalt auf Ebene Fraunhofer-Gesellschaft »Finanzvolumen«	
Lagebericht	Einzelabschlüsse der Institute/Zentrale	
Anhang	Betriebshaushalt Aufwand (ohne Abschreibung) Ertrag	Investitionshaushalt Ausgaben Ertrag

Immaterielle Vermögensgegenstände werden über eine Nutzungsdauer von 3 Jahren abgeschrieben.

Institutsbauten auf eigenen und fremden Grundstücken werden wie folgt abgeschrieben:

- Zugang vor April 1985 mit 2 Prozent
- Zugang zwischen 1. April 1985 und 31. Dezember 2000 mit 4 Prozent
- Zugang ab dem 1. Januar 2001 mit 3 Prozent

Für bewegliche Sachanlagen wird eine Nutzungsdauer von 5 Jahren zugrunde gelegt. Abweichend davon wird für Kommunikations-, Video- und Audioanlagen eine Nutzungsdauer von 4 Jahren und bei EDV-Hardware eine Nutzungsdauer von 3 Jahren unterstellt. Kraftfahrzeuge werden über eine Nutzungsdauer von 4 Jahren abgeschrieben.

Die Finanzanlagen sind zu Anschaffungskosten bzw. mit dem niedrigeren beizulegenden Wert angesetzt.

Da das Anlagevermögen der Ordentlichen Rechnung zuwendungsfinanziert ist, erfolgt eine Auflösung des Sonderpostens »Zuwendungen zum Anlagevermögen« in Höhe der Abschreibungen, sodass die Anpassungen erfolgsneutral sind.

Die Bewertung der unfertigen Leistungen erfolgt zu Herstellungskosten bzw. zum niedrigeren beizulegenden Wert. Die Herstellungskosten umfassen Personal- und Sacheinzelkosten, Gemeinkosten sowie Abschreibungen. Die erhaltenen Anzahlungen (einschließlich Umsatzsteuer) sind unter den Vorräten offen abgesetzt.

Forderungen aus Lieferungen und Leistungen und sonstige Vermögensgegenstände werden mit dem Nominalwert angesetzt. Uneinbringliche Forderungen werden zum Stichtag wertberichtigt. Das allgemeine Forderungsrisiko wird durch eine pauschale Wertberichtigung in Höhe von 2 Prozent des Forderungsbestands berücksichtigt.

Wertpapiere des Umlaufvermögens sind zu Anschaffungskosten angesetzt.

Die liquiden Mittel sind zu Nominalwerten angesetzt.

Geleistete Ausgaben vor dem Bilanzstichtag, die erst nach dem Bilanzstichtag aufwandswirksam werden, werden als Rechnungsabgrenzungsposten aktiviert.

Die Fraunhofer-Gesellschaft nutzt das im Rahmen ihrer Bewirtschaftungsgrundsätze verfügbare Instrument der Rücklagenbildung, um im Wesentlichen die Einnahmen aus der Lizenzierung von Audiocodierungs-Technologien mittelfristig gezielt zur Förderung ihrer eigenen Vorlaufforschung einsetzen zu können.

Die zur Finanzierung des Anlagevermögens verwendeten Zuwendungen werden dem Sonderposten »Zuwendungen zum Anlagevermögen« zugeführt. Die zur Finanzierung des Umlaufvermögens verwendeten Zuwendungen sind in einem eigenen Sonderposten eingestellt.

Die Bewertung der Pensionsrückstellungen bei bestehender Rückdeckungsversicherung erfolgt zum Bilanzstichtag mit den von der Versicherungsgesellschaft ermittelten Aktivierungswerten. Die Berechnung der Aktivierungswerte erfolgt gemäß Mitteilung der Versicherungsgesellschaft unter Zugrundelegung der »Richttafeln DAV 2004 R«. Eine Anpassung der laufenden Renten sowie der anrechenbaren Bezüge wird nicht zugrunde gelegt. Besteht keine Rückdeckungsversicherung bzw. ist der Erfüllungsbetrag der Pensionsverpflichtung höher als der Aktivierungswert der Rückdeckungsversicherung, wird eine Bewertung in Höhe des Betrags der Pensionsverpflichtung laut versicherungsmathematischem Gutachten vorgenommen. Die Bestimmung des Erfüllungsbetrags der Pensionsverpflichtung erfolgt nach dem Barwertverfahren (Methode der laufenden Einmalprämien). Für die Bewertung wurde ein Rechnungszins aus 10-jähriger Durchschnittsbildung von 1,87 Prozent gemäß § 253 Abs. 2 HGB verwendet sowie die »Heubeck-Richttafeln 2018 G« herangezogen.

Die sonstigen Rückstellungen berücksichtigen alle erkennbaren Risiken und ungewisse Verbindlichkeiten. Die Bewertung der sonstigen Rückstellungen erfolgt gemäß § 253 Abs. 1 HGB mit dem nach vernünftiger kaufmännischer Beurteilung notwendigen Erfüllungsbetrag. Sonstige Rückstellungen mit einer Laufzeit von mehr als einem Jahr wurden gemäß § 253 Abs. 2 HGB mit den von der Deutschen Bundesbank im Dezember 2021 ermittelten laufzeitabhängigen durchschnittlichen Marktzinssätzen abgezinst. Die Altersteilzeitrückstellung wurde auf Basis der abgeschlossenen Verträge sowie einer Prognose zukünftig zu erwartender Verträge berechnet.

Die Verbindlichkeiten sind mit dem Erfüllungsbetrag angesetzt.

Nicht ertragswirksame Einnahmen vor dem Bilanzstichtag werden als passiver Rechnungsabgrenzungsposten ausgewiesen.

Geschäftsvorfälle in fremder Währung werden mit den jeweiligen Sicherungskursen in Ansatz gebracht. Fremdwährungskonten werden im Jahresabschluss mit dem am Bilanzstichtag geltenden Devisenkassamittelkurs umgerechnet.

Durchlaufende Posten sind als Treuhandvermögen bzw. Treuhandverbindlichkeiten unter der Bilanz der Fraunhofer-Gesellschaft vermerkt.

Wiedergabe des Bestätigungsvermerks des Abschlussprüfers

Grundlage für die Wiedergabe des nachfolgenden Bestätigungsvermerks des Abschlussprüfers ist neben der Bilanz zum 31. Dezember 2021 und der Gewinn- und Verlustrechnung für das Geschäftsjahr 2021 auch der vollständige Anhang 2021 sowie der Lagebericht 2021.

»An die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München

Prüfungsurteile

Wir haben den Jahresabschluss der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München, – bestehend aus der Bilanz zum 31. Dezember 2021 und der Gewinn- und Verlustrechnung für das Geschäftsjahr vom 1. Januar 2021 bis zum 31. Dezember 2021 sowie dem Anhang, einschließlich der Darstellung der Bilanzierungs- und Bewertungsmethoden – geprüft. Darüber hinaus haben wir den Lagebericht der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München, für das Geschäftsjahr vom 1. Januar 2021 bis zum 31. Dezember 2021 geprüft.

Nach unserer Beurteilung aufgrund der bei der Prüfung gewonnenen Erkenntnisse

- entspricht der beigefügte Jahresabschluss in allen wesentlichen Belangen den deutschen, für Kapitalgesellschaften geltenden handelsrechtlichen Vorschriften einschließlich den ergänzenden Bestimmungen der Satzung und vermittelt unter Beachtung der deutschen Grundsätze ordnungsmäßiger Buchführung ein den tatsächlichen Verhältnissen entsprechendes Bild der Vermögens- und Finanzlage des Vereins zum 31. Dezember 2021 sowie seiner Ertragslage für das Geschäftsjahr vom 1. Januar 2021 bis zum 31. Dezember 2021 und
- vermittelt der beigefügte Lagebericht insgesamt ein zutreffendes Bild von der Lage des Vereins. In allen wesentlichen Belangen steht dieser Lagebericht in Einklang mit dem Jahresabschluss, entspricht den deutschen gesetzlichen Vorschriften und stellt die Chancen und Risiken der zukünftigen Entwicklung zutreffend dar.

Gemäß § 322 Abs. 3 Satz 1 HGB erklären wir, dass unsere Prüfung zu keinen Einwendungen gegen die Ordnungsmäßigkeit des Jahresabschlusses und des Lageberichts geführt hat.

Grundlage für die Prüfungsurteile

Wir haben unsere Prüfung des Jahresabschlusses und des Lageberichts in Übereinstimmung mit § 317 HGB unter Beachtung der vom Institut der Wirtschaftsprüfer (IDW) festgestellten deutschen Grundsätze ordnungsmäßiger Abschlussprüfung durchgeführt. Unsere Verantwortung nach diesen Vorschriften und Grundsätzen ist im Abschnitt »Verantwortung des Abschlussprüfers für die Prüfung des Jahresabschlusses und des Lageberichts« unseres Bestätigungsvermerks weitergehend beschrieben. Wir sind von dem Verein unabhängig in Übereinstimmung mit den deutschen handelsrechtlichen und berufsrechtlichen Vorschriften und haben unsere sonstigen deutschen Berufspflichten in Übereinstimmung mit diesen Anforderungen erfüllt. Wir sind der Auffassung, dass die von uns erlangten Prüfungsnachweise ausreichend und geeignet sind, um als Grundlage für unsere Prüfungsurteile zum Jahresabschluss und zum Lagebericht zu dienen.

Verantwortung der gesetzlichen Vertreter und des Senats für den Jahresabschluss und den Lagebericht

Die gesetzlichen Vertreter sind verantwortlich für die Aufstellung des Jahresabschlusses, der den deutschen, für Kapitalgesellschaften geltenden handelsrechtlichen Vorschriften in allen wesentlichen Belangen entspricht, und dafür, dass der Jahresabschluss unter Beachtung der deutschen Grundsätze ordnungsmäßiger Buchführung ein den tatsächlichen Verhältnissen entsprechendes Bild der Vermögens-, Finanz- und Ertragslage des Vereins vermittelt.

Ferner sind die gesetzlichen Vertreter verantwortlich für die internen Kontrollen, die sie in Übereinstimmung mit den deutschen Grundsätzen ordnungsmäßiger Buchführung als notwendig bestimmt haben, um die Aufstellung eines Jahresabschlusses zu ermöglichen, der frei von wesentlichen – beabsichtigten oder unbeabsichtigten – falschen Darstellungen ist.

Bei der Aufstellung des Jahresabschlusses sind die gesetzlichen Vertreter dafür verantwortlich, die Fähigkeit des Vereins zur Fortführung der Unternehmenstätigkeit zu beurteilen. Des Weiteren haben sie die Verantwortung, Sachverhalte in Zusammenhang mit der Fortführung der

Unternehmenstätigkeit, sofern einschlägig, anzugeben. Darüber hinaus sind sie dafür verantwortlich, auf der Grundlage des Rechnungslegungsgrundsatzes der Fortführung der Unternehmenstätigkeit zu bilanzieren, sofern dem nicht tatsächliche oder rechtliche Gegebenheiten entgegenstehen.

Außerdem sind die gesetzlichen Vertreter verantwortlich für die Aufstellung des Lageberichts, der insgesamt ein zutreffendes Bild von der Lage des Vereins vermittelt sowie in allen wesentlichen Belangen mit dem Jahresabschluss in Einklang steht, den deutschen gesetzlichen Vorschriften entspricht und die Chancen und Risiken der zukünftigen Entwicklung zutreffend darstellt. Ferner sind die gesetzlichen Vertreter verantwortlich für die Vorkehrungen und Maßnahmen (Systeme), die sie als notwendig erachtet haben, um die Aufstellung eines Lageberichts in Übereinstimmung mit den anzuwendenden deutschen gesetzlichen Vorschriften zu ermöglichen, und um ausreichende geeignete Nachweise für die Aussagen im Lagebericht erbringen zu können.

Der Senat beschließt die der Mitgliederversammlung vorzulegende Jahresrechnung.

Verantwortung des Abschlussprüfers für die Prüfung des Jahresabschlusses und des Lageberichts

Unsere Zielsetzung ist, hinreichende Sicherheit darüber zu erlangen, ob der Jahresabschluss als Ganzes frei von wesentlichen – beabsichtigten oder unbeabsichtigten – falschen Darstellungen ist, und ob der Lagebericht insgesamt ein zutreffendes Bild von der Lage des Vereins vermittelt sowie in allen wesentlichen Belangen mit dem Jahresabschluss sowie mit den bei der Prüfung gewonnenen Erkenntnissen in Einklang steht, den deutschen gesetzlichen Vorschriften entspricht und die Chancen und Risiken der zukünftigen Entwicklung zutreffend darstellt, sowie einen Bestätigungsvermerk zu erteilen, der unsere Prüfungsurteile zum Jahresabschluss und zum Lagebericht beinhaltet.

Hinreichende Sicherheit ist ein hohes Maß an Sicherheit, aber keine Garantie dafür, dass eine in Übereinstimmung mit § 317 HGB unter Beachtung der vom Institut der Wirtschaftsprüfer (IDW) festgestellten deutschen Grundsätze ordnungsmäßiger Abschlussprüfung durchgeführte Prüfung eine wesentliche falsche Darstellung stets aufdeckt. Falsche Darstellungen können aus Verstößen oder Unrichtigkeiten resultieren und werden als wesentlich angesehen, wenn vernünftigerweise erwartet werden könnte, dass sie einzeln oder insgesamt die auf der Grundlage dieses Jahresabschlusses und Lageberichts getroffenen wirtschaftlichen Entscheidungen von Adressaten beeinflussen.

Während der Prüfung üben wir pflichtgemäßes Ermessen aus und bewahren eine kritische Grundhaltung. Darüber hinaus

- identifizieren und beurteilen wir die Risiken wesentlicher – beabsichtigter oder unbeabsichtigter – falscher Darstellungen im Jahresabschluss und im Lagebericht, planen und führen Prüfungshandlungen als Reaktion auf diese Risiken durch sowie erlangen Prüfungsnachweise, die ausreichend und geeignet sind, um als Grundlage für unsere Prüfungsurteile zu dienen. Das Risiko, dass wesentliche falsche Darstellungen nicht aufgedeckt werden, ist bei Verstößen höher als bei Unrichtigkeiten, da Verstöße betrügerisches Zusammenwirken, Fälschungen, beabsichtigte Unvollständigkeiten, irreführende Darstellungen bzw. das Außerkraftsetzen interner Kontrollen beinhalten können.
- gewinnen wir ein Verständnis von dem für die Prüfung des Jahresabschlusses relevanten internen Kontrollsystem und den für die Prüfung des Lageberichts relevanten Vorkehrungen und Maßnahmen, um Prüfungshandlungen zu planen, die unter den gegebenen Umständen angemessen sind, jedoch nicht mit dem Ziel, ein Prüfungsurteil zur Wirksamkeit dieser Systeme des Vereins abzugeben.
- beurteilen wir die Angemessenheit der von den gesetzlichen Vertretern angewandten Rechnungslegungsmethoden sowie die Vertretbarkeit der von den gesetzlichen Vertretern dargestellten geschätzten Werte und damit zusammenhängenden Angaben.
- ziehen wir Schlussfolgerungen über die Angemessenheit des von den gesetzlichen Vertretern angewandten Rechnungslegungsgrundsatzes der Fortführung der Unternehmenstätigkeit sowie, auf der Grundlage der erlangten Prüfungsnachweise, ob eine wesentliche Unsicherheit im Zusammenhang mit Ereignissen oder Gegebenheiten besteht, die bedeutsame Zweifel an der Fähigkeit des Vereins zur Fortführung der Unternehmenstätigkeit aufwerfen können. Falls wir zu dem Schluss kommen, dass eine wesentliche Unsicherheit besteht, sind wir verpflichtet, im Bestätigungsvermerk auf die dazugehörigen Angaben im Jahresabschluss und im Lagebericht aufmerksam zu machen oder, falls diese Angaben unangemessen sind, unser jeweiliges Prüfungsurteil zu modifizieren. Wir ziehen unsere Schlussfolgerungen auf der Grundlage der bis zum Datum unseres Bestätigungsvermerks erlangten Prüfungsnachweise. Zukünftige Ereignisse oder Gegebenheiten können jedoch dazu führen, dass der Verein seine Unternehmenstätigkeit nicht mehr fortführen kann.
- beurteilen wir die Gesamtdarstellung, den Aufbau und den Inhalt des Jahresabschlusses einschließlich der Angaben sowie ob der Jahresabschluss die zugrunde liegenden Geschäftsvorfälle und Ereignisse so darstellt, dass der Jahresabschluss unter Beachtung der deutschen Grundsätze

ordnungsmäßiger Buchführung ein den tatsächlichen Verhältnissen entsprechendes Bild der Vermögens-, Finanz- und Ertragslage des Vereins vermittelt.

- beurteilen wir den Einklang des Lageberichts mit dem Jahresabschluss, seine Gesetzesentsprechung und das von ihm vermittelte Bild von der Lage des Vereins.
- führen wir Prüfungshandlungen zu den von den gesetzlichen Vertretern dargestellten zukunftsorientierten Angaben im Lagebericht durch. Auf Basis ausreichender geeigneter Prüfungsnachweise vollziehen wir dabei insbesondere die den zukunftsorientierten Angaben von den gesetzlichen Vertretern zugrunde gelegten bedeutsamen Annahmen nach und beurteilen die sachgerechte Ableitung der zukunftsorientierten Angaben aus diesen Annahmen. Ein eigenständiges Prüfungsurteil zu den zukunftsorientierten Angaben sowie zu den zugrunde liegenden Annahmen geben wir nicht ab. Es besteht ein erhebliches unvermeidbares Risiko, dass künftige Ereignisse wesentlich von den zukunftsorientierten Angaben abweichen.

Wir erörtern mit den für die Überwachung Verantwortlichen unter anderem den geplanten Umfang und die Zeitplanung der Prüfung sowie bedeutsame Prüfungsfeststellungen, einschließlich etwaiger Mängel im internen Kontrollsystem, die wir während unserer Prüfung feststellen.

Nürnberg, den 25. März 2022

Rödl & Partner GmbH
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Steuerberatungsgesellschaft

gez. Vogel	gez. Hahn
Wirtschaftsprüfer	Wirtschaftsprüfer

(An dieser Stelle endet die Wiedergabe des Bestätigungsvermerks des Abschlussprüfers.)«



Fahrradfahren ist gesund für Körper und Geist. Wenn mit regional angebautem Löwenzahnkautschuk bereits jetzt »grüne« Fahrradreifen und künftig Autoreifen produziert werden, hilft das der Umwelt auf dem ganzen Planeten (S. 100).

Service

Struktur der Fraunhofer-Gesellschaft	142
Mitglieder, Organe, Gremien	144
Weitere Initiativen und Forschungsstrukturen	146
Fraunhofer Deutschland	150
Fraunhofer International	152
Impressum	154

Die Struktur der Fraunhofer-Gesellschaft

Einrichtungen und Aufgaben

Der Vorstand besteht aus dem Präsidenten und weiteren hauptamtlichen Mitgliedern. Zu seinen Aufgaben zählen die Geschäftsführung, die Vertretung der Fraunhofer-Gesellschaft nach innen und außen, die Erarbeitung der Grundzüge der Wissenschafts- und Forschungspolitik, die Ausbau- und Finanzplanung, die Akquisition der Grundfinanzierung und ihre Verteilung auf die Institute sowie die Berufung der Institutsleitungen.

Unter dem Dach von Fraunhofer arbeiten **76 Institute und Forschungseinrichtungen** an Standorten in ganz Deutschland. Sie agieren selbstständig auf dem Markt und wirtschaften eigenverantwortlich. Sie sind in neun thematisch orientierten **Fraunhofer-Verbänden** organisiert. Deren Ziele sind die fachliche Abstimmung innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft und ein gemeinsames Auftreten am Markt. Die Sprecher der Verbände bilden zusammen mit dem Vorstand das Präsidium der Fraunhofer-Gesellschaft. Das Präsidium beteiligt sich an der Entscheidungsfindung des Vorstands und hat ein Vorschlags-, Empfehlungs- und Anhörungsrecht.

Der **Senat** umfasst etwa 30 Mitglieder; es sind Persönlichkeiten aus Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlichem Leben, Vertretungen des Bundes und der Länder sowie Mitglieder des Wissenschaftlich-Technischen Rats (WTR). Der Senat beruft den Vorstand und legt die Grundzüge der Wissenschafts- und Forschungspolitik fest. Er beschließt Errichtungen, Wandlungen oder Auflösungen von Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft.

Die **Mitgliederversammlung** besteht aus den Mitgliedern der Fraunhofer-Gesellschaft. Mitglieder von Amts wegen sind die Senatorinnen und Senatoren, der Vorstand, die Institutsleitungen und die Kuratorinnen und Kuratoren. Ordentliche Mitglieder können natürliche und juristische Personen werden, die die Arbeit der Fraunhofer-Gesellschaft fördern wollen. Forschende sowie Förderinnen und Förderer der Gesellschaft können für besondere Verdienste zu Ehrenmitgliedern ernannt werden. Die Mitgliederversammlung wählt die Senatorinnen und Senatoren, entlastet den Vorstand und beschließt Satzungsänderungen.

Der **Wissenschaftlich-Technische Rat** (WTR) ist ein internes Beratungsorgan. Zu ihm gehören die Institutsleitungen und pro Institut eine vom wissenschaftlichen und technischen Personal gewählte Vertretung. Der WTR berät den Vorstand und die übrigen Organe bei Fragen von grundsätzlicher Bedeutung. Er spricht Empfehlungen bezüglich der Forschungs- und Personalpolitik aus, nimmt zu Institutsgründungen und -schließungen Stellung und wirkt bei der Berufung von Institutsleitungen mit.

Die **Kuratorien** sind externe Beratungsorgane der Institute. Sie umfassen Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlichem Leben. Die etwa zwölf Mitglieder pro Institut werden vom Vorstand im Einvernehmen mit der Institutsleitung berufen. Die Kuratorien beraten die Institutsleitung und den Vorstand in Fragen der fachlichen Ausrichtung und strukturellen Veränderung des Instituts.

Struktur der Fraunhofer-Gesellschaft



Mitglieder, Organe, Gremien

Mitglieder

Die Fraunhofer-Gesellschaft zählt 1202 Mitglieder, die sich aus 221 ordentlichen Mitgliedern, 973 Mitgliedern von Amts wegen und 9 Ehrenmitgliedern zusammensetzen. Einige Mitglieder haben mehrere Funktionen.

Ehrenmitglieder

Dr.-Ing. Peter Draheim

Dr. Alfred Hauff

Dr.-Ing. Horst Nasko

Dr. Dirk-Meints Polter

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Ekkehard D. Schulz

Dr. Markus Söder

Prof. Dr. rer. nat. Erwin Sommer

Prof. Klaus-Dieter Vöhringer

Dr. rer. pol. Hans-Ulrich Wiese

Prof. Dr. phil. habil. Dr.-Ing. Birgit Spanner-Ulmer
Stellvertretende Vorsitzende des Senats der Fraunhofer-Gesellschaft, Direktorin für Produktion und Technik des Bayerischen Rundfunks

Oliver Zipse
Stellvertretender Vorsitzender des Senats der Fraunhofer-Gesellschaft, Vorstandsvorsitzender der BMW AG

Dr. Oliver Blume
Mitglied des Vorstands der Volkswagen AG
Vorstandsvorsitzender der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG

Dr. Roland Busch
Vorstandsvorsitzender der Siemens AG

Anja-Isabel Dotzenrath
Executive Vice President Gas and Low Carbon Energy und Mitglied des Vorstands der bp p.l.c. (ab 01.03.2022)

Kerstin Grosse
Geschäftsführerin der DEROSI invest GmbH

Sabine Herold
Geschäftsführende Gesellschafterin von DELO Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA

Reiner Hoffmann
Vorsitzender des Deutschen Gewerkschaftsbundes DGB

Pär Malmhagen
Chief Operation Officer von ABC Technologies

Natalie Mekelburger
Vorsitzende der Geschäftsführung der Coroplast Fritz Müller GmbH & Co. KG

Bernard Meyer
Geschäftsführer MEYER WERFT GmbH & Co. KG

Tankred Schipanski

Dr.-Ing. Katrin Sternberg
Member of the Executive Board R&D & QRM der Aesculap AG

Dr.-Ing. Karl Tragl
Vorstandsvorsitzender und Chief Executive Officer der Wacker Neuson SE

Grazia Vittadini
Rolls-Royce Chief Technology and Strategy Officer

Dr.-Ing. Anna-Katharina Wittenstein
Mitglied des Vorstands der WITTENSTEIN SE

Mitglieder aus dem staatlichen Bereich Vertreterinnen und Vertreter der Bundesebene
MinDirig Dr. Ole Janssen

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Parlamentarischer Staatssekretär Dr. h. c. Thomas Sattelberger
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (ab 9.3.2022)

MinR Dr. Dirk Tielbürger
Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)

Vertreterinnen und Vertreter der Länder

Staatssekretärin Dr. Sabine Johannsen
Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur

MinDirig Günther Leßnerkraus
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg

Staatsrat Tim Cordßen-Ryglewski
Bremer Senatorin für Wissenschaft und Häfen

Mitglieder aus dem Wissenschaftlich-Technischen Rat (WTR)

Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger
Geschäftsführender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS

Senat

Mitglieder aus Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlichem Leben

Prof. Dr.-Ing. Heinz Jörg Fuhrmann
Vorsitzender des Senats der Fraunhofer-Gesellschaft

Dipl.-Ing. Stefan Schmidt
Stellvertretender Vorsitzender
des WTR, Fraunhofer-Institut
für Materialfluss und Logistik
IML

Prof. Dr. rer. nat. habil.
Andreas Tünnermann
Vorsitzender des WTR,
Leiter des Fraunhofer-Instituts
für Angewandte Optik und
Feinmechanik IOF

Ehrenszenator

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h.
Dr. h. c. Ekkehard D. Schulz

Ständige Gäste

Staatssekretär Carsten Feller
Thüringer Ministerium für
Wirtschaft, Wissenschaft und
Digitale Gesellschaft

Prof. Dr.-Ing.
Anke Kaysser-Pyzalla
Vorsitzende des Vorstands
des Deutschen Zentrums für
Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

Dr. Susanne Reichrath
Beauftragte des Minister-
präsidenten für Hochschulen,
Wissenschaft und Techno-
logie, Staatskanzlei des
Saarlandes

Dipl.-Inform.
Stefan Rughöft
Stellvertretender Vorsitzender
des Gesamtbetriebsrats der
Fraunhofer-Gesellschaft,
Fraunhofer-Institut für Offene
Kommunikationssysteme
FOKUS

Prof. Dr. Martin Stratmann
Präsident der Max-Planck-
Gesellschaft zur Förderung
der Wissenschaften e. V.

Dipl.-Ing. Dominik Toussaint
Vorsitzender des Gesamt-
betriebsrats der Fraunhofer-
Gesellschaft,
Fraunhofer-Institut für
System- und Innovations-
forschung ISI

Prof. Dr. Dorothea Wagner
Vorsitzende des
Wissenschaftsrats

MinDirig Dr. Manfred Wolter
Bayerisches Staatsministerium
für Wirtschaft, Landesent-
wicklung und Energie

Kuratorien

Für die Institute der
Gesellschaft sind 851 Kura-
torinnen und Kuratoren
tätig; einige davon gehören
mehreren Institutskuratorien
zugleich an.

Wissenschaftlich- Technischer Rat (WTR)

Der WTR zählt 181 Mitglie-
der, 109 davon als Mitglieder
der Institutsleitungen und 72
als gewählte Vertretungen
der wissenschaftlichen und
technischen Mitarbeitenden.

Vorsitzender des WTR:
Prof. Dr. rer. nat. habil.
Andreas Tünnermann
Leiter des Fraunhofer-Instituts
für Angewandte Optik und
Feinmechanik IOF

Präsidium

Das Präsidium der Fraunhofer-
Gesellschaft besteht aus
den Vorständen und den im
Folgenden aufgeführten neun
Vorsitzenden der Fraunhofer-
Verbünde und dem Vorsitzen-
den des Leistungsbereichs:

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer
Fraunhofer-Verbund
Innovationsforschung

Prof. Dr. Karsten Buse
Fraunhofer-Verbund Light &
Surfaces

Prof. Dr.-Ing.
Welf-Guntram Drossel
Fraunhofer-Verbund
Produktion

Prof. Dr. Dr. Gerd Geißlinger
Fraunhofer-Verbund
Gesundheit

Prof. Dr. Peter Gumbsch
Fraunhofer-Verbund Werk-
stoffe, Bauteile – Materials

Prof. Dr.
Hans-Martin Henning
Fraunhofer-Verbund
Energietechnologien und
Klimaschutz

Prof. Dr.-Ing.
Albert Heuberger
Fraunhofer-Verbund
Mikroelektronik

Prof. Dr.-Ing. Boris Otto
Fraunhofer-Verbund
IUK-Technologie

Prof. Dr.-Ing.
Eckhard Weidner
Fraunhofer-Verbund
Ressourcentechnologien und
Bioökonomie

Präsidiumsmitglied mit beratender Stimme

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer
Fraunhofer-Leistungsbereich
Verteidigung, Vorbeugung
und Sicherheit VVS

Vorstand

Prof. Dr.-Ing. habil.
Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. mult.
Dr. h. c. mult.
Reimund Neugebauer
(Präsident)

Prof. Dr. rer. publ. ass. iur.
Alexander Kurz

Dipl.-Kfm. Andreas Meurer

Auflistung der Gremien-
mitglieder mit Stand vom
31. Januar 2022

Weitere Initiativen und Forschungsstrukturen

Impact-Ziele

Impact-Ziele sollen Fraunhofer zu einem geschärften Profil bei Politik, Industrie und Gesellschaft verhelfen. Sie adressieren gesellschaftliche und branchenübergreifende Herausforderungen und zeigen, in welchen Bereichen Fraunhofer durch interdisziplinäre Zusammenarbeit signifikante Lösungen beisteuern kann.

- bezahlbare Gesundheit
- vollendete Energiewende
- digitalisierte Wertschöpfung
- ganzheitliche Kreislaufwirtschaft
- Sicherheit und resiliente Gesellschaft

Fraunhofer Strategische Forschungsfelder

Die Fraunhofer Strategischen Forschungsfelder definieren die systemrelevanten und portfoliobildenden Forschungsschwerpunkte der Fraunhofer-Gesellschaft. Unter Berücksichtigung von Relevanz, Strategie und Priorität positioniert sich Fraunhofer mit folgenden Forschungsfeldern (s. dazu auch das Kapitel »Projekte und Ergebnisse«, S. 72 ff.):

- Bioökonomie
- Intelligente Medizin
- Künstliche Intelligenz
- Next Generation Computing
- Quantentechnologien
- Ressourceneffizienz und Klimatechnologien
- Wasserstofftechnologien

Adressierung der Leitmärkte durch die Fraunhofer-Allianzen

Analog zu Forschungsfeldern hat Fraunhofer strategische Kundensegmente – sogenannte Leitmärkte – definiert. Sie verfolgen das Ziel, durch Innovationen einen globalen Wettbewerbsvorteil für Deutschland zu erzielen, die Technologie-souveränität Deutschlands und Europas zu sichern sowie nachhaltige Wertschöpfung für die Gesellschaft zu generieren. Über die strategischen Kundensegmente der Leitmärkte

erhalten Kunden Zugang zu branchenorientierten Leistungsangeboten von Fraunhofer.

- Leitmarkt Anlagen-, Maschinen- und Fahrzeugbau (Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion)
- Leitmarkt Bauwirtschaft (Fraunhofer-Allianz Bau)
- Leitmarkt Chemische Industrie (Fraunhofer-Allianz Chemische Industrie)
- Leitmarkt Digitalwirtschaft (Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz BIG DATA AI)
- Leitmarkt Energiewirtschaft (Fraunhofer-Allianz Energie, kooperierend mit den Allianzen Batterien und SysWasser)
- Leitmarkt Ernährungswirtschaft (Fraunhofer-Allianz Ernährungswirtschaft)
- Leitmarkt Gesundheitswirtschaft (Fraunhofer Gesundheit, kooperierend mit der Allianz Assisted Healthy Living)
- Leitmarkt Luft- und Raumfahrtwirtschaft (Fraunhofer-Allianz Aviation and Space)
- Leitmarkt Mobilitätswirtschaft (Fraunhofer-Allianz Verkehr)

Fraunhofer-Verbünde

Im Fraunhofer-Modell stehen Verbünde gleichsam für Orte der gemeinsamen Ressourcennutzung und des solidarischen Schulterschlusses. Mission der Verbünde ist es, ihre wissenschaftliche Exzellenz in den jeweiligen Forschungsfeldern zu sichern und weiterzuentwickeln.

Die Institute mit Zielrichtung Sicherheit von Mensch, Gesellschaft und Staat koordinieren ihre Aktivitäten im Leistungsbereich Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit VVS. Derzeit agieren kompetenzorientierte Verbünde in folgenden Feldern:

- Energietechnologien und Klimaschutz
- Gesundheit
- Innovationsforschung
- IUK-Technologie
- Light & Surfaces
- Mikroelektronik
- Produktion
- Ressourcentechnologien und Bioökonomie
- Werkstoffe, Bauteile – Materials

Fraunhofer Cluster of Excellence

Um exzellente Forschung auf Weltklasse-Niveau mit internationaler Profilierung für ein Zukunftsthema in der anwendungsorientierten Forschung voranzutreiben, wurden 2017 die Fraunhofer Cluster of Excellence geschaffen. Die Cluster unterstützen die langfristige Zusammenarbeit mehrerer Fraunhofer-Institute mit strategischen Roadmaps für systemrelevante Innovationen mit potenziell disruptivem Charakter. Sie sind inhaltlich getriebene und auf zunächst fünf Jahre angelegte Initiativen unter einer verantwortlichen Leitung. Die Cluster sind in bestehende (Infra-)Strukturen integriert und in der Regel über mehrere Standorte verteilt. Somit wirken sie wie ein virtuelles Institut.

Anfang 2021 durchliefen alle sechs laufenden Cluster eine Zwischenevaluierung mit externen Fachevaluatoren. Dabei demonstrierten sie sehr gutes Potenzial für eine langfristige Kooperationsstruktur. Deren Ausbau wird seit 2021 in einer zweiten Förderphase vorangetrieben, um die Cluster of Excellence langfristig in der Fraunhofer-Gesellschaft zu verankern.

- Integrated Energy Systems CINES – System- und Marktintegration hoher Anteile variabler erneuerbarer Energien in das Energiesystem
- Circular Plastics Economy CCPE – Wege zu einer wissensbasierten Kunststoff-Kreislaufwirtschaft für Wirtschaft und Gesellschaft
- Advanced Photon Sources CAPS – Lasersysteme höchster Leistung bei kürzesten Impulsen
- Cognitive Internet Technologies CCIT – Schlüsseltechnologien für das Kognitive Internet. Mit den Kompetenzzentren Machine Learning, IoT-COMMs, Data Spaces
- Immune-Mediated Diseases CIMD – Individualisierte Therapie und Diagnostik für Fehlregulationen des Immunsystems
- Programmable Materials CPM – Materialien mit reversiblen Funktionalitäten, die Systeme aus Sensoren und Aktoren ersetzen können

Leitprojekte

Durch die Bündelung von Kapazitäten in den Leitprojekten setzt die Fraunhofer-Gesellschaft strategische Schwerpunkte in der Vorlauftforschung. Die Konsortien aus Fraunhofer-Instituten setzen wissenschaftlich originäre Ideen schnell in marktfähige Produkte um.

Laufende Leitprojekte

- RNAuto – mRNA-Therapeutika automatisiert produzieren
- SUBI²MA – Nachhaltige biobasierte und biohybride Materialien
- NeurOSmart – HPC-Power im Sensorsystem

- 6G SENTINEL – Mobilfunk der nächsten Generation
- FutureProteins – Hochwertiges Eiweiß weltweit
- ALBACOPTER[®] – Experimentalplattform eines vertikalen Gleiters
- ShaPID – Green Deal für die chemische Industrie
- WASTE4FUTURE – Vom Abfall zum Rohstoff
- SWAP – Hierarchische Schwärme als auslastungsoptimierbare Produktionsarchitektur
- MaNiTU – Materialien für nachhaltige Tandemsolarzellen mit höchster Umwandlungseffizienz
- EIKaWe – Elektrokalendarische Wärmepumpen
- QMAG – Quantenmagnetometrie
- EVOLOPRO – Evolutionäre Selbstanpassung von komplexen Produktionsprozessen und Produkten
- COGNAC – Cognitive Agriculture
- MED²ICIN – Digitales Patientenmodell für die kostenintelligente Medizin

Abgeschlossene Leitprojekte

- ML4P – Machine Learning for Production
- QUILT – Quantum Methods for Advanced Imaging Solutions
- ZEPOWEL – Towards Zero Power Electronics
- eHarsh – Sensorsysteme für raue Umgebungen
- Future AM – Nächste Generation Additive Manufacturing
- Go Beyond 4.0 – Digitale Druck- und Laserverfahren in der Massenproduktion
- Verbrennungsmotor für die Mobilität der Zukunft – neue Antriebe, Kraftstoffe und KI
- Strom als Rohstoff – Elektrochemische Verfahren für fluktuierende Energie- und Rohstoffsysteme
- Theranostische Implantate – Zulassungsrelevante Entwicklung von Schlüsseltechnologien
- Kritikalität Seltener Erden – Effizienz beim Einsatz von strategischen Hightech-Metallen
- E³-Produktion – Paradigmenwechsel in der Produktionstechnik: Von maximalem Gewinn aus minimalem Kapitaleinsatz zu maximaler Wertschöpfung bei minimalem Ressourceneinsatz
- Elektromobilität – Innovative Technologien und Komponenten für Hybrid- und Elektrofahrzeuge
- Zellfreie Bioproduktion – Eiweiße im industriellen Maßstab ohne Zellen herstellen

Leistungszentren

In bereits 21 Leistungszentren in Deutschland und weiteren an internationalen Standorten organisiert Fraunhofer den Schulterschluss der universitären und außeruniversitären Forschung mit der Wirtschaft.

Universitäten, Hochschulen, Fraunhofer-Institute und weitere außeruniversitäre Forschungseinrichtungen arbeiten an einem Standort themenspezifisch mit Unternehmen und

zivilgesellschaftlichen Akteuren zusammen, um Innovationen schnell in die Anwendung zu bringen. Leistungszentren stehen für exzellente, organisationsübergreifend nutzbare Infrastruktur, Ausbildungskonzepte und Know-how. Sie führen passende Partner zusammen und begleiten Ideen als Innovationslotsen bis in den Markt.

Ab 2022 werden die Leistungszentren mit einem präzisierten Programmmanagement in ihrer Funktion als regionale Innovationsökosysteme weiterentwickelt. Die Schärfung des Konzepts soll ein dynamisches System fördern, das Transferleuchttürme belohnt und den direkten regionalen Impact von Forschung sichtbar macht (s. S. 57).

- Chemie- und Biosystemtechnik, Region Halle-Leipzig
- Digitale Vernetzung, Berlin
- Dynaflex – Technologien für die Energie- und Rohstoff-wende, Oberhausen
- Elektroniksysteme, Erlangen
- Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik, Dresden/Chemnitz
- GreenMat4H2 – GreenMaterials for Hydrogen, Hanau/Darmstadt
- Innovative Therapeutika, Frankfurt am Main
- Integration biologischer und physikalisch-chemischer Materialfunktionen, Potsdam-Golm
- Intelligente Signalanalyse- und Assistenzsysteme – InSignA, Ilmenau
- Logistik und IT, Dortmund
- Mass Personalization, Stuttgart
- Medizin- und Pharmatechnologie, Hannover/Braunschweig/Lübeck
- Mobilitätssysteme, Karlsruhe
- Nachhaltigkeit, Freiburg
- Photonik, Jena
- Sensor-Intelligenz, Saarland
- Sichere Intelligente Systeme, München
- Simulations- und Software-basierte Innovation, Kaiserslautern
- Smart Production and Materials, Chemnitz/Dresden
- Sustainable Subsea Solutions, Rostock/Lübeck
- Vernetzte Adaptive Produktion, Aachen

Leistungszentren mit internationaler Beteiligung

- Additive Technologien für Medizin und Gesundheit, Wrocław, Polen
- Systemforschung und Transfer für die Automobil-zuliefererindustrie, Liberec, Tschechische Republik

Kooperationen

Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB

Ziel der Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB ist es, den Innovations- und Kommerzialisierungsprozess von Produktionstechnologien für bestehende und zukünftige Batteriezellformate zu beschleunigen. Damit sollen Batterietechnologien effizienter, günstiger und in höchster Qualität produziert und so internationale Abhängigkeiten von anderen Märkten der Energiespeichertechnologien langfristig vermieden werden.

Im Vordergrund steht der Erfahrungsgewinn im Betrieb einer großskaligen Forschungsfertigung, um auf diesem Gebiet Kompetenzen auszubauen und Lücken zu schließen.

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)

Als größter standortübergreifender FuE-Zusammenschluss für die Mikro- und Nanoelektronik in Europa bietet die Forschungsfabrik Mikroelektronik (FMD) eine einzigartige Kompetenz- und Infrastrukturvielfalt. Die FMD schlägt dabei die Brücke von der Grundlagenforschung bis zur kundenspezifischen Produktentwicklung.

Die FMD versteht sich als internationaler Innovationstreiber: Als »One Stop Shop« bietet sie gerade den KMU und Start-ups einen umfassenderen und einfacheren Zugang zu Hochtechnologien sowie Zugriff auf Anlagen- und Technologiepools für die Erprobung neuer Produkte.

Dabei kooperieren elf Fraunhofer-Institute des Verbunds Mikroelektronik mit den beiden Leibniz-Instituten Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH) sowie Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP).

Lernlabor Cybersicherheit

Im Weiterbildungsprogramm Lernlabor Cybersicherheit haben sich sieben Fraunhofer-Institute und ausgewählte Fachhochschulen in ganz Deutschland zusammengeschlossen. In hochwertig ausgestatteten Laboren mit realen Arbeitsumgebungen können Teilnehmende der Weiterbildungen die Auswirkungen von Hackerangriffen hautnah erleben, beispielsweise auf die Schaltzentrale eines Kraftwerks oder eines Produktionsfließbands in der industriellen Produktion.

Max Planck School of Photonics

Das Bundesministerium für Forschung und Bildung fördert die Max Planck Schools als neue Marke der Graduiertenausbildung. Die Max Planck School wird federführend vom Fraunhofer-Institut für Optik und Feinmechanik IOF in Jena geleitet.

Kooperationspartner sind die Fraunhofer-Institute für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF (federführend), für

Lasertechnik ILT, die Max-Planck-Institute für biophysikalische Chemie (BPC), für die Physik des Lichts (MPL), für Quantenoptik (MPQ), das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY), das Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung Institut Jena (GSI HIJ) sowie das Leibniz-Institut für Photonische Technologien (IPHT).

Nationales Forschungszentrum für angewandte Cybersicherheit ATHENE

Mehr als 500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschen unter dem Dach von ATHENE zu Herausforderungen der Cybersicherheit.

Beispielsweise erforscht ATHENE, wie man die kritischen Infrastrukturen Deutschlands (Strom, Verkehr usw.) zuverlässig schützt und wie man IT-Systeme langfristig absichert, selbst angesichts neuer Technologien wie Quantencomputern. Darüber hinaus identifiziert ATHENE fortlaufend, umfassend und vorausschauend die wichtigen, anwendungsorientierten Fragen der Cybersicherheit und der Privatheit.

ATHENE ist ein Forschungszentrum der Fraunhofer-Gesellschaft (Institute für Sichere Informationstechnologie SIT sowie für Graphische Datenverarbeitung IGD) unter Beteiligung der Technischen Universität Darmstadt und der Hochschule Darmstadt. Das nationale Forschungszentrum ist ein innovatives Kooperationsmodell von universitärer und außeruniversitärer Forschung, die Spitzenforschung zum Wohle von Gesellschaft, Wirtschaft und Staat ermöglicht.

Internationale Initiativen

Fraunhofer Innovation Platform for Applied Artificial Intelligence for Materials & Manufacturing FIP-AI@VSB-TUO, Ostrava, Tschechische Republik

Im Juni 2021 startete eine Zusammenarbeit zwischen der Technischen Universität Ostrava, dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT. Ziel der Kooperation ist es, neuartige Lösungsansätze für die Wärmerückgewinnung in der Industrie auf Basis modularer Konzepte für Energiespeicher und Wärmetauscher-Systeme zu erforschen und diese Ansätze mit Lösungen für digitale Produktionstechnologien und die Integration in Prozessketten zu verknüpfen.

Fraunhofer Innovation Platform for Smart Shipping FIP-S2@Novia, Turku, Finnland

Das Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML und die Novia University of Applied Sciences in Turku forschen seit 2021 gemeinsam an intelligenten maritimen Technologien. Zu den Schwerpunkten gehören maritime Simulationen und Digitale Zwillinge, also virtuelle Kopien eines Schiffs, eines Schiffsteils oder von Häfen, mit denen zum

Beispiel der Betrieb verschiedener Systeme oder der Energieverbrauch untersucht werden kann.

Weitere Initiativen

International Data Spaces Association

Die Digitalisierung ist gleichzeitig Treiber und Befähiger innovativer Geschäftsmodelle. In diesem Kontext gewinnen Daten als Wirtschaftsgut zunehmend an Bedeutung.

Die Initiative International Data Spaces (ehemals: Industrial Data Space e. V.) zielt darauf ab, einen sicheren Datenraum zu schaffen, der Unternehmen verschiedener Branchen und aller Größen die souveräne Bewirtschaftung ihrer Datengüter ermöglicht. Dabei sind die International Data Spaces nicht durch geographische Grenzen limitiert, sondern haben eine europäische bzw. internationale Ausrichtung. Ende 2021 zählt die Vereinigung 133 Mitglieder aus 22 Ländern.

Proof-of-Concept-Initiative für die translationale Gesundheitsforschung

Helmholtz-Gemeinschaft, Fraunhofer-Gesellschaft und die Deutsche Hochschulmedizin erproben seit 2017 mit der Proof-of-Concept-Initiative (PoC) ein organisationsübergreifendes Format, um die schnellere und effizientere Umsetzung präklinischer Forschung in die klinische Entwicklung zu fördern. Ziel ist die Beschleunigung des Translationsprozesses von hochinnovativen Ansätzen aus der Grundlagenforschung bis in die medizinische Praxis – also die Weiterentwicklung neuer, potenziell heilsamer Substanzen und Verfahren zu Kandidaten für anwendbare Therapeutika und Medizinprodukte durch die Industrie.

2021 wurden bisherige Ergebnisse der Pilotprojekte Vertretern aus Politik, Industrie und Forschung präsentiert und die Potenziale für den Translationsprozess in Deutschland und für die Weiterentwicklung der Initiative zu einer nationalen Plattform diskutiert.

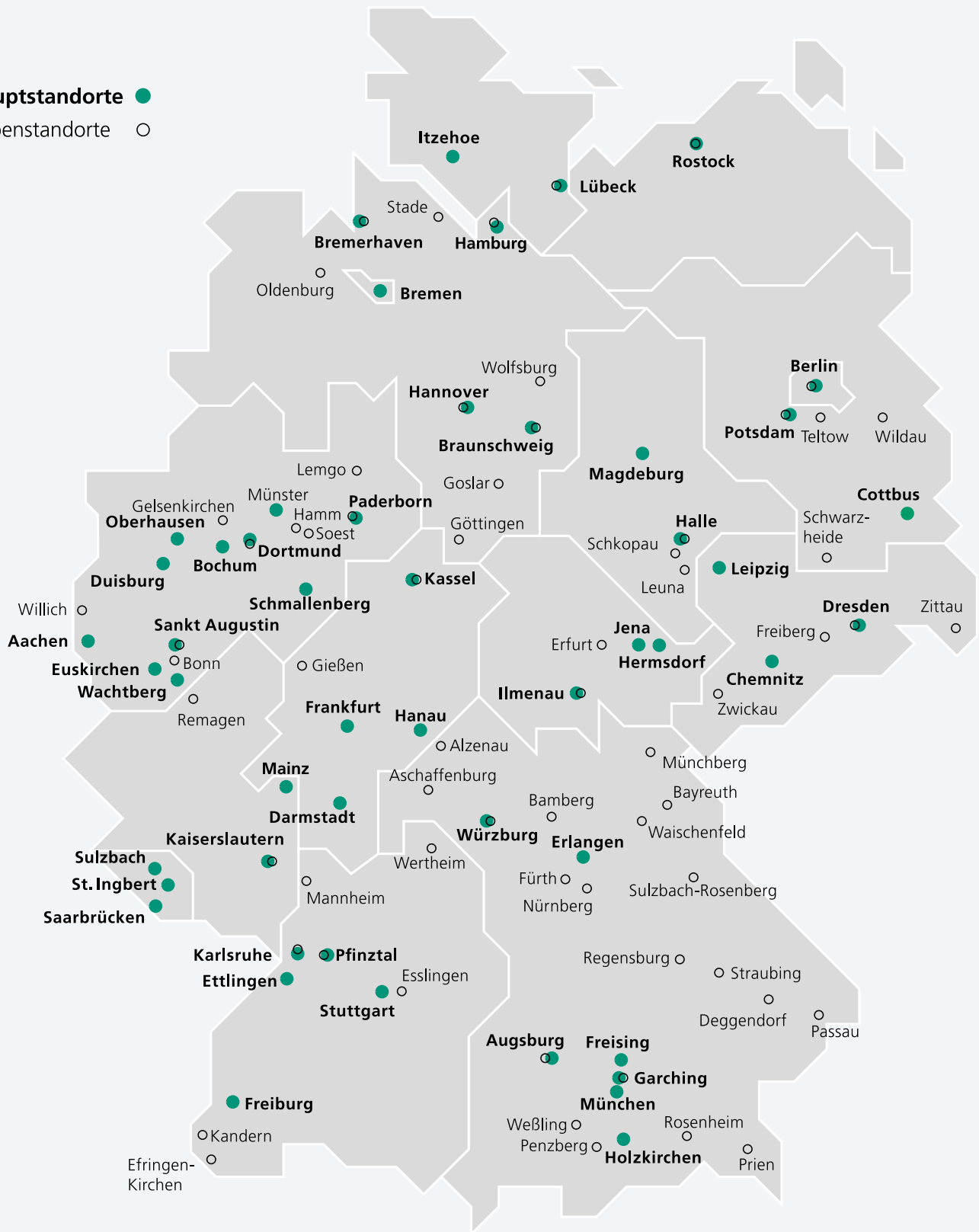
Zentren

Fraunhofer-Zentren sind interdisziplinäre und an einem Standort fokussierte Aktivitäten mehrerer Fraunhofer-Institute. Erreicht werden soll ein langfristiges Engagement am Standort, um dort ein spezifisches Thema zu verankern.

- Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS, Berlin
- Mikroelektronische und Optische Systeme für die Biomedizin MEOS, Erfurt
- Energiespeicher und Systeme ZESS, Braunschweig
- Stammzellprozesstechnik, Würzburg
- Leichtbau und Elektromobilität, Wolfsburg

Hauptstandorte ●

Nebenstandorte ○



Fraunhofer Deutschland

Postanschrift

Postfach 20 07 33
80007 München
Telefon +49 89 1205-0
Fax +49 89 1205-7531
info@fraunhofer.de

Besucheradresse

Hansastraße 27 c
80686 München

Vorstand

Präsident, Unternehmenspolitik, Forschung, Internationales,
Technologiemarketing, Geschäftsmodelle (bis 31. Dezember 2021)
Präsident, Unternehmensstrategie, Forschung und
Kommunikation (seit 1. Januar 2022)
Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. mult. Dr. h. c. mult.
Reimund Neugebauer

Personal, Recht und Verwertung (bis 31. Dezember 2021)
Innovation, Transfer und Verwertung, komm. Personal,
Unternehmenskultur und Recht (seit 1. Januar 2022)
Prof. Dr. rer. publ. ass. iur. Alexander Kurz

Finanzen und Digitalisierung (bis 31. Dezember 2021)
Finanzen und Controlling, komm. Forschungsinfrastrukturen
und Digitalisierung (seit 1. Januar 2022)
Dipl.-Kfm. Andreas Meuer

Forschungsfelder und Kontaktadressen aller
Fraunhofer-Institute und Fraunhofer-Verbünde sowie
der Ansprechpartner in der Zentrale sind in englischer
und deutscher Sprache über das Internet abrufbar:

www.fraunhofer.de

Historische

Fraunhofer-Glashütte

Fraunhoferstraße 1
83671 Benediktbeuern



Fraunhofer International

Ansprechpartner in Deutschland

Fraunhofer-Gesellschaft,
Internationale
Forschungsprogramme
und Netzwerke
Thomas Dickert
Telefon +49 89 1205-4700
Fax +49 89 1205-77-4700
thomas.dickert@
zv.fraunhofer.de
Hansastraße 27 c
80686 München

Fraunhofer-
Auslandsgesellschaften
und -Vertretungen
Torsten Nyncke
Telefon +49 89 1205-4721
torsten.nyncke@
zv.fraunhofer.de
Hansastraße 27 c
80686 München

Ansprechpartner in Brüssel

Fraunhofer-Gesellschaft
Büro Brüssel
Verena Fennemann MBA
Telefon +32 2 50642-45
verena.fennemann@
zv.fraunhofer.de
Rue Royale 94
1000 Brüssel, Belgien

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt selbstständige Auslands-
gesellschaften in Europa und in Nord- und Südamerika. Welt-
weit bilden Fraunhofer Representative Offices und Fraunhofer
Senior Advisors die Brücke zu den lokalen Märkten. Ein Büro in
Brüssel fungiert als Schnittstelle zwischen Fraunhofer und den
europäischen Institutionen. Acht selbstständige Fraunhofer-
Auslandsgesellschaften in Europa, Nord- und Südamerika
sowie Asien betreiben Forschung im Fraunhofer-Modell und
bereichern so das Fraunhofer-Netzwerk. Die Kontaktadressen
sind über das Internet abrufbar:

www.fraunhofer.de

Impressum

Redaktion

Josef Oskar Seitz (verantw.)
Tanja Schmutzer (Ltg.)
Eva Bachmann
Mandy Bartel
Thomas Röll
Christoph Schneider

Produktion und Layout

Silke Schneider

Satz

SCS Grafikdesign,
Christin Schneider

Druck

Aumüller Druck GmbH

Bildquelle

Titel: Noam Cohen/
EyeEm/AdobeStock

Forschungsfelder und Kontaktadressen aller Fraunhofer-Institute und Fraunhofer-Verbünde sind in englischer und deutscher Sprache über das Internet abrufbar:
www.fraunhofer.de

You can call up the addresses, focal fields of research, and contacts for all Fraunhofer Institutes and Groups in English or German on the Internet:
www.fraunhofer.de

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Gesellschaft
Hansastraße 27 c
80686 München
Josef Oskar Seitz
Wissenschaftskommunikation
Corporate Media
Telefon +49 89 1205-1310
josef.seitz@zv.fraunhofer.de

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München 2022

