



Fraunhofer
IPM

Fraunhofer-Institut für Physikalische
Messtechnik IPM

Jahresbericht 2023/2024

Messen • Kontrollieren • Optimieren

<< Titelbild:

Mithilfe von Thermopiles lassen sich Temperaturen berührungslos messen. Fraunhofer IPM entwickelt hochempfindliche Thermopiles auf Basis neuartiger thermoelektrischer Materialien in MEMS-Technologie.

Jahresbericht 2023/2024

Messen • Kontrollieren • Optimieren





**Messtechnik lohnt sich in vielfacher
Hinsicht: für mehr Sicherheit, Qualität
und Effizienz.«**

Prof. Karsten Buse, Institutsleiter

Messtechnik schafft Sicherheit

Sehr geehrte Kundinnen und Kunden, sehr geehrte Partnerinnen und Partner,

Qualitätssicherung, Ausschuss- und Ausfallminimierung, Ressourceneffizienz und Produktschutz motivieren Unternehmen, in die Messtechnik von Fraunhofer IPM zu investieren – ganz gleich, ob sie die Systeme selbst nutzen oder nach der Entwicklung in Serie produzieren und vermarkten. Das lohnt sich auch finanziell: Ein »Return on Invest« (ROI) stellt sich hier oft rasch ein, fast immer bereits nach einem Jahr. Eine sehr starke, weit weniger beachtete Motivation, Messtechnik einzusetzen, ist das Schaffen von Sicherheit vor technischen Risiken. Auch hier rechnet sich die Investition oft zeitnah, und spannenderweise handeln gleich alle drei ausführlichen Projektbeispiele in diesem Jahresbericht davon:

Fehlerfreie mechanische Bauteile sind für das sichere Funktionieren von Maschinen essenziell. Ein gegossener Bremssattel beim Pkw beispielsweise muss alle Haltehaken aufweisen, damit ein plötzliches Versagen ausgeschlossen ist. Eine 100-Prozent-Kontrolle in 3D ist hier nötig und dank unserer Freifall-Messtechnik jetzt auch effizient möglich. So lassen sich teure Rückrufaktionen vermeiden, und die Prämien für Haftpflichtversicherungen sinken.

Damit uns keine Decke auf den Kopf fällt, nicht sprichwörtlich, sondern erdrückend physikalisch, ist es gesetzlich vorgeschrieben, Tunnel regelmäßig zu inspizieren. Heute tun dies Menschen per Hammerschlag, oft von fahrbaren Gerüsten aus, indem sie die Tunneloberfläche Stück für Stück abklopfen und Fehlstellen »hören«. Das dauert, das kostet und das ist subjektiv. Wir hämmern jetzt mit Laserpulsen und messen mit Lasermikrofonen. Der optische Hammerschlagtest ist schneller und besser und spart somit Geld – bei höherer Qualität und Sicherheit.

Bei der Energiewende kommt es weiter auf chemische Energieträger an. Fossile Stoffe werden zunehmend durch Wasserstoff ersetzt. Auch wird Energie elektrisch in Batterien gespeichert. Klar ist: Kommt es zur plötzlichen Freisetzung der gespeicherten Energie, bleibt in der unmittelbaren Umgebung kein Stein auf dem anderen. Um das zu vermeiden, müssen technische Bereiche dauerhaft mithilfe von Wasserstoffsensoren auf Leckagen überwacht werden. Das betrifft die Wasserstoffinfrastruktur insgesamt, aber auch Brennstoffzellen oder elektrische Batterien, welche ebenfalls Wasserstoff freisetzen können. Unsere integrierten Wärmeleitfähigkeits-Wasserstoffsensoren sind dafür eine sehr gute Lösung. Auch hier ist der ROI gegeben: Weniger manuelle Messungen, geringere Versicherungsprämien

und ein höherer Absatz entsprechender Produkte, weil Kundinnen und Kunden sicher sein können, dass eine Überwachung integriert und damit das Risiko minimiert ist.

Der Begriff Sicherheit – und dessen englische Entsprechung »Safety« – spielt bei uns auch an anderen Stellen eine große Rolle: Die »Functional Safety« unserer Messsysteme muss jederzeit garantiert sein. Unsere Sensoren überwachen sich also selbst und melden sich, wenn sie nicht mehr funktionieren – auch wenn dies zum Glück sehr selten vorkommt!

Ebenso wichtig ist es uns, dass die Menschen, die Messtechnik einsetzen, nicht zu Schaden kommen. Unsere Systeme vermessen Stahlbrammen, die noch sehr heiß sind. Unsere Systeme werden in Fertigungslinien eingesetzt, in denen Stahlbleche schnell wie ein D-Zug durch Fertigungslinien sausen. Unsere Systeme sind auf Zügen, in Minen, in Reaktoren, in Kanälen mit Grubengasen und in vielen weiteren unwirtlichen Umgebungen unterwegs, bis heute oft von Menschen getragen und bedient. Das Thema Arbeitssicherheit kommt also ins Spiel. Aus diesem Grund investieren wir aktuell sehr stark in autonome Messrobotik – mit dem zusätzlichen Vorteil, dass sich diese positiv auf den ROI beim Kunden auswirkt. Roboter, die ganze Bauwerke begehen, durch Kanäle kriechen und schadlos in Fertigungsanlagen Messungen durchführen können, werden zukünftig fester Bestandteil unseres Messsystem-Portfolios sein. Wundern Sie sich also bitte nicht, wenn Sie uns besuchen und Ihnen autonom fahrende Testsysteme im Haus begegnen. Diese gehören zu uns und sind friedlich. Und wenn Sie mehr darüber erfahren möchten, dann sind Sie bei uns an der richtigen Adresse!

Zögern Sie also nicht, unseren [monatlichen Newsletter zu abonnieren](#) und uns in den sozialen Medien zu folgen, insbesondere LinkedIn. So entgeht Ihnen mit Sicherheit nichts!

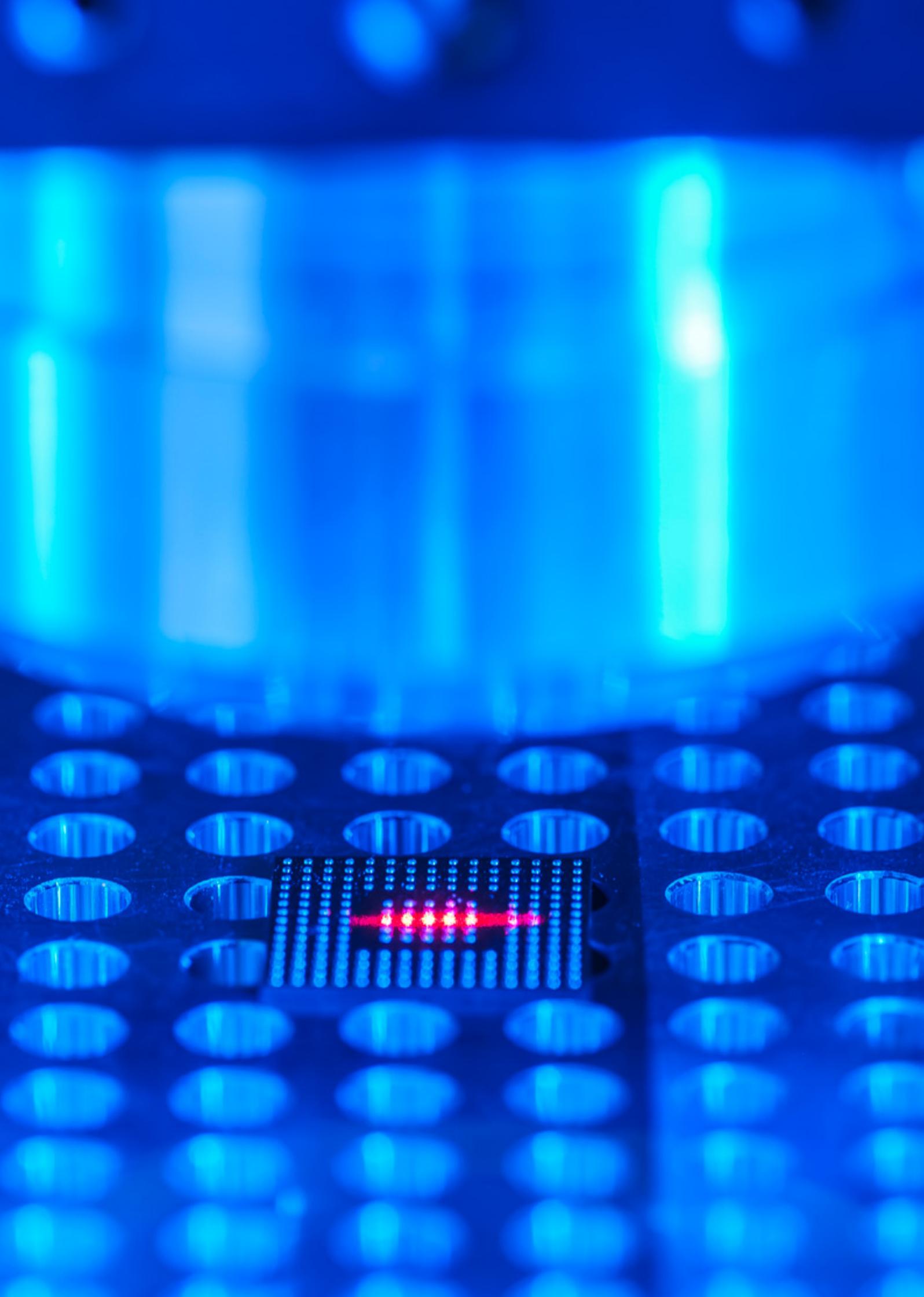
Ihnen Sicherheit auf all Ihren Wegen, gern natürlich gemeinsam mit uns,



Prof. Karsten Buse, Institutsleiter

Inhalt

Editorial	3
Überblick	6
Zahlen	8
Organisation	10
Kuratorium	12
Investitionen	13
Professuren	14
Magazin	16
Kurz berichtet	16
Kundeninterview: Plasmatreat GmbH	24
Geschäftsfelder	26
Produktionskontrolle	28
Highlights: Projekte · Innovationen · Veranstaltungen	30
Fokus: Inline-Qualitätskontrolle	40
Objekt- und Formerfassung	42
Highlights: Projekte · Innovationen · Veranstaltungen	44
Fokus: Optische Bauwerksprüfung	50
Gas- und Prozesstechnologie	52
Highlights: Projekte · Innovationen · Veranstaltungen	54
Fokus: Sensorik zur Temperaturmessung	64
Index	66
Publikationen Berichte	68
Patente Doktorarbeiten	74
Großprojekte	76
Netzwerk	77
Fraunhofer-Gesellschaft	78
Impressum	80



Überblick Fraunhofer IPM

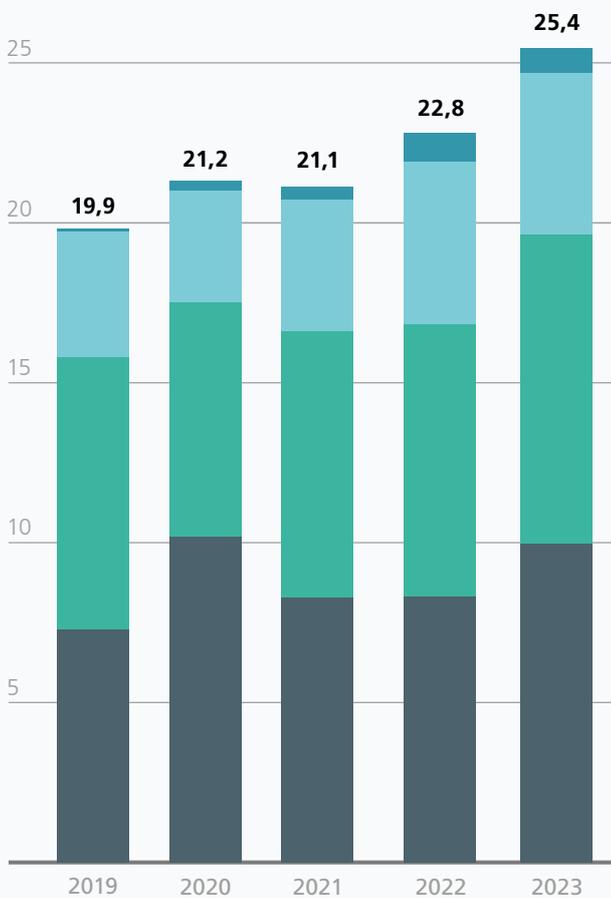




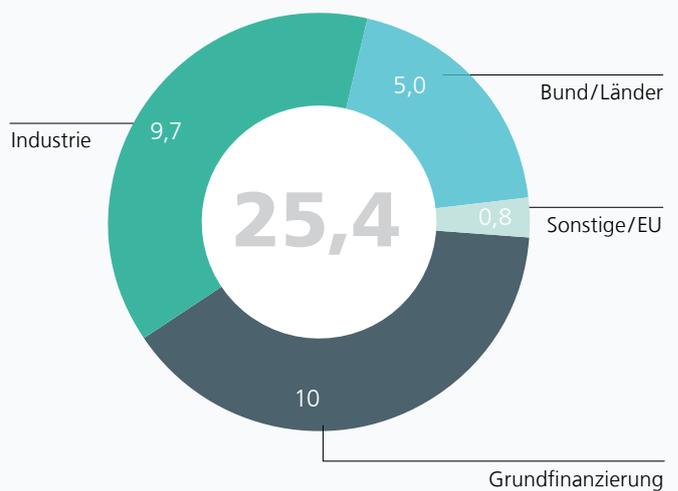
Zahlen Fraunhofer IPM



Entwicklung Betriebshaushalt in Mio. Euro



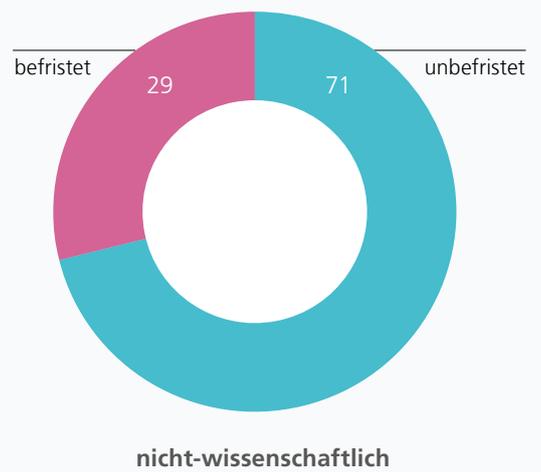
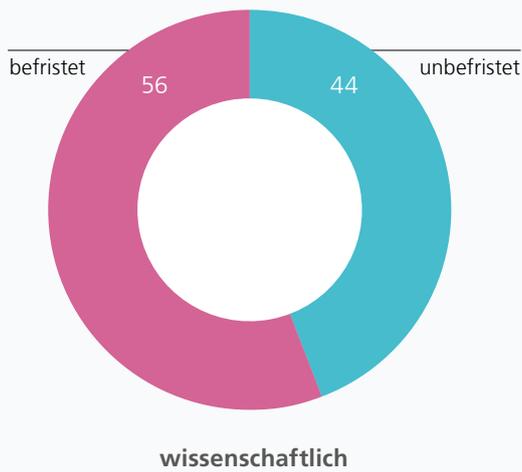
Betriebshaushalt 2023 in Mio. Euro



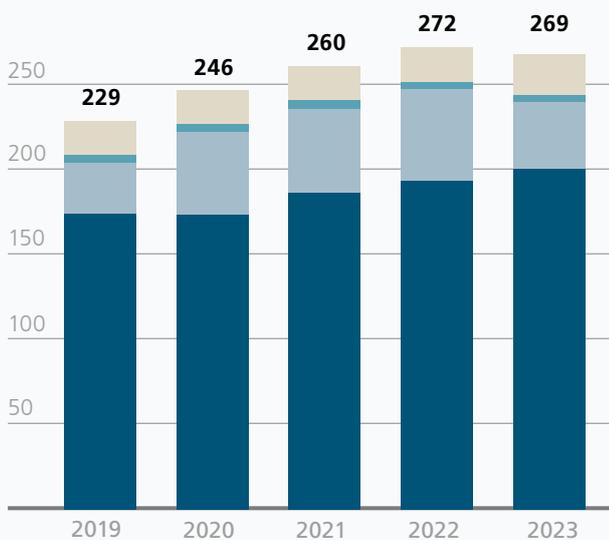
- Grundfinanzierung
- Industrie

- Bund/Länder
- Sonstige/EU

Beschäftigte nach TVöD Anteil befristeter/unbefristeter Verträge 2023

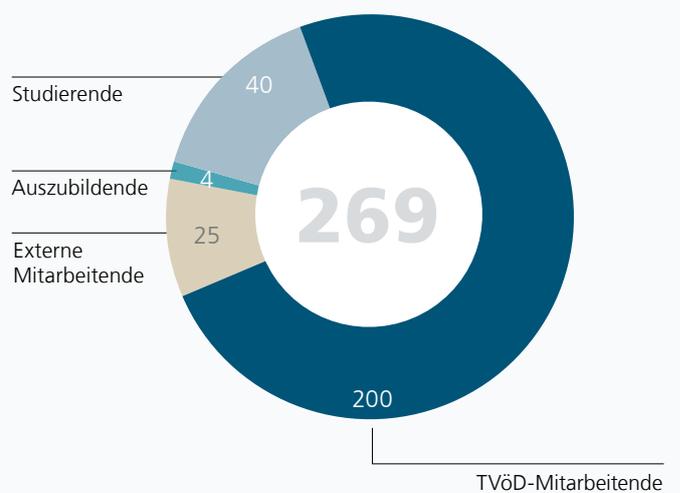


Entwicklung Anzahl der Mitarbeitenden



- TVöD-Mitarbeitende
- Studierende
- Auszubildende
- Externe Mitarbeitende

Mitarbeitende 2023



Organisation

INSTITUTSLEITUNG



Institutsleiter
Prof. Dr. Karsten Buse



**Stellv.
Institutsleiter**
Dr. Daniel Carl

KOMMUNIKATION UND MEDIEN



**Leiter
Kommunikation
und Medien**
Holger Kock

VERWALTUNG UND IT



Verwaltungsleiter
Wolfgang Oesterling



Verwaltung
Sabine Gabele



**Informations- und
Telekommuni-
kationstechnik**
Gerd Kühner



**Recruiting und
Personalentwicklung**
Saskia Sailer

TECHNISCHE DIENSTE



Technischer Leiter
Clemens Faller



**Mechanik
und Konstruktion**
Thomas Hinrichs



Betriebstechnik
Benjamin Schlegel



Forschung und
Strategie

Dr. Milena Hugenschmidt



Organisations-
entwicklung

Dr. Heinrich Stülpnagel

PRODUKTIONSKONTROLLE ▶ Seite 28



Abteilungsleiter

Dr. Daniel Carl



Optische
Oberflächenanalytik

Dr. Alexander Blättermann



Inline Vision
Systeme

Dr. Tobias Schmid-Schirling



Geometrische
Inline-Messsysteme

Dr. Alexander Bertz

OBJEKT- UND FORMERFASSUNG ▶ Seite 42



Abteilungsleiter

Prof. Dr. Alexander Reiterer



Mobiles
terrestrisches
Scanning

Dr. Philipp von Olshausen



Airborne- und
Unterwasser-
Scanning

Dr. Christoph Werner



Autonome
Messrobotik

Dominik Merkle



Mobile Bahn-
Messtechnik

Dr. Kira Zschiesche



3D-Geodaten-
Analyse

Benedikt Rombach

GAS- UND PROZESSTECHNOLOGIE ▶ Seite 52



Abteilungsleiter

Prof. Dr. Jürgen
Wöllenstein



Integrated Sensor
Systems

Dr. Benedikt Bierer



Spektroskopie
und Prozessanalytik

Dr. Raimund Brunner



Thermische
Messtechnik
und Systeme

Dr. Katrin Schmitt



Nichtlineare
Optik und
Quantensensorik

PD Dr. Frank Kühnemann



Kalorische
Systeme

Dr. Kilian Bartholomé

Kuratorium Gut beraten

Ein hochkarätig besetztes Team berät und unterstützt uns bei der strategischen Ausrichtung und Weichenstellungen für die Zukunft. Einmal jährlich trifft sich das Kuratorium zum persönlichen Austausch in Freiburg – mit dabei sind auch Vertreterinnen und Vertreter der Fraunhofer-Gesellschaft.

Vorsitzender

Dr. Lutz Aschke
Photonic Systems Group
(bis 30.06.2024)

Dr. Mirko Lehmann
Endress+Hauser Flowtec AG
(ab 01.07.2024)

Mitglieder

Sebastian Bannert
Robert Bosch GmbH

Hanna Böhme
FWTM Freiburg Wirtschaft Touristik und
Messe GmbH & Co. KG

Stephanie Busse
DB InfraGO AG

Dr. Mathias Jonas
Internationale Hydrographische Organi-
sation

Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert
RWTH Aachen, Lehrstuhl und Institut für
Baumanagement, Digitales Bauen und
Robotik im Bauwesen

Dr. Fabian Lausen
Bundesministerium für Bildung und
Forschung

Claus Mayer
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und
Wohnungsbau Baden-Württemberg

Dr. Stefan Raible
Sciosense Germany GmbH

Prof. Dr. Michael Totzeck
Carl Zeiss AG

Prof. Dr. Ulrike Wallrabe
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK



Investitionen 2023

Auch 2023 haben wir wieder in unsere Infrastruktur und Ausrüstung investiert. Damit können wir neue technische Möglichkeiten voll ausschöpfen, um unsere Kundinnen und Kunden mit exzellenter Forschung bestmöglich zu unterstützen.

Profilometer für die Messung von Oberflächeneigenschaften

Im Rahmen unserer Forschung stellen wir mehrlagige Dünn- und Dickschichtstrukturen mit mikrosystemtechnischen Verfahren her. Mit einem neu erworbenen Profilometer stellen wir sicher, dass die Aufbauten den Modellen und Simulationen exakt entsprechen. Das Tastschnittgerät misst die geometrische Beschaffenheit von gezielt strukturierten oder auch technischen Oberflächen. Die Messdaten schaffen die Grundlage für eine optimierte Entwicklung der Schichtsysteme.

CNC-Drehmaschine mit Y-Achse

Eine CNC-Universal-Drehmaschine mit Y-Achse und Schnittstelle für angetriebene Werkzeuge erleichtert die Fertigung anspruchsvoller und komplexer Werkstücke in unserer hauseigenen mechanischen Werkstatt. Das System dreht, bohrt und fräht Bauteile in einem Bearbeitungsgang und ist frei programmierbar für jegliche Werkstückkonturen. Bisher wurden gedrehte Werkstücke auf einer separaten Fräsmaschine weiterbearbeitet – zu Lasten von Produktivität und Genauigkeit. Die Kombinationsbearbeitung ist

Voraussetzung, um die immer höheren Anforderungen an Komponenten besonders in Industrieprojekten bedienen zu können. Dabei unterstützt auch die optimierte Maschinensteuerung anhand von 3D-Grafiken.

Forschungsfahrzeug als Entwicklungsplattform für Messsysteme

Für grundsätzliche wissenschaftlich-technische Fragestellungen rund um die Entwicklung von Mobile-Mapping-Fahrzeugen steht uns ein neues Fahrzeug zur Verfügung. Der Mercedes Vito ist mit einem Dachrahmen für die Befestigung von Sensorik, einem Rack für die Bestückung von Netzwerk- und Stromversorgungsinfrastruktur im Fahrzeuginneren sowie mit Puffer-Batterien für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung ausgestattet. Ein Rundum-Laserscanner, zwei Panoramakameras und vier hochauflösende RGB-Kameras bilden die Grundausstattung für die präzise Vermessung der Straßenumgebung. In diesem mobilen Labor sollen neue Hardware-Komponenten ebenso wie Auswertungssoftware für unsere Messsysteme unter realen Bedingungen getestet werden. Auch Referenzdaten für die Wissenschaft sollen mit dem Fahrzeug generiert werden.

Hardware- und Softwarekomponenten für unsere Mobile-Mapping-Fahrzeuge testen wir ab sofort an einem eigenen, speziell ausgerüsteten Messfahrzeug.



Professuren Universität & Hochschule

Fraunhofer IPM ist mit drei Professuren und einer Privatdozentur an der Universität Freiburg vertreten. Durch die enge Universitätsanbindung können wir in unserer Projektarbeit auf neueste Ergebnisse aus der Grundlagenforschung aufbauen. Auch kooperiert das Institut wirkungsvoll mit der Hochschule Furtwangen.

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG

universität freiburg

Institut für Mikrosystemtechnik – IMTEK

Professur für Optische Systeme

Prof. Dr. Karsten Buse

PD Dr. Ingo Breunig

imtek.de/professuren/optische-systeme



Forschungsschwerpunkte

- Nichtlinear-optische Materialien
- Optische Flüstergalerieresonatoren
- Miniaturisierte Festkörperlaser
- Optische Frequenzkonverter (optisch-parametrische Oszillatoren, OPO)
- Frequenzkämme
- Schnelles Durchstimmen von Laserfrequenzen
- Integrierte Optik

Professur für Gassensoren

Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein

Dr. Katrin Schmitt

imtek.de/professuren/gassensoren



Forschungsschwerpunkte

- Mikrostrukturierte Gassensoren
- Mikrostrukturierte IR-Strahler für das MIR
- Laserspektroskopie
- Kompakte optische Gasmesssysteme
- Photoakustik
- Katalytische Sensoren für brennbare Gase
- Systemintegration

Institut für Nachhaltige Technische Systeme – INATECH

Professur für Monitoring von Großstrukturen

Prof. Dr. Alexander Reiterer

Annette Schmitt

inatech.de/alexander-reiterer



Forschungsschwerpunkte

- Inspektion und Überwachung von Großstrukturen
- Entwicklung und Implementierung neuartiger Sensorkonzepte auf Basis von Laserscannern und Kameras
- Datenanalyse und -interpretation, dabei Fokus auf die Verknüpfung von Einflussparametern, verursachenden Kräften und gemessenen Veränderungen
- Entwicklung und Umsetzung kompletter Systemketten – von der Datenakquisition bis zur Datenauswertung



*In direkter Nachbarschaft: Die Technische Fakultät der Universität
Freiburg mit dem Institut für Mikrosystemtechnik*

HOCHSCHULE FURTWANGEN



Fakultät Digitale Medien

Professur für Computergrafik

Prof. Christoph Müller

[hs-furtwangen.de/fakultaeten/
digitale-medien](https://hs-furtwangen.de/fakultaeten/digitale-medien)

Forschungsschwerpunkte

- Echtzeit 3D-Visualisierung in Industrie und Medizin
- Interaktive Visualisierungslösungen in der Messtechnik
- Fotorealismus in der Echtzeit-Computergrafik
- Software-Engineering in der 3D-Computergrafik
- Synthetische Trainingsdaten für KI-basierte Bildklassifikation

Magazin Kurz berichtet

Unser Jubiläum: 50 Jahre Spitzenforschung

Aus Anlass unseres 50-jährigen Jubiläums im Juli 2023 haben wir Vertreter und Vertreterinnen aus Politik, Forschung und Industrie eingeladen, um mit uns fünf Jahrzehnte Spitzenforschung am Fraunhofer IPM zu feiern und dabei auch den Blick in die Zukunft zur richten: In einer Podiumsdiskussion ging es um das Thema nachhaltiges und bezahlbares Bauen und Wohnen – und welchen Beitrag unsere Messtechnik dazu in Zukunft leisten kann.

Gegründet wurde Fraunhofer IPM 1973 als Fraunhofer-Institut für Physikalische Weltraumforschung IPW. Nach einer strategischen Neuausrichtung in den 80er-Jahren liegt der Forschungsschwerpunkt heute auf der industriellen Messtechnik. In seiner Willkommensrede dankte Institutsleiter Prof. Karsten Buse



allen Mitarbeitenden sowie den Partnerinnen und Partnern aus Wissenschaft, Politik und Industrie für ihre Unterstützung. Wie kompetitiv die Entwicklungen von Fraunhofer IPM sind, fasste er in einem Satz zusammen: »Unsere Messsysteme setzen oftmals Weltrekorde bei Geschwindigkeit, Genauigkeit und Robustheit.«



Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik kamen ans Fraunhofer IPM, um zusammen mit den Mitarbeitenden die Forschungsleistungen des Instituts über die vergangenen 50 Jahre zu würdigen.

Prof. Stefan Rensing, Prorektor für Forschung und Innovation der Universität Freiburg, verwies auf die enge Verbindung durch Professuren an der Universität und die erfolgreiche Zusammenarbeit bei der Entwicklung energieeffizienter, intelligenter und widerstandsfähiger Systeme. Auch Ulrich von Kirchbach, erster Bürgermeister der Stadt Freiburg, lobte die starke Partnerschaft zwischen der Fraunhofer-Gesellschaft und Freiburg als einem der wichtigsten Fraunhofer-Standorte in Deutschland. Zum Ausklang der Jubiläumsfeier zeigte Fraunhofer IPM in einer kleinen Ausstellung einige Messtechnik-Anwendungen aus den Abteilungen: ein Messfahrzeug zur 3D-Datenerfassung von Straßen und Gebäuden, ein System zur Beölungsprüfung von Blechen in Presswerken, einen Sensor zur Gasferndetektion aus der Luft sowie Kernkomponenten eines elektrokalisches Kühlkreislafs.



Fraunhofer IPM steht beispielhaft dafür, dass exzellente angewandte Forschung und wirtschaftlicher Erfolg Hand in Hand gehen.«

Dr. Sandra Krey, Vorstandin der Fraunhofer-Gesellschaft

10. Gassensor-Workshop wieder vor Ort

Auch der 10. Gassensor-Workshop am Fraunhofer IPM sorgte für viel Begeisterung: Über 60 Teilnehmende freuten sich über ein vielfältiges Programm und eine große Fachaussstellung zu Themen der Gasesmesstechnik.

Nachdem der letzte Gassensor-Workshop im Coronajahr 2021 digital stattfinden musste, trafen sich die Teilnehmenden am 16. März 2023 wieder vor Ort. Dort erwarteten sie zahlreiche Themen – von der Laserspektroskopie für die industrielle Gasanalyse über die »Schiffsemissions-Überwachung mittels kalibrierfreier optischer Fernmessung« bis hin zu Trends in der kompakten Photoakustik. Die Vorträge hielten Expertinnen und Experten aus Industrie und Forschung. Abgerundet wurde das Programm durch eine Ausstellung, in der neben Fraunhofer IPM auch Industriepartner wie InfraTec, Micro-Hybrid, m-u-t und Tycza Industrie Gase ihre Exponate zeigten. Der nächste Gassensor-Workshop ist für den 20. März 2025 geplant.



 **GASSENSOR
WORKSHOP**

gassensoren.fraunhofer.de



Passend zum übergreifenden Thema »Nachhaltigkeit« begleiteten die Freiburger Institutsleiter Professor Hanselka mit dem Fahrrad von Institut zu Institut.

Neuer Fraunhofer-Präsident besucht Freiburger Institute

Ende September 2023 besuchte Fraunhofer-Präsident Professor Holger Hanselka Freiburg und informierte sich über die vielfältige Forschung zum Thema Nachhaltigkeit an den fünf Fraunhofer-Instituten. Am Fraunhofer IPM erfuhr er, wie wir Messtechnik einsetzen, um industrielle Prozesse effizienter zu machen und Ressourcen zu sparen.

Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zeigten dem neuen Fraunhofer-Präsidenten Mobile-Mapping-Fahrzeuge zur effizienten Kartierung urbaner Umgebungen, extrem schnelle und präzise Messtechnik für die Reduktion von Ausschuss bei der Fertigung von Elektronik-Chips sowie neuartige Laserquellen als Basis für Umweltmesstechnik. Der Besuch war Teil der Dialogtour des Präsidenten, die ihn sukzessive an verschiedene Fraunhofer-Standorte führte, um sich mit Mitarbeitenden und auch externen Stakeholdern auszutauschen.



Erste Erlebnisse sind etwas Besonderes und Freiburg ist die erste Station meiner Dialogtour.«

Prof. Holger Hanselka, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft



Dr. Daniel Carl erläutert Fraunhofer-Präsident Hanselka, wie der F-Scanner Ölaufgaben in der Fertigungslinie eines Presswerks prüft und damit hilft, Ressourcen einzusparen.



Dr. Chiara Lindner vom Fraunhofer IPM (Mitte) erhielt den Hugo-Geiger-Preis für ihre Promotion auf dem Gebiet der Quantensensorik. (Weitere Preisträger: Dr. Agnes Bußmann, Fraunhofer EMFT und Dr. Robert Klas, Fraunhofer IOF)

Hugo-Geiger-Preis für Promotion zu Quantensensorik

Erneute Auszeichnung für Dr. Chiara Lindner: Für ihre Promotionsarbeit erhielt sie 2023 den Hugo-Geiger-Preis für exzellente Promotionen in der angewandten Forschung. Bereits 2022 war ihre Arbeit mit dem Quantum Futur Award des BMBF ausgezeichnet worden.

In ihrer Promotion mit Fraunhofer IPM hat Lindner ein Quanten-Fourier-Transform-Spektrometer entwickelt, das es ermöglicht, die Zusammensetzung verschiedenster Proben schnell und genau zu messen – mit nur einem Millionstel der Lichtintensität klassischer Fourier-Transform-Infrarot (FTIR)-Spektrometer. Dazu kombinierte sie die FTIR-Spektroskopie mit Quantensensorik. Dadurch wird es möglich, die technologisch aufwändigen, teuren und qualitativ begrenzten Infrarotdetektoren durch schnellere, günstigere und rauschärmere Siliziumdetektoren zu ersetzen. So ergeben sich neue Anwendungsmöglichkeiten, z. B. bei der Untersuchung biologischer Proben.

Der Hugo-Geiger-Preis wird jedes Jahr vom Freistaat Bayern gemeinsam mit der Fraunhofer-Gesellschaft an drei junge Forschende verliehen. Eine Jury bewertet die wissenschaftliche Qualität, wirtschaftliche Relevanz, Neuartigkeit und Interdisziplinarität der Promotionsarbeiten.



Pionier der Atmosphärenforschung: Dr. Gerhard Schmidtke, langjähriger Mitarbeiter des Instituts, erhielt 2023 den Verdienstorden des Landes, überreicht von Ministerpräsident Winfried Kretschmann.

Verdienstorden des Landes Baden-Württemberg

Wie wirkt die Sonnenstrahlung auf die Atmosphäre und damit auch auf das Erdklima? Diese Frage beschäftigte den 1937 geborenen Physiker Dr. Gerhard Schmidtke lange bevor das Thema Klimawandel auf die globale Agenda gelangte. Für seine Forschungsarbeiten erhielt er 2023 den Verdienstorden des Landes Baden-Württemberg. Institutsleiter Prof. Karsten Buse hatte Schmidtke für die Auszeichnung vorgeschlagen – aufgrund herausragender Forschungsleistungen, aber auch wegen des unermüdlichen gesellschaftlichen Engagements des Freiburgers.

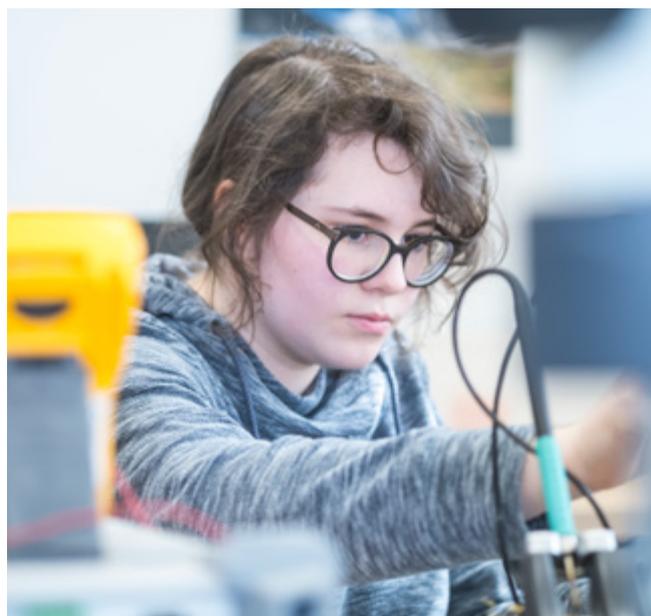
Seit mehr als 60 Jahren forscht Schmidtke zum besseren Verständnis der Erdatmosphäre, 40 Jahre davon am Fraunhofer IPM. Schmidtke gehörte zu den ersten Mitarbeitenden des Instituts und war u. a. der strategische und wissenschaftliche Kopf hinter SolACES, einem Experiment auf der Internationalen Raumstation ISS. Von 2008 bis 2017 – über beinahe einen vollständigen elfjährigen Sonnenzyklus – lieferte das SolACES-Instrument hochpräzise Daten zur Intensität der Sonnenstrahlung und damit über die stark schwankende Sonnenaktivität. Die Daten helfen, die Wechselwirkung von Sonne und Planet zu verstehen und fließen in Klimamodelle ein. Obschon seit mehr als 25 Jahren im Ruhestand, forscht Schmidtke auch heute noch. Seine Erkenntnisse zur »Strahlungs-Imbalance«, dem natürlichen Treibhauseffekt, helfen dabei, den menschengemachten Treibhauseffekt und seine Folgen besser zu verstehen.



Open Floor: Leute treffen, Räume entdecken

Erstmalig fand 2023 die Veranstaltungsreihe »Open Floor« am Fraunhofer IPM statt: Mitarbeitende hatten Gelegenheit, sich unser im Jahr 2020 bezogenes Gebäude anzuschauen und so unterschiedlichste Arbeitsbereiche zu entdecken und Kolleginnen und Kollegen kennenzulernen.

Unter dem Motto »Leute treffen, Räume entdecken« bekamen alle Mitarbeitenden die Chance, an fünf Tagen der offenen Tür für jeweils zwei Stunden auf einer Etage zusammenzukommen und gemeinsam das Gebäude aus ganz neuen Blickwinkeln kennenzulernen. Im Februar ging es los mit dem Untergeschoss, danach öffnete monatlich ein anderes Geschoss seine Türen. Für Unterhaltung sorgten dabei nicht nur die Kolleginnen und Kollegen, die Einblick in ihre Arbeit gaben, sondern auch Rätsel, mit denen die Mitarbeitenden dazu animiert wurden, jede Ecke des Gebäudes zu erkunden. Am Ende traf man sich jeweils zu einem Get-Together – beim letzten Termin auf der Dachterrasse mit Panoramablick über ganz Freiburg.



Girls' Day: Einblick in die Welt der Messtechnik

Fraunhofer IPM beteiligt sich regelmäßig am jährlichen Girls' Day für Schülerinnen der Klassen 5 bis 10. Dabei geben wir Einblick in Berufe aus Technik, Informationstechnologie, Handwerk und Naturwissenschaften – Berufe, in denen der Frauenanteil unter 40 Prozent liegt.

Im April 2023 fand der Girls' Day in allen fünf Fraunhofer-Instituten statt. Schülerinnen lernten unterschiedliche Forschungsgebiete kennen – von Chemie bis Maschinenbau, von Mikrostrukturen bis Weltraumtechnik, von Erdbebensicherheit bis saubere Energie. Am Fraunhofer IPM bekamen sie Einblick in die Welt der Messtechnik. Dabei haben sie nicht nur zugehört, sondern auch selbst Hand angelegt. Es gab acht spannende Workshops für die Schülerinnen: Sie lernten Mikrochips oder ein Daten-Netzwerk zu bauen, am Computer Objekte dreidimensional zu zeichnen und konnten sich anschauen, wie Insekten unter dem Elektronenmikroskop aussehen.

Der Aktionstag wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und vom Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend gefördert.



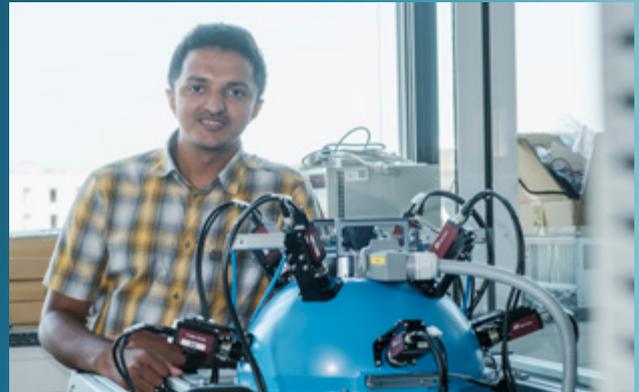


Fraunhofer-Wissenschaftscampus in Freiburg

Am 27. und 28. Juli 2023 fand der Fraunhofer-Wissenschaftscampus in Freiburg statt. Auch am Fraunhofer IPM konnten Studentinnen und Absolventinnen der MINT-Fächer Wissenschaftlerinnen über die Schulter schauen, Forschungsfelder kennenlernen und sich über Karrieremöglichkeiten informieren.

Absolventinnen und Studentinnen der Fachrichtungen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) aus ganz Deutschland nahmen teil und lernten den Fraunhofer-Standort Freiburg kennen. Sie besuchten alle fünf Fraunhofer-Institute und erhielten Einblick in die praktische Forschungsarbeit. Am Fraunhofer IPM gab es neben einem Workshop zum Thema »Vom Labor in die Fertigungslinie« Informationen zu Karrierechancen und zur Promotion. Im Rahmen einer Podiumsdiskussion gaben drei Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen persönliche Einblicke in ihre individuellen Karrieren. Die Fraunhofer-Gesellschaft veranstaltet den Wissenschaftscampus regelmäßig an unterschiedlichen Standorten, um den Anteil von Frauen in der Wissenschaft zu erhöhen und Nachwuchswissenschaftlerinnen zu fördern.

[Wissenschaftscampus](#)



Wir stellen vor ...

Sebin Sunny

Seit 2021 arbeitet Sebin in der Produktionskontrolle. Hier erzählt er, was er gelernt hat, was ihm Spaß macht und wie er überhaupt nach Freiburg kam.



Eigentlich komme ich aus Indien. Dort bin ich aufgewachsen, dort bin ich zur Schule gegangen und dort habe ich auch meinen Bachelor in Maschinenbau gemacht. Erst im Jahr 2018 bin ich dann für meinen Masterabschluss Scientific Instrumentation nach Deutschland gegangen – genauer gesagt nach Jena. Im Studium ging es viel um Optik, um Programmierung, aber auch um Physik allgemein. Als ich dann einen passenden Job gesucht habe, hatte ich plötzlich gleich zwei gute Angebote auf dem Tisch: Der Vertrag einer Industriefirma war wirklich nicht schlecht. Vor allem war die Stelle auch unbefristet. Trotzdem habe ich mich dann für Fraunhofer IPM entschieden, vor allem wegen der Menschen hier. Und ich weiß, wir machen hier Forschung! Da wird es mir nie langweilig. Immer kommt etwas Neues dazu. Ich arbeite hier an Kamerasystemen, die Bauteile im freien Fall vermessen – also gleichzeitig von allen Seiten erfassen. Dafür benötigen wir eine spezielle Bildverarbeitung. Ich bin immer dann besonders gefragt, wenn es um die Programmierung geht. Zum Beispiel, wenn wir bestimmte Berechnungen optimieren wollen oder wenn ein Kunde eine neue Defektklasse einführen möchte. Das sind dann immer neue Aufgaben. Und das bedeutet, man muss auch immer neue Probleme lösen. Das macht mir sehr viel Spaß. Ich kann mir sehr gut vorstellen, noch einige Jahre hier in Freiburg zu bleiben. Die Leute gefallen mir gut und die Stadt ist lebenswert – nicht zu groß und nicht zu klein. Mit dem Fahrrad kann ich alles erreichen. Und wenn ich mir ein Auto leihe, bin ich auch schnell in der Schweiz zum Wandern.«

Zukunftsthema Quantenmagnetometrie für die Hirnforschung

Mit gleich zwei Veranstaltungen im Dezember 2023 nahmen wir optisch gepumpte Sensoren für die Quantenmagnetometrie in den Fokus. Sie waren Thema der Carl-Zeiss-Humboldt Lecture von Prof. Svenja Knappe und eines Workshops am Fraunhofer IPM.



Hirnströme in 3D messen – das ist einer der Forschungsschwerpunkte von Prof. Svenja Knappe an der University of Colorado at Boulder in den USA. Sie verbrachte 2023 mehrere Monate in Freiburg als Gastwissenschaftlerin der Universität und forschte am Fraunhofer IPM. Dies ermöglichte ihr der Carl-Zeiss-Humboldt-Forschungspreis 2023, für den sie Institutsleiter Prof. Karsten Buse nominiert hatte.

Knappe ist eine international anerkannte Quantenoptikerin, die auf dem Gebiet der Magnetfeldsensorik mit optisch gepumpten Magnetometern (OPM) arbeitet. Diese Technik erlaubt der Neuroforschung, die Aktivität des Gehirns anhand einer Magnetfeldmessung online und nichtinvasiv zu erfassen – sehr viel genauer als mit herkömmlichen bildgebenden Methoden. Knappes Arbeit schafft die Grundlage für ungeahnte Möglichkeiten in der Diagnostik, OP-Planung und Mensch-Maschine-Steuerung. Die kompakten OPM sollen in Zukunft die bisher nötigen komplexen Laboraufbauten in der Quantensensorik ersetzen.

Carl-Zeiss-Humboldt Lecture: »Können wir bald Gedanken sehen?«

Knappe hielt im Rahmen ihrer Auszeichnung am 11. Dezember einen Vortrag zum Thema »Können wir bald Gedanken sehen? – Quantensensorik für Medizin, Diagnostik und Kommunikation«. Dieser wurde von der Universität Freiburg in Kooperation mit Fraunhofer IPM organisiert und von der Carl-Zeiss-Stiftung gefördert.

OPM-MEG Workshop mit mehr als 60 Teilnehmenden

Optisch gepumpte Magnetometer und ihre Anwendung in der Magnetoenzephalographie (MEG) waren auch das Thema des zweitägigen OPM-MEG Workshops, den Fraunhofer IPM erstmalig gemeinsam mit dem Forschungszentrum BrainLinks-BrainTools der Universität Freiburg veranstaltet hat. Am 12. und 13. Dezember trafen sich rund 60 Expertinnen und Experten, um das Potenzial der OPM-Technologie mit speziellem Fokus auf die Hirndiagnostik zu diskutieren. Svenja Knappe hielt hier ebenfalls einen Keynote-Vortrag zur Kommerzialisierung von OPM für die Hirnforschung.



Eingebaut in einen Helm, der perfekt passend am Kopf anliegt, können mithilfe der Sensoren Patientinnen und Patienten jeden Alters untersucht werden.

Prof. Svenja Knappe zeigte, wie Quantensensoren in Zukunft Einblick ins Gehirn geben können.

Hintergrund

Die Humboldt-Stiftung verleiht den Carl-Zeiss-Humboldt-Forschungspreis seit 2022 jährlich an eine Wissenschaftspersonlichkeit aus dem Ausland. Der Preis richtet sich an Forschende der MINT-Fachrichtungen, die eine Kooperation mit Fachkolleg*innen in den Förderländern der Carl-Zeiss-Stiftung anstreben (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz oder Thüringen). Gestiftet wird der Preis von der Carl-Zeiss-Stiftung.

[humboldt-foundation.de](https://www.humboldt-foundation.de)

Summer School Fraunhofer Photonica: Eine Reise durch die Welt der Photonik

Zwanzig junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler waren zwei Wochen lang in Sachen Photonik, Licht und Laser quer durch Deutschland unterwegs. Veranstaltet wurde die Summer School Fraunhofer Photonica vom Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces unter der Leitung des Fraunhofer IPM.

Eine zweiwöchige Reise zu fünf Fraunhofer-Instituten in vier Städten mit einem reichhaltig gefüllten Programm – dies war der ehrgeizige Plan der Summer School Fraunhofer Photonica, die 2023 zum ersten Mal stattfand. Dass das Konzept aufging, zeigt das Feedback einer Teilnehmerin: »Ich hatte zwei wunderbare Wochen. Das interessante und lehrreiche Programm hat mir dabei geholfen, mit anderen Studierenden und Forschenden in Kontakt zu kommen und mehr über Fraunhofer zu erfahren.«

Die zwei Wochen der Fraunhofer Photonica mit wissenschaftlichen Vorträgen, Führungen und selbstständigen Laborarbeiten waren abwechslungsreich: Die Reise führte sie vom Fraunhofer IPM in Freiburg nach Aachen zum Fraunhofer ILT. Von dort reisten die Teilnehmenden weiter nach Dresden, wo sie gleich zwei Institute kennenlernten: das Fraunhofer FEP und das Fraunhofer IWS. Zuletzt ging es dann zum Fraunhofer IOF nach Jena.

Mit der Fraunhofer Photonica gelang es dem Organisationsteam, die jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für das Thema



Erste Station der Fraunhofer Photonica war das Fraunhofer IPM in Freiburg. Dort bekamen die Teilnehmenden einen Einblick u. a. in digitale Holographie und lernten Karrieremöglichkeiten bei Fraunhofer kennen.

Photonik zu begeistern und ihnen zu zeigen, welche Möglichkeiten und spannenden Forschungsthemen die Fraunhofer-Institute für ihre Karriere bieten. Das erfolgreiche Format soll 2024 erneut stattfinden und führt die Teilnehmenden an weitere Fraunhofer-Standorte.



Besonders inspirierend war das
Karriereevent am Fraunhofer IPM.«

Teilnehmerin der Fraunhofer Photonica



Fraunhofer Photonica

Die Summer School Fraunhofer Photonica wird organisiert vom Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces. Ziel ist es, talentierte Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler für den Themenbereich des Fraunhofer-Verbunds zu begeistern und ihnen Karriere-Chancen in der Fraunhofer-Gesellschaft aufzuzeigen.

photonica.fraunhofer.de

Kundeninterview

Plasmatreat GmbH

»Bei Forschung und Entwicklung fokussieren wir uns auf die Dinge, die unsere Kunden voranbringen.«

Die Plasmatreat GmbH hat sich als Sondermaschinenbauer mit der Entwicklung und Herstellung von Atmosphärendruck-Plasmasystemen weltweit einen Namen gemacht. Im Interview erzählt FuE-Leiter Magnus Buske, wie es zur Zusammenarbeit mit Fraunhofer IPM kam, was sich daraus entwickelt hat und welche neuen Herausforderungen er in der Welt der Oberflächenbehandlung noch angehen möchte.

Was genau machen Sie bei Plasmatreat?

Magnus Buske: Als Leiter der Forschung und Entwicklung koordiniere ich vier Teams, die sich mit den verschiedenen Aspekten der Plasmatechnologie und den Plasmaprozessen auseinandersetzen. Wir entwickeln nicht nur Plasmadüsen und -systeme, sondern auch individuell auf die Herausforderungen beim Kunden zugeschnittene Plasmaanlagen.

Was sind die Kernprodukte, womit verdienen Sie Geld?

Wir haben uns auf Atmosphärendruck-Plasmasysteme spezialisiert. Unser Kerngeschäft liegt allerdings nicht nur in den Produkten selbst, sondern auch in individuellen Lösungen: Wir

unterstützen unsere Kunden dabei, dass Klebstoffe, Lacke, Druckfarben oder auch Dichtungen besser auf Oberflächen haften. Dieser Prozess beginnt oft mit Tests in unserer Anwendungstechnik, aber er beinhaltet auch Forschungs- und Entwicklungsaufgaben in unserem Technologiezentrum.

Welche Bedeutung hat in diesem Prozess die Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten?

Die Kooperation mit Instituten wie dem Fraunhofer IPM ist uns sehr wichtig. Wir suchen Partner mit industriellem Fokus, um anwendbare Lösungen im Bereich der Oberflächenbehandlung zu entwickeln. Fraunhofer-Institute sind in dieser Hinsicht ideal, da sie den Brückenschlag zwischen Grundlagenforschung und industrieller Anwendung meistern.

Wie positioniert sich ihre Firma im Wettbewerb?

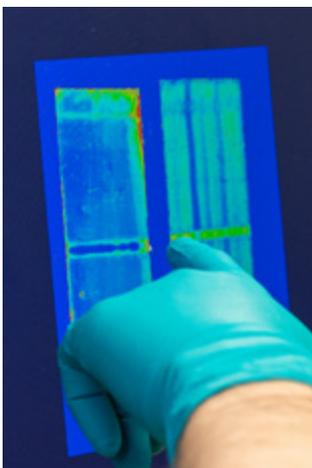
Es gibt Konkurrenten, die ebenfalls Plasmatechnologien anbieten, aber nur wenige verfolgen einen so stark lösungsorientierten Ansatz wie wir. Wir bauen nicht nur die Düsen, Generatoren und Transformatoren, die für die Betreibung eines Plasmasystems notwendig sind, sondern wir entwickeln z. B. bei Bedarf auch spezielle Düsenköpfe, um das bestmögliche Ergebnis für den Kunden zu erreichen.

Welche Rolle spielt in Ihren Augen die Exklusivität bei der Entwicklung neuer Technologien?

Wir streben immer eine gewisse Exklusivität in der Atmosphärendruck-Plasmatechnik an, um unseren Kunden passende und zuverlässige Anlagen bieten zu können. Es geht uns aber nicht darum, Exklusivität für alle Bereiche zu erlangen, sondern spezifisch für die, in denen unsere Technik zum Einsatz kommt.

Was sind für Sie entscheidende Schlüsseltechnologien?

Unser Fokus liegt auf der Plasmavorbereitung von Oberflächen, z. B. die Reinigung von Metall- oder Glasoberflächen für nachfolgende Prozesse. Hier arbeiten wir unter anderem mit dem F-Scanner von Fraunhofer IPM, um Verunreinigungen zu detektieren.



»Der F-Scanner hilft uns, unterschiedliche Verunreinigungsgrade zu visualisieren und die Effektivität der Plasmabehandlung zu überprüfen«, sagt Magnus Buske.



Plasmamatreat GmbH

Die Plasmamatreat GmbH ist weltweit führend in der Entwicklung und Herstellung von Atmosphärendruck-Plasmasystemen zur Vorbehandlung von Oberflächen. Durch den Einsatz der Plasmatechnologie werden Oberflächeneigenschaften von Kunststoffen, Metallen, Glas oder Papier zu Gunsten der Prozessanforderungen modifiziert. Die Plasmamatreat-Gruppe verfügt über Technologiezentren in Deutschland, USA, Kanada, China und Japan und ist mit seinem weltweiten Vertriebs- und Servicenetzwerk in über 30 Ländern mit Tochtergesellschaften und Vertriebspartnern vertreten.

Mehr Infos unter: [plasmamatreat.de](https://www.plasmamatreat.de)

Wie sind Sie auf uns aufmerksam geworden?

Der Kontakt erfolgte über einen Mitarbeiter aus unserer Innovationsmanagementgruppe, der sich um staatlich geförderte Projekte kümmert. Im Rahmen eines AiF-Projekts, an dem auch Fraunhofer IPM beteiligt war, ist Herr Blättermann auf die Möglichkeiten von Plasma zur Behandlung von Oberflächen aufmerksam geworden und hat die Nutzung eines F-Scanners zur Detektion bei uns in Betracht gezogen.

Und wie ging es dann weiter?

Die Ergebnisse unseres Projekts, mit dem F-Scanner Verunreinigungen auf der Oberfläche zu erkennen, waren überzeugend. Besonders bei metallischen Bauteilen, wie Druckgussteilen für Gehäuse von Elektromotoren, die geklebt und abgedichtet werden müssen, ist es wichtig, Verunreinigungen wie Schneidöl zu entfernen. Der F-Scanner kann diese Rückstände detektieren und zeigt uns, wo die Verunreinigungen wie stark sind. So können wir die unterschiedlichen Verunreinigungsgrade visualisieren und die Effektivität der Plasmabehandlung überprüfen.

Haben Sie durch den F-Scanner eine Alleinstellung am Markt erreichen können?

Wir haben keinen Anbieter gefunden, der so schnell und großflächig Messungen vornehmen kann wie wir mit dem F-Scanner. Andere Firmen nutzen ähnliche Prinzipien, aber niemand erreicht die Geschwindigkeit und Auflösung, die wir benötigen. Unsere Entscheidung, in diesen Bereich zu investieren, war insofern ohne Alternative: Wir fanden keine vergleichbare Lösung bei anderen Firmen.

Magnus Buske ist nicht nur Betriebswirt und Maschinenbauer, sondern auch ein Experte im Bereich Adhäsionstechniken. Durch seine Tätigkeit bei einem Klebstoffhersteller weiß er aus eigener Erfahrung, welche Bedeutung eine optimalen Oberflächenvorbereitung haben kann. Bei der Plasmamatreat GmbH leitet er den Bereich Forschung und Entwicklung.

Wie treffen Sie eigentlich solche doch recht weitreichenden Entscheidungen?

Richtungsweisende Entscheidungen basieren bei uns immer auf einer Kombination aus strategischer Überlegung und gesundem Bauchgefühl. Wir bewerten dazu unsere Kundenliste und die potenziellen Anwendungsfälle und entscheiden dann, wie vielversprechend es ist, ein konkretes Projekt zu starten. Es gibt dabei für uns keine starre Vorgabe für die Amortisation einer Investition: Wenn wir den strategischen Wert erkennen, handeln wir danach.

Zum Schluss: Was sind kommende Herausforderungen?

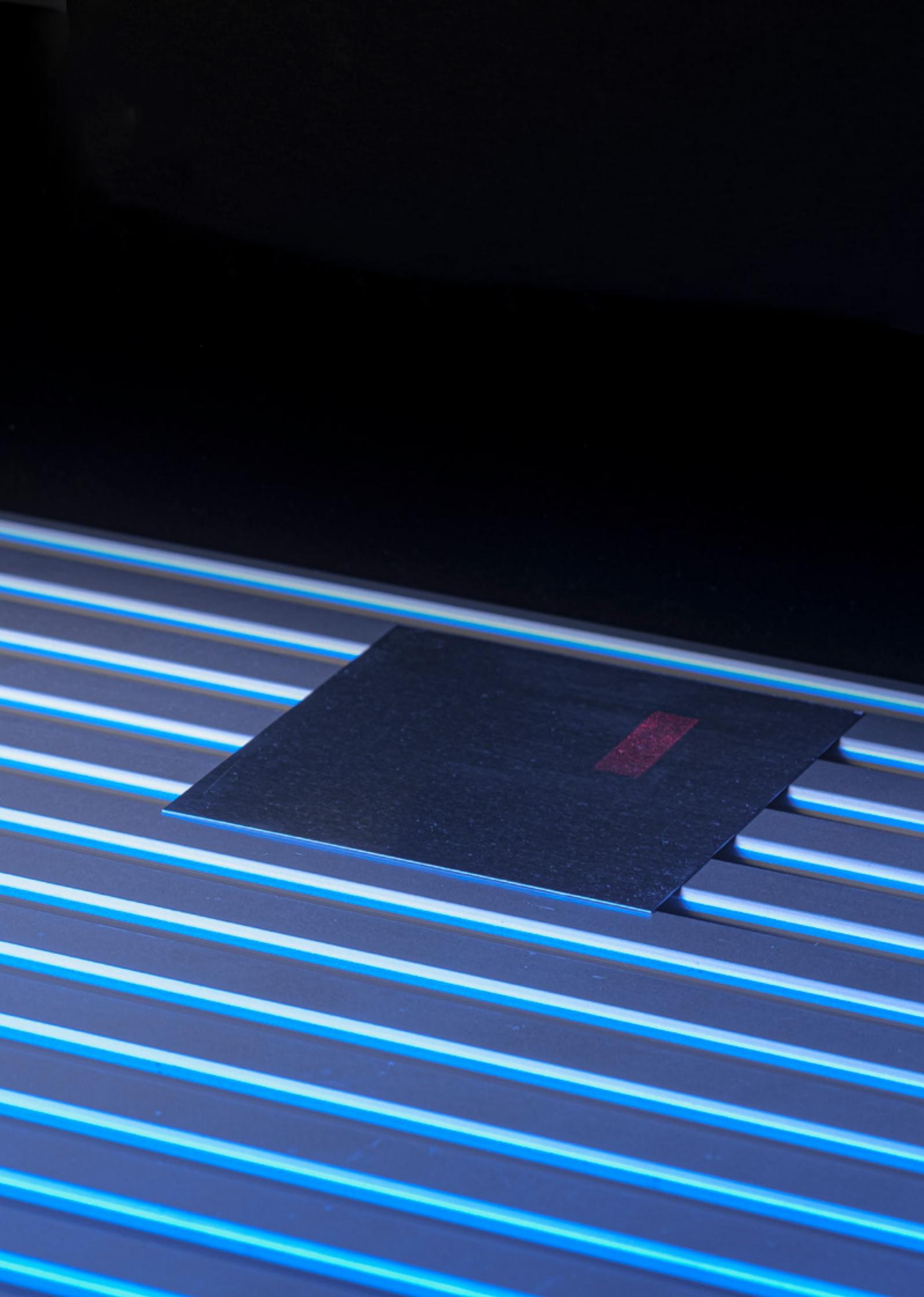
Ein wichtiger Trend ist der Ersatz von Niederdruck- durch Atmosphärendruck-Plasmasysteme. Wir arbeiten daran, Prozesse zur Oberflächenbehandlung schneller, energieeffizienter und kostengünstiger zu gestalten. Dabei orientieren wir uns an den Bedürfnissen der Industrie und streben danach, vorhandene Niederdruckprozesse zu ersetzen.

Herr Buske, recht herzlichen Dank für das Gespräch!



Geschäftsfelder

Im Auftrag des Kunden



Überblick Produktionskontrolle

So schnell messen, wie Hersteller produzieren: Das ist unser Beitrag für eine effiziente, geregelte Produktion.

Im Geschäftsfeld »Produktionskontrolle« entwickeln wir optische Systeme und bildgebende Verfahren, mit denen sich Oberflächen prüfen und komplexe 3D-Strukturen in der laufenden Produktion präzise vermessen lassen. Das Ziel sind geregelte und damit effizientere Prozesse. Unsere Systeme messen so schnell und so genau, dass kleinste Defekte oder Verunreinigungen auch bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten erkannt und in Echtzeit klassifiziert werden. In Kombination mit (markierungsfreier) Einzelteilverfolgung ermöglichen unsere optischen Sensoren und Messsysteme somit in vielen Fällen erstmals eine

100-Prozent-Echtzeitkontrolle. Damit kommt ihnen eine Rolle als »enabling technology« zu – für die Umsetzung einer Industrie 4.0-Strategie in der modernen Produktion.

Eingesetzt wird eine große Bandbreite an Technologien, darunter digitale Holographie, Infrarot-Reflexions-Spektroskopie und Fluoreszenzverfahren, kombiniert mit sehr schneller hardwarenaher Bild- und Datenverarbeitung. Die kundenspezifisch optimierten Systeme werden beispielsweise in der Umformtechnik im Automobilbereich und zur Qualitätssicherung bei Medizinprodukten bis hin zur Elektronikfertigung eingesetzt.



Optische Sensoren und bildgebende Verfahren



Kundenspezifisch optimierte Systeme



Datenaufnahme und -auswertung in Echtzeit

Unsere Gruppen und Themen

Optische Oberflächenanalytik

- Elementanalyse in komplexen Mehrschichtsystemen
- Analyse filmischer Beschichtungen und Verunreinigungen
- Detektion und Klassifikation partikulärer Verunreinigungen

Inline Vision Systeme

- Oberflächeninspektion und Maßhaltigkeitsprüfung von Halbzeugen und Bauteilen
- Inspektion von Langprodukten auf Oberflächenfehler und Geradheit
- Markierungsfreie Bauteilidentifikation in der Produktion und mobil per App

Geometrische Inline-Messsysteme

- Präzise Vermessung von Funktionsflächen im Produktionstakt
- 3D-Vermessung von Werkstücken direkt in der Werkzeugmaschine
- Schnelle, dynamische Verformungsmessung



Mit unseren schnellen, optischen Messsystemen ergänzen wir taktile Messtechniken.«

Dr. Daniel Carl, Abteilungsleiter

Highlights Produktionskontrolle

Projekte • Innovationen • Veranstaltungen



In Geothermie-Kraftwerken soll in Zukunft neben Erdwärme auch Lithium gefördert werden. Fraunhofer IPM entwickelt einen optischen Sensor, der ein am Karlsruher KIT entwickeltes Verfahren effizienter machen soll.

Projekt LiMo

Messtechnik für die effiziente Lithium-Extraktion aus Geothermie

Weltweit wird Lithium benötigt – vor allem in der Batterieproduktion. Die deutsche Industrie importiert Lithium, obwohl das Leichtmetall auch hierzulande zu finden ist. Es ist beispielsweise im Thermalwasser des Oberrheingraben oder des Norddeutschen Beckens enthalten. Dort gibt es Geothermieanlagen, die der Thermalsole die Wärme entziehen – allerdings wird das enthaltene Lithium mit der Thermalsole ungenutzt wieder in die Tiefe zurückgeführt. Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) nutzt ein Verfahren, das es ermöglicht, Lithium mithilfe eines Sorptionsprozesses in einer Geothermieanlage zu extrahieren. Für dieses Verfahren werden jedoch aufwändige Labormessungen benötigt.



Wir nutzen LIBS-Technologie erstmals in Flüssigkeiten bei 20 bar und 90°C. Das sind extrem harsche Bedingungen.«

Dr. Carl Basler, Projektleiter

Im Projekt LiMo, das im Februar 2023 an den Start ging, entwickelt Fraunhofer IPM einen auf LIBS-Technologie basierenden Sensor, der das Verfahren effizienter machen soll. LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) ist ein optisches Verfahren aus der Materialanalyse. Die Forschenden wollen es so weiterentwickeln, dass die Lithiumkonzentration im Geothermalwasser inline überwacht werden kann, was eine Regelung des Sorptions- und Desorptionsprozesses ermöglichen soll. Das Messverfahren wird im Rahmen des Projekts an einer Geothermieanlage getestet. Es eignet sich neben der Lithiumgewinnung in Geothermieanlagen auch für das Lithium-Recycling aus Altbatterien.

Projekt LiMo (Inline Lithium-Monitoring zur effizienten Gewinnung und Prozessregelung von Lithium aus Geothermalsolen und aus Recyclingmaterial), gefördert vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Landes Baden-Württemberg

Projekt i-skaB

Brennstoffzellenproduktion der Zukunft

Sieben Partner aus Forschung und Industrie haben sich Anfang 2023 im Verbundprojekt i-skaB zusammengeschlossen: Das Projektziel ist nichts Geringeres als die Revolution der Brennstoffzellenproduktion. Fraunhofer IPM und die Projektpartner arbeiten an einer

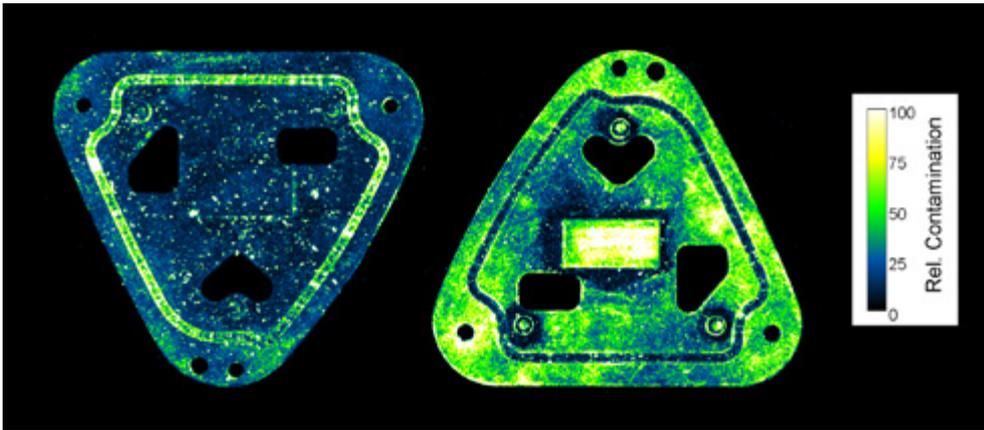
innovativen, skalierbaren Brennstoffzellenproduktion (i-skaB). Statt einer Produktion von aktuell wenigen Brennstoffzellen-Stacks pro Tag soll zukünftig eine Stack-Produktion im 30-Sekunden-Takt möglich sein. Dafür werden neu zu konzipierende Fertigungstechnologien benötigt, die den Automatisierungsgrad erheblich erhöhen. Innerhalb der Projektlaufzeit von drei Jahren werden alle Schlüsseltechnologien des Produktionsprozesses optimiert, getestet und validiert. Zudem steht die Qualitätssicherung im Fokus. Hier sollen Computervision-Ansätze und 3D-Messtechniken Anwendung finden.

Fraunhofer IPM entwickelt im Rahmen von i-skaB Verfahren zur schnellen optischen Qualitätssicherung auf Basis innovativer Computervision-Ansätze und 3D-Messtechniken wie der digitalen Holographie. Letztendlich soll die Jahresproduktion von Brennstoffzellen um das 20-fache gesteigert werden: von heute bis zu 25.000 auf mittelfristig über 500.000 Brennstoffzellen pro Jahr auf einer Linie.

Projekt i-skaB (innovative, skalierbare Brennstoffzellenproduktion), Teilvorhaben »Entwicklung, Bau und Erprobung eines digital-holographischen Messsystems zur Qualitätssicherung von Brennstoffzellenkomponenten«, gefördert vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr; Projektträger: Forschungszentrum Jülich



Der Stacking-Prozess in der Brennstoffzellenproduktion ist sehr komplex und soll in Zukunft deutlich effizienter werden. Fraunhofer IPM entwickelt optische 3D-Messtechnik, die dabei die Qualität sichert.



Fluoreszenzbild eines Bauteils in Falschfarbendarstellung: Schwarze Bereiche sind sauber, weiße Bereiche sind stark verschmutzt.

Projekte Qual-Clean | InMoDie

Reinheitsprüfung per Fluoreszenz

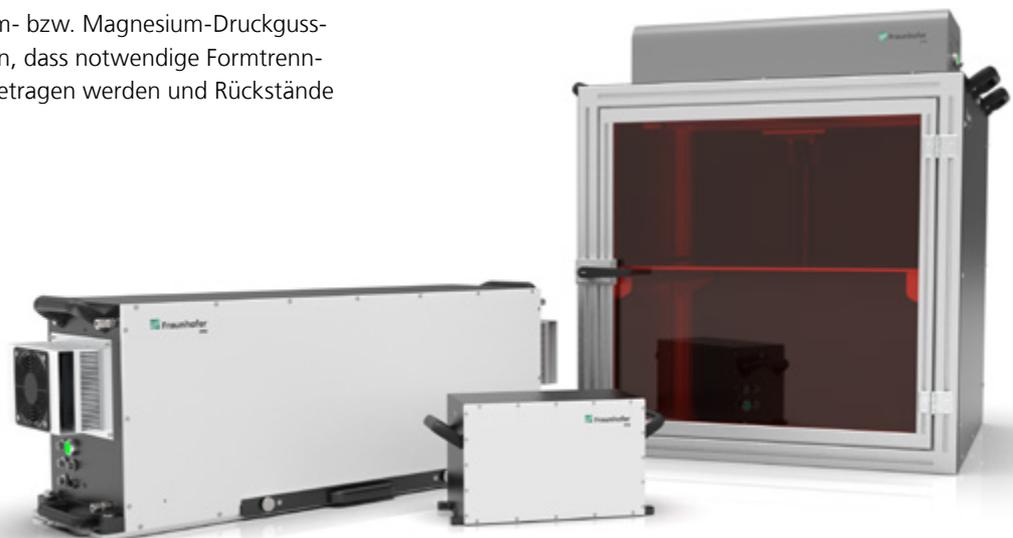
Viele moderne Fertigungsprozesse setzen saubere Bauteiloberflächen voraus. Um die Qualität von Klebe-, Dicht-, Beschichtungs- und Vakuumprozessen zu sichern, sollen Bauteile vor allem frei von organischen Verunreinigungen sein. Fraunhofer IPM entwickelt hochmoderne Fluoreszenz-Messsysteme wie den F-Scanner, mit dem die Sauberkeit ganzer Bauteile in der Linie oder im Labor beurteilt werden kann. Der F-Scanner überprüft die Sauberkeit von Oberflächen lückenlos und nutzt dazu eine Kombination von hochsensibler laserinduzierter Fluoreszenzdetektion und dem Konzept des Laserscannings.

Im Rahmen zweier Verbundprojekte entwickeln Forschende der Gruppe Optische Oberflächenanalytik weitere Spezialsysteme. Im Projekt InMoDie geht es um Reinheitsaspekte in der Fertigung von Leichtbauteilen: Hier entwickelt ein Team Prüfsysteme für den Aluminium- bzw. Magnesium-Druckgussprozess, die dafür sorgen sollen, dass notwendige Formtrennmittel im Prozess optimal aufgetragen werden und Rückstände

nach dem Prozess direkt erkannt werden. Im Rahmen des Projekts Qual-Clean entwickelt Fraunhofer IPM ein in den Reinigungsprozess integrierbares Qualitätssicherungssystem, das die gezielte Reinigung kritischer Bauteilbereiche garantiert und dokumentiert. Dafür wird die F-Scanner-Technologie mit der Technologie der CO₂-Schneestrahlnreinigung vom Industriepartner acp systems AG kombiniert.

Projekt InMoDie (Entwicklung eines Inline-Messverfahrens zur orts aufgelösten Detektion filmischer Verunreinigungen auf Bauteiloberflächen sowie zur Unterstützung der Trennmittelapplikation im Druckgussprozess), gefördert vom BMWK im Rahmen des Technologietransfer-Programms Leichtbau

Projekt Qual-Clean (Gezielte örtliche Reinigung und Qualitätskontrolle von kritischen Bauteilbereichen in der Produktion), gefördert vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg im Rahmen des Programms Invest BW



Die F-Scanner-Familie: F-Scanner 1D, F-Scanner 1Dmin, F-Scanner 2D



Neuartige Laserlichtquellen sollen helfen, anspruchsvolle Messaufgaben – z. B. bei der Fertigung von Mikrochips, wirtschaftlich zu lösen.

Projekt MultiLambdaChip

Neue Laser für die digitale Holographie

Moderne optische Messtechniken wie die digitale Holographie ermöglichen die Qualitätssicherung direkt in der Linie. Größe und Preis der nötigen Lichtquellen haben bislang jedoch verhindert, dass sich diese Messtechnik auf breiter Basis durchsetzt. Mit dem 2023 gestarteten Forschungsprojekt Multi-LambdaChip will Fraunhofer IPM nun Abhilfe schaffen und entwickelt hochintegrierte, kostengünstige Laserlichtquellen für die digitale Holographie – zusammen mit HÜBNER Photonics, der Carl Zeiss AG, der cyberTECHNOLOGIES GmbH und der Professur für Optische Systeme der Uni Freiburg.

Zentrales Element der neuen Mehrwellenlängen-Laserlichtquelle ist ein neuartiger photonischer Schaltkreis auf Lithiumniobat-Basis. Dieser soll das 1550-nm-Licht einer preisgünstigen Laserdiode aus dem Telekommunikationsbereich derart manipulieren und konvertieren, dass damit hochgenau im sichtbaren Spektralbereich gemessen werden kann. Mit einer solchen kostengünstigen Lichtquelle werden holographische Messsysteme für viele neue Aufgaben der modernen Fertigung wirtschaftlich einsetzbar. Besonders in Hightech-Branchen gibt es viele kritische Komponenten mit geringen Toleranzen, die mit hohen Taktraten produziert werden – beispielsweise in der Fertigung von Mikrochips oder Hochleistungselektroniken für E-Mobility und regenerative Energien. Die digitale Holographie kann hier grundsätzlich eine zuverlässige Qualitätsprüfung gewährleisten.

Darüber hinaus wird im Projekt MultiLambdaChip auch die Einsatzfähigkeit der neuen Laserlichtquelle in Kombination mit holographischen Messsystemen an zwei Industrieapplikationen nachgewiesen: Zum einen soll mittels eines neuartigen holographischen Liniensensors erstmals die Qualitätssicherung von Mikrochips während des Ausheizprozesses gezeigt werden. Zum anderen soll ein flächig messendes holographisches Sensorsystem in ein Mehrachs-Handlingsystem integriert werden, um die Maßhaltigkeit keramischer Komponenten zu 100 Prozent kontrollieren zu können. Gelingt dies, werden erstmals hochgenaue 3D-Messungen in der Fertigung möglich, die bislang nur in speziellen Messräumen durchführbar waren.

Projekt MultiLambdaChip (Integriert-optisches Mehrwellenlängen-Lasersystem für die holographische 3D-Oberflächenmesstechnik in der industriellen Qualitätssicherung), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung



Mit neuartigen Laserquellen können wir die digitale Holographie in Zukunft noch wirtschaftlicher nutzen.«

*Dr. Alexander Bertz,
Gruppenleiter*

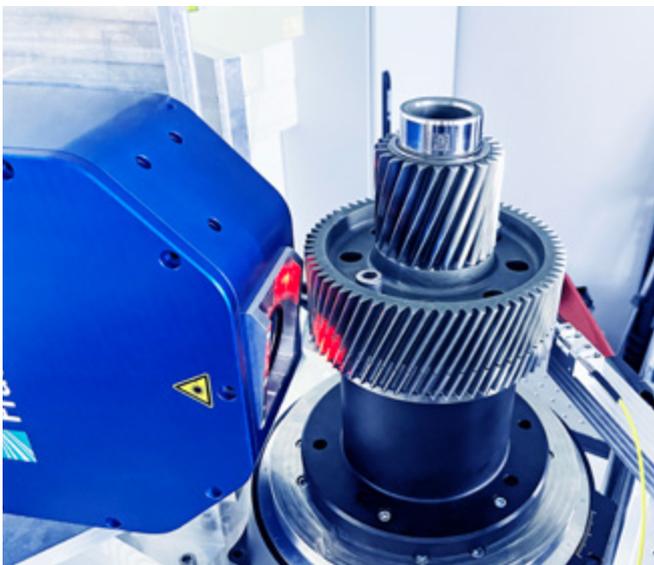
Projekt HoloMotion

Digitale Holographie in Bewegung

Digital-holographische Messungen an sich bewegenden Prüflingen galten bislang als unmöglich. Im Forschungsprojekt HoloMotion gelang es Fraunhofer IPM, das Unmögliche möglich zu machen: Bauteile in Bewegung können jetzt erstmals hochpräzise interferometrisch vermessen werden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler konnten zeigen, dass digital-holographische Messungen selbst bei Geschwindigkeiten von deutlich über 10mm/s möglich sind. Zusammen mit den Industrieunternehmen FRESCO GmbH und ZF Friedrichshafen AG wurde ein Demonstratorsystem zur optischen Verzahnungsmessung für den produktionsnahen Einsatz entwickelt und erprobt. Ein großer Erfolg, denn die Verzahnungsmessung ist aufgrund hoher Neigungswinkel und geringer Bauteiltoleranzen für interferometrische Messungen extrem herausfordernd. Die digitale Holographie hat als rein optisches Verfahren gegenüber der bisher etablierten taktilen Verzahnungsmessung einen großen Vorteil: Flächige Flankenmessungen sind im Sekunden-takt möglich. In dem sechs Jahre laufenden Projekt, das Anfang 2023 abgeschlossen wurde, ist es gelungen, die digitalen Mehrwellenlängen-Holographie technologisch entscheidend voranzubringen und erstmals optische Verzahnungsmessungen im industriellen Umfeld zu realisieren.

Projekt HoloMotion (Dynamisch-holographisches Messverfahren zur Erfassung metallischer Freiformflächen), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung

Die digital-holographische Vermessung von Verzahnungen im industriellen Umfeld ist möglich. Dies konnte im Rahmen des Projekts HoloMotion gezeigt werden.



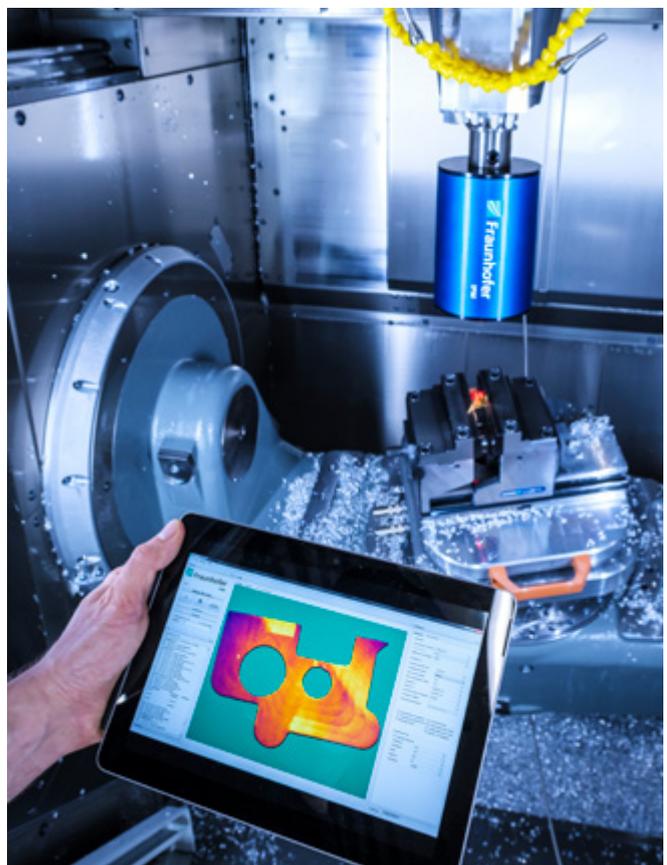
Publikation

Digitale Holographie in der Werkzeugmaschine vs. Koordinatenmessmaschine im Labor

Werkzeugmaschinen spielen in der industriellen Produktion eine tragende Rolle. Durch eine immer stärkere Automatisierung sind sie zu hochpräzisen mechatronischen Systemen geworden. Die exakte Prüfung geometrischer Qualitätsmerkmale wird daher immer wichtiger. Stand der Technik ist die stichprobenartige taktile Überprüfung der Bauteile mit einer Koordinatenmessmaschine. Das ist zwar sehr exakt, aber auch sehr zeitaufwändig. Forschenden am Fraunhofer IPM ist es nun gelungen, eine vergleichbar genaue Qualitätsprüfung vieler Merkmale direkt in der Werkzeugmaschine durchführen.

Sie entwickelten dazu einen sehr kompakten Holographie-sensor, der sich wie ein Werkzeug in der Werkzeugmaschine über ein Bauteil führen lässt. Der Sensor HoloTop NX hat ein Messfeld von 12,5 x 12,5 mm² und eine laterale Auflösung von etwa neun Millionen Bildpunkten. Beim Vergleich des Datensatzes der digital-holographischen Messungen in der

Bei 3D-Oberflächenmessungen in der Werkzeugmaschine lieferte der digital-holographische Sensor HoloTop NX ebenso exakte Daten wie eine taktile Koordinatenmessmaschine.





Track & Trace Fingerprint Flex am Roboterarm: Das System identifiziert Bauteile und kann an beliebigen Orten im Produktionsumfeld eingesetzt werden.

Werkzeugmaschine mit den taktilen Messungen einer hochmodernen Koordinatenmessmaschine (KMM) war das Team selbst ein wenig überrascht: Der quadratische Mittelwertfehler zwischen den beiden Datensätzen beträgt weniger als $0,4\ \mu\text{m}$. Somit konnte das Team zeigen, dass die digitale Holographie als schnelle und gleichzeitig präzise 3D-Oberflächenhöhenmessungen in der Werkzeugmaschine bestens geeignet ist und im Vergleich zu den taktilen Messungen einer KMM vergleichbar exakte Daten liefert – nur viel schneller. In weiteren Arbeiten möchte das Team nun die Reproduzierbarkeit einer gesamten Messreihe auf beiden Systemen untersuchen. Die Forschungsarbeiten wurden von der Carl Zeiss AG finanziert. Die taktilen Referenzmessungen wurden von der Toolcraft AG durchgeführt.

Fachartikel: [»Digital holography in a machine tool: measuring large-scale objects with micron accuracy«](#)

Markierungsfreie Bauteilidentifizierung

Neu: Track & Trace Fingerprint Flex

Das Team Inline Vision Systeme hat die Track & Trace Fingerprint-Systemfamilie um ein weiteres System für den flexiblen Einsatz erweitert: Mit dem kabellosen Track & Trace Fingerprint Flex lassen sich Bauteile stichprobenartig zuverlässig identifizieren. Anders als das fest in eine Fertigungslinie integrierte Track & Trace Fingerprint Inline ist das akkubetriebene Flex-System an beliebigen Positionen im Produktionsumfeld einsetzbar. Montiert an einem Roboterarm identifiziert Track & Trace Fingerprint Flex Bauteile an unterschiedlichen Positionen im Produktionsprozess: Als handgehaltenes Gerät können Teile in der Montage, Logistik oder Qualitätssicherung identifiziert und Daten zur Produkthistorie abgerufen werden. Steuerung und Datentransfer erfolgen über WLAN mit einem Laptop, Tablet oder PC. Das System eignet sich für die Identifizierung von Bauteilen mit verschiedenen Geometrien, Oberflächen und Materialien.

Wie alle Track & Trace Fingerprint-Systeme nutzt auch das Flex-System die Oberflächen-Mikrostruktur von Bauteilen für eine markierungsfreie Identifizierung. Aus den spezifischen Strukturverläufen in der Bildaufnahme und deren Position zueinander wird eine charakteristische Bitfolge errechnet, der Fingerprint-Code. Dieser wird mit einer Objekt-ID verknüpft und in einer Datenbank hinterlegt. Bei der späteren Identifizierung wird dieser Vorgang an derselben Bauteilposition wiederholt und der neu ermittelte Fingerprint-Code wird mit den in der Datenbank hinterlegten Codes abgeglichen. So ist es möglich, einzelne Bauteile unter Millionen von typengleichen Bauteilen eindeutig zu identifizieren – ohne zusätzliche Markierung.

Projekt DiGeBaSt

Zuverlässiger Herkunftsnachweis: Holzstämmen rückverfolgen, ohne zu markieren

Woher stammt der Baumstamm? Die EU verpflichtet die Holzwirtschaft, diese Frage jederzeit zuverlässig zu beantworten – nicht zuletzt, um das wachsende Problem des illegalen Holzhandels einzudämmen. Heute übliche Nummerier-Plättchen, RFID-Codes oder Farbmarkierungen garantieren allerdings keinen zuverlässigen Herkunftsnachweis.

Im Rahmen des Projekts DiGeBaSt hat Fraunhofer IPM sein Track & Trace Fingerprint-Verfahren – ursprünglich entwickelt für die Rückverfolgung industrieller Bauteile – für die Wiedererkennung von Baumstämmen weiterentwickelt. Die kamera-basierte Technologie nutzt die individuelle Oberflächenstruktur der Sägefläche als Fingerabdruck für die Identifikation. Hochauflösende Aufnahmen der Sägeflächen werden auf eine simple Bitfolge reduziert, den Fingerprint-Code. Die spätere Identifikation erfolgt über eine erneute Bildaufnahme derselben Sägefläche und den Abgleich der Codes. Neben dem fälschungssicheren Herkunftsnachweis bildet die zuverlässige Identifizierung auch die Grundlage für eine durchgehende Digitalisierung von Lieferketten in der Holzindustrie.

Für den Einsatz im Forstumfeld wurden drei Kamerasysteme entwickelt: ein am Vollernter integriertes System, ein System für den Einsatz im Sägewerk sowie ein handgehaltenes System. Das Material Holz und die rauen Umgebungsbedingungen stellten dabei besondere Anforderungen an die Technologie. Dennoch wurden in einer Feldstudie mit 65 Stammabschnitten hohe Wiedererkennungsraten erzielt: Am Vollernter und am Polter eingelesene Stammteile wurden im Sägewerk zu 100 Prozent korrekt identifiziert; am Polter wurden 98,5 Prozent der am Vollernter aufgenommenen Teile wiedererkannt.

Projekt DiGeBaSt (Digitalisierung Gefällter BaumStämme), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Förderprogramms »Digital GreenTech«

Projekt hotCam

Track & Trace Fingerprint: Software erleichtert Einlernen neuer Bauteiltypen

Die Mikrostruktur fast aller Oberflächen ist so einzigartig wie ein Fingerabdruck. Dies nutzt das Track & Trace Fingerprint-Verfahren für eine markierungsfreie Rückverfolgung: Eine Kamera nimmt die Oberfläche der Bauteile hochaufgelöst auf. Aus den spezifischen Strukturverläufen einer Bildaufnahme und deren Position zueinander wird eine charakteristische Bitfolge errechnet, der Fingerprint-Code. Später können die Bauteile durch Wiederholen des Prozesses identifiziert werden. Damit dies funktioniert, müssen die einzelnen Bauteile jeweils an exakt derselben Position eingelesen werden. Dies erforderte bisher eine bauteilspezifische Bildvorverarbeitung, die den Fingerprint-Bereich in den aufgenommenen Bildern erkennt. Eine Software, die im Rahmen des Projekts hotCam entwickelt wurde, erleichtert nun das Einlernen neuer Bauteiltypen.

Mit dem FPPartPlaner können neue Bauteiltypen über eine einfache Nutzerführung selbstständig in das System eingelernt werden – ganz ohne Programmierkenntnisse. Dazu werden CAD-Daten des Bauteils als DXF-Datei eingelesen. Anschließend legt der Nutzer den Fingerprint-Bereich anhand dieser CAD-Daten selbst fest. Auf dieser Basis erkennt dann ein Korrelations-Algorithmus die Lage des Bauteils und ermittelt automatisch den Fingerprintbereich. Im Rahmen des Projekts hat das Forschungsteam die Software in einem Warmwalzwerk getestet. Die dort verarbeiteten Stahlprofile haben unterschiedliche Formen, die sich aufgrund schwankender Temperaturen im Prozess verändern und zudem nicht immer an exakt derselben Position platziert sind. Mit der Software gelang es dennoch, den Fingerprintbereich von ca. 300 Stahlprofilen zu erkennen und diese zuverlässig zu identifizieren.

Projekt hotCam (Lesesystem zur markierungsfreien Fingerprint-Erkennung von Halbzeugen über 1200°C unter sehr rauen Umgebungsbedingungen), gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft (SME-Projekt)



Das Track & Trace Fingerprint-System nimmt die Schnittflächen der Baumstämme direkt am Vollernter auf.

Markierungsfreie Positionsbestimmung bei Bahnwaren

Bei der Produktion von Bahnwaren wie Flachstahl, technischen Bändern oder metallischen Folien können einzelne Fehlstellen dazu führen, dass das gesamte tonnenschwere Coil entsorgt wird. Zu groß ist das Risiko, dass die später vereinzelt Abschnitte die Funktion der Endprodukte beeinträchtigen, in die sie verbaut werden. Ökonomisch und ökologisch sinnvoller wäre es, ausschließlich die fehlerhaften Stellen des Coils zu entsorgen. Dazu müssten sich Mess- und Prozessdaten exakten Positionen auf dem Coil zuordnen lassen. Doch genau das gelingt bisher nicht. Vereinzelt gibt es fortlaufende Markierungen per Lasergravur oder Farbaufdruck. Das ist jedoch nicht für jedes Produkt zulässig, da sie die Oberfläche beeinträchtigen oder Verarbeitungsprozesse stören. Die Ermittlung der Position durch einen Drehgeber ist zu ungenau. Hinzu kommt, dass eine Positionsbestimmung nach der Vereinzlung nicht mehr möglich ist. Eine absolute Positionsbestimmung auf dem Coil wäre hier die Lösung. Sie würde es auch ermöglichen, Abschnitte nach dem Vereinzeln rückzuverfolgen.

Am Beispiel Elektrodenfolie hat Fraunhofer IPM in Kooperation mit Fraunhofer IPA erforscht, ob sich das Track & Trace Fingerprint-Verfahren zur markierungsfreien Bauteilidentifikation auch für eine hochgenaue Positionsbestimmung nutzen lässt. Die nur 30 µm dicken Kupfer- oder Aluminiumfolien werden nach der Beschichtung zu Elektroden geschnitten. Noch vor der Vereinzlung nehmen Kameras die nur wenige Quadratmillimeter große Ableiterfläche am Rand eines Elektrodenstreifens auf. In diesem Fall wurden zweimal vier Kameras über dem Band einer Pilotanlage installiert, die – zugeordnet zu vier Elektrodenstreifen – den Fingerprintbereich bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 25 m pro Minute aufnehmen und später identifizieren. Dem Team gelang es, Elektrodenabschnitte anhand der Oberflächen-Mikrostruktur eindeutig zu identifizieren. So können Prozessdaten einer Position auf der Elektrodenfolie mit einer Genauigkeit von 100 Mikrometern zugeordnet werden. Das Team arbeitet daran, das Verfahren für weitere Anwendungen in der Blechverarbeitung und für weitere Materialien wie z. B. Papier weiterzuentwickeln, um damit die Grundlage für die Erzeugung digitaler Zwillinge in der Bahnwarenproduktion und -verarbeitung zu schaffen.

Projekt DigiBattPro 4.0 – BMBF (Digitalisierungslösungen und Materialentwicklung für die Batterieproduktion), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung



Sichere Rückverfolgung auch nach der Vereinzlung: In der Bahnwarenproduktion lassen sich Prozessdaten dank der Track & Trace Fingerprint-Technologie mit einem bestimmten Abschnitt eines Coils verknüpfen.



Wir werden in der Lage sein, Prozessdaten exakt mit einer bestimmten Position auf dem Coil zu verknüpfen.«

*Dr. Tobias Schmid-Schirling,
Gruppenleiter*

Projekt ARIMA HT

Echtzeit-Bildkorrelation für uni- und biaxiale Risswachstumsversuche

Fliehkräfte, Druck, wechselnde Temperaturen – mechanische Bauteile z. B. in Flugzeugen, Turbomaschinen oder Kraftwerken sind enormen Belastungen ausgesetzt. Dabei kommt es früher oder später zu Rissen im Material. Risswachstumsversuche geben Aufschluss über Wachstumsverhalten und -geschwindigkeit von Rissen und liefern eine experimentelle Datenbasis für die Bewertung der Restlebensdauer von Bauteilen und für das Bauteil-Engineering.

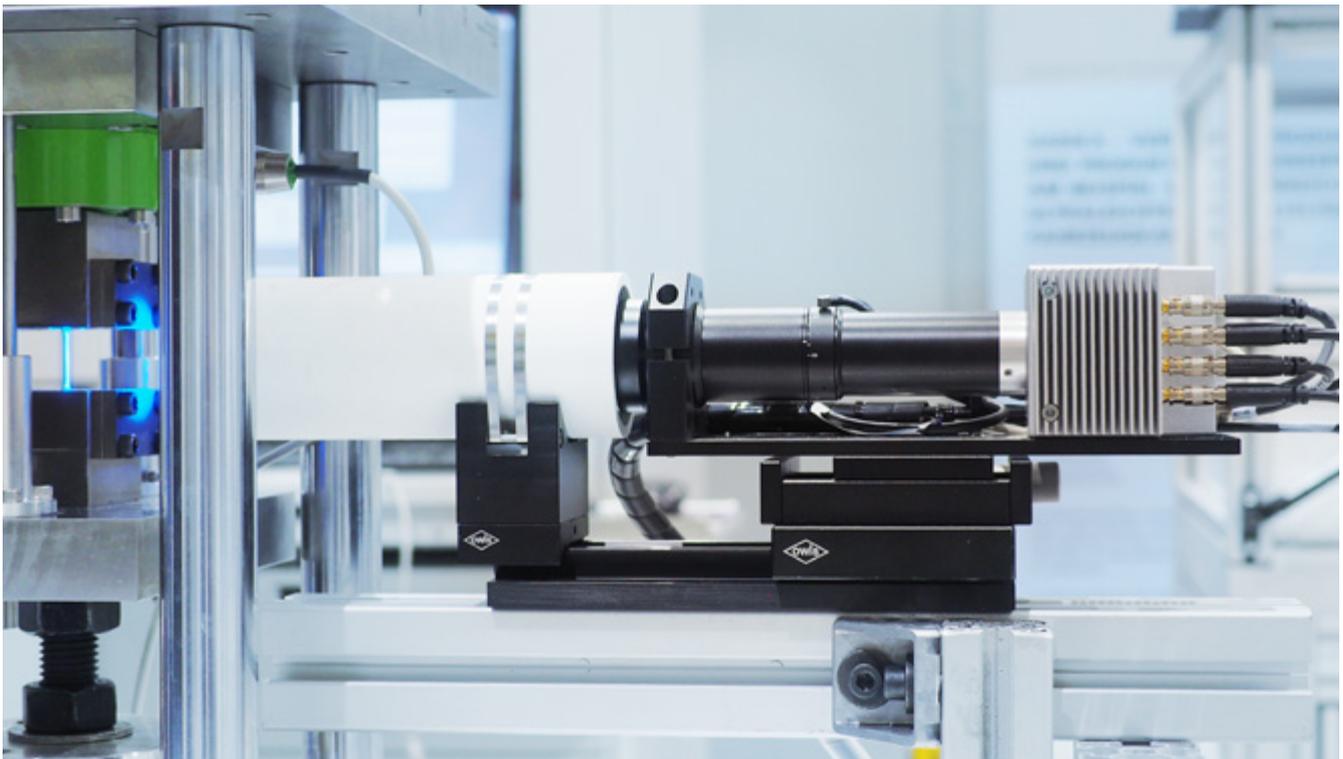
Im Forschungsprojekt ARIMA hat Fraunhofer IPM in Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffkunde (IfW) der TU Darmstadt eine innovative Messtechnik für uni- und biaxiale Risswachstumsversuche entwickelt. Sie basiert auf dem Prinzip der Bildkorrelation (Digital Image Correlation, DIC) und erfasst sowohl die integrale Dehnung – wie mechanische Extensometer – als auch ganze Dehnungsfelder und wertet sie in Echtzeit aus. Das ermöglicht einerseits eine vereinfachte Versuchsdurchführung, weil mehrere Messgrößen in einem einzigen Sensor erfasst werden, und erlaubt andererseits einen Vergleich mit Finite-Element-Simulationen, um diese experimentell abzusichern.

DIC ist ein in der Werkstoffprüfung etabliertes Bildverarbeitungsverfahren zur subpixelgenauen Messung von Dehnungen und Verschiebungen unter Belastung. Für Risswachstumsversuche jedoch ist das Verfahren aufgrund der hohen Rechenlast auf konventionellen Prozessoren zu langsam. Die Forschenden setzen daher auf eine Kombination aus schnellen Kameras und Grafikkarten (GPU): Moderne Kameras nehmen mehr als 1500 Bilder pro Sekunde auf; GPU korrelieren bis zu 74.000 DIC-Messpunkte pro Sekunde. Ein weiterer Vorteil: Auf metallischen Proben entfällt die Präparation mit Speckle-Lack, weil die hochauflösenden Kameras deren Mikrostruktur ohne weitere Markierung auflösen. Diese markierungsfreie Messung erleichtert die Detektion der Risspitzen und vermeidet Änderungen in der Emissivität des Werkstoffes.

2023 startete gemeinsam mit dem IfW das Nachfolgeprojekt ARIMA HT mit dem Ziel, die Messtechnik auch für Risswachstumsversuche bei hohen Temperaturen zu qualifizieren.

Projekt ARIMA HT (Absicherung, Entwicklung und Anwendung von Bewertungsverfahren des Rissverhaltens unter mehrachsigen bauteilnahen Hochtemperatur-Beanspruchungssituationen), gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V.

Optisch statt mechanisch: Dehnungsmessungen mit einem Kamerasensor ermöglichen einen einfachen Versuchsaufbau wie hier am Fraunhofer LBF und liefern mehr Messparameter als mechanische Extensometer.



Produktionskontrolle | Messen & Veranstaltungen

BAU

17.04.2023–22.04.2023

Stand der Fraunhofer-Allianz BAU

Wir präsentierten ein Exponat zur markerfreien Rückverfolgung von Bauelementen per Track & Trace Fingerprint und zeigten Lösungen zum Thema »Digitale Prozesskette und Recycling«.

CONTROL

09.05.2023–12.05.2023

Fraunhofer-Geschäftsbereich VISION

Das Team Optische Oberflächenanalytik stellte den Fluoreszenz-Scanner F-Scanner 1Dmini zur Prüfung der Oberflächenreinheit von Bauteilen in der Produktion vor. Die Inline Vision Systeme waren mit dem Inspektionssystem Inspect 360 HR zur hochpräzisen Vermessung von Geometrie und Oberflächenqualität vertreten.

parts2clean

26.09.2023–28.09.2023

Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung

Unser Thema war die Reinheitskontrolle in der Linie auf Basis von Fluoreszenz-Messtechnik. Präsentiert wurden der F-Scanner 1D mini und die F-Camera mini.

Technologietag Vision

25.10.2023–26.10.2023

Eigener Stand

Auf der Ausstellung war Fraunhofer IPM mit einem robotergestützten F-Scanner zur Reinheits- und Beschichtungsprüfung und der Track&Trace Fingerprint-Technologie zur markierungsfreien Rückverfolgung von Bauteilen vertreten.

Blechexpo

07.11.2023–10.11.2023

Gemeinschaftsstand der EFB

Wir zeigten ein optisches Inline-Messsystem, das die Beölung von Blechen im Produktionstakt vollflächig und bildgebend misst. Außerdem stellten wir ein Verfahren zur markierungsfreien Rückverfolgung von Endlos-Blechen vor.

Geplant für 2024

Joining in Car Body Engineering

27.02.2024–28.02.2024

HMI

22.04.2024–26.04.2024

Control

23.04.2024–26.04.2024

Surface Technology

04.06.2024–06.06.2024

EuroBLECH

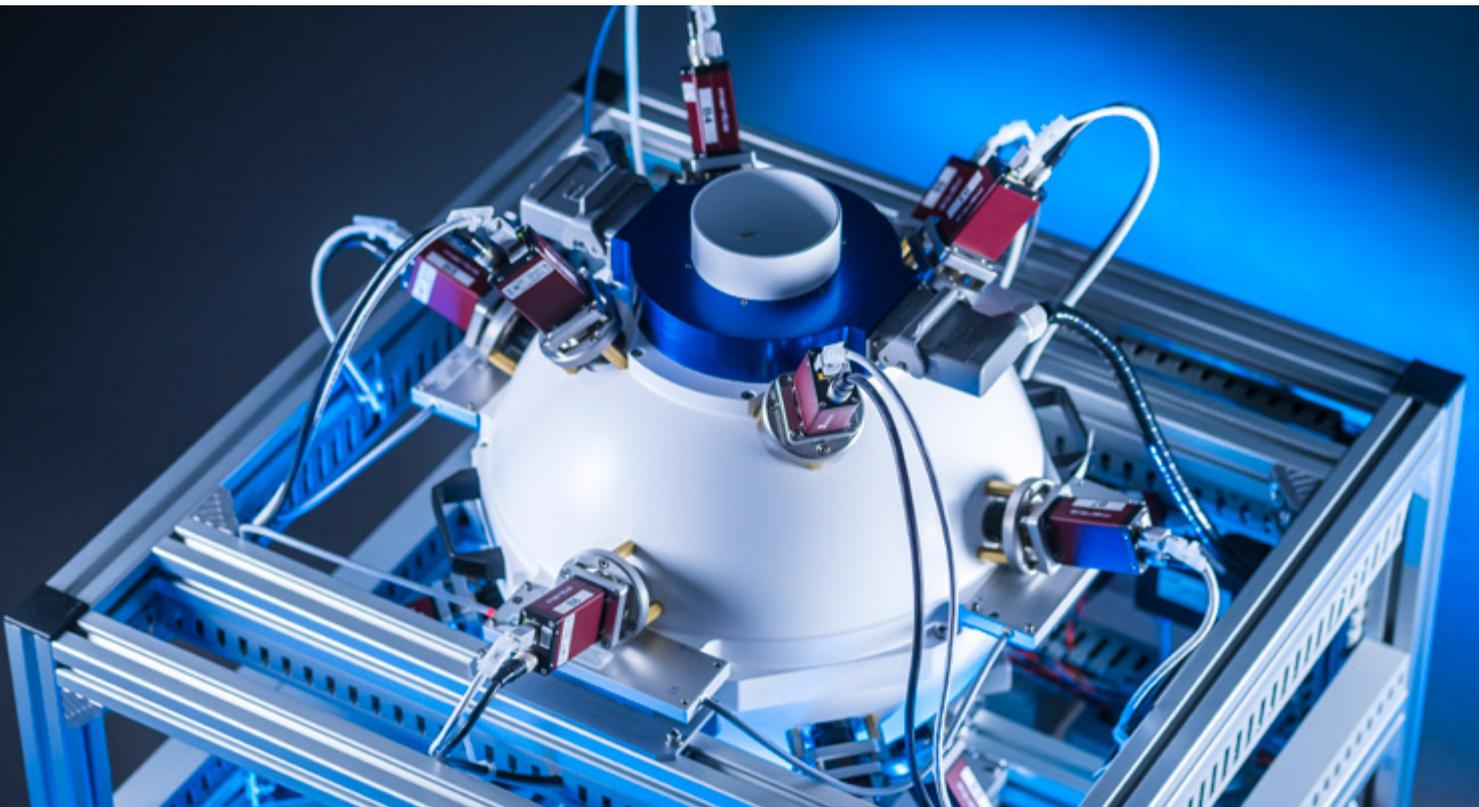
07.10.2024–10.10.2024

Quantum Effects

08.10.2024–09.10.2024

Fokus Inline-Qualitätskontrolle

Effiziente Bauteilinspektion: Prüfung im freien Fall



Das Freifall-Inspektionssystem Inspect-360° HR eignet sich besonders zur Inspektion von Kleinteilen bis 3 cm Länge. Dank einer Pixelauflösung von 15 µm erkennt das System selbst feinste Oberflächenfehler.

Umformer, Stanzer oder Spritzgießer müssen heutzutage immer präziser fertigen: Oft liegen die Fertigungstoleranzen bei nur wenigen hundertstel Millimetern. Selbst eine stichprobenhafte Qualitätsprüfung ist dabei oft schon eine teure Angelegenheit; die 100-prozentige Dokumentation mit herkömmlichen Prüfverfahren ist schlichtweg nicht rentabel. Fraunhofer IPM hat in den letzten Jahren intensiv daran gearbeitet, die Bauteilprüfung in der Linie effizienter und kosten günstiger zu machen. Zentrale Idee dabei ist die Prüfung im freien Fall.

Die Bauteilinspektion im freien Fall hat gleich mehrere Vorteile: Das Bauteil muss nicht aufwändig positioniert werden und die gesamte

Bauteiloberfläche wird gleichzeitig erfasst – dank mehrerer Hochleistungskameras und intelligenter Software. Das spart Zeit und Geld. Die Freifall-Inspektionssysteme aus der Reihe Inspect-360° prüfen Maßhaltigkeit und Textur ganz unterschiedlich geformter Halbzeuge in der Linie – mit einer lateralen Detailauflösung bis hinunter auf 15 µm. Andere Systemvarianten erlauben eine spezielle Oberflächenprüfung im Hinblick auf Reinheit und Beschichtungsqualität. Praktisch für den Anwender: Alle gewünschten Prüfmethoden lassen sich maßgeschneidert in einem einzigen System vereinen – und alle gewünschten Qualitätsdaten werden in einem einzigen Prüfungsvorgang erfasst.

Einfache Linienintegration

Zur Prüfung werden die Teile über ein Förderband einzeln in eine Hohlkugel befördert. Sie fallen hindurch und werden frei fallend mithilfe von bis zu 27 Kameras gleichzeitig – teils sogar mehrfach – aus allen Richtungen inspiziert. Die Teile werden diffus beleuchtet und können dadurch schlagschatten- sowie reflexfrei erfasst werden – das gilt selbst für blanke Oberflächen oder glänzenden Ölbelag. Einzige Anforderung: Die Teile müssen das Messvolumen einzeln passieren. In welcher Orientierung ist unerheblich.

Im Rahmen der Linienintegration werden dem Inspektionssystem alle CAD-Modelle der zu prüfenden Teiletypen vorgestellt, damit diese bekannt sind. Zur Prüfung der Maßhaltigkeit gibt es nun zwei Optionen: Entweder wird mittels globalem Schwellwert festgelegt, wie groß die maximal zulässige Konturabweichung zum CAD-Modell sein darf. Oder es werden pro Teiletyp zwei zusätzliche CAD-Modelle verwendet, die die obere bzw. die untere Toleranzgrenze lokal festlegen.

Oberflächen-Texturerkennung per KI

Die Oberflächentextur der Teile wird mittels KI-basierter Anomaliedetektion geprüft. Für das Training des neuronalen Netzes werden nur Gut-Teile benötigt, sodass die oft aufwändige Suche nach Fehlerteilen wegfällt. Das Verfahren erkennt so z. B. Kratzer, Risse und tiefe Schlagstellen. Eine nachgelagerte Klassifikation der Defekte ist mittels zusätzlicher Bildverarbeitung möglich.

Die Inspect-360°-Systeme können für die quantitative Reinheitskontrolle oder die Prüfung der Beschichtungsqualität zusätzlich mit einer UV-Beleuchtung ausgestattet werden, die organische Substanzen auf der Oberfläche zur Fluoreszenz anregt und damit sichtbar macht. Sogar Mikrorisse, die mit dem Auge nicht erkennbar sind, können per UV-Beleuchtung detektiert werden, wenn ein fluoreszierender Marker aufgebracht wurde. In Kombination mit den erfassten geometrischen Merkmalen ist es so möglich, die Defekterkennung zu automatisieren und Defekte von Pseudoanzeigen zuverlässig zu unterscheiden.

Auswertung mit bis zu 5 Hz

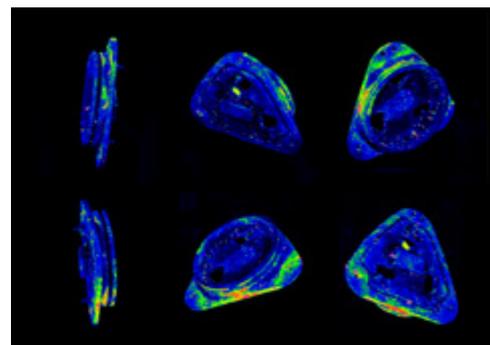
Mit den Inspect-360°-Freifallsystemen lassen sich Teile direkt in der Produktionslinie prüfen und fehlerhafte Teile im Sekundentakt aussortieren. Das macht ein direktes Eingreifen bzw. eine Rückkopplung in den Prozess möglich. Neben der Qualitätsprüfung können die Systeme auch die Einricht- und Warmlaufphase von Prozessen überwachen. Insgesamt steigern die Systeme also die Produktionseffizienz, da sich diese Phasen deutlich verkürzen lassen und Ausschuss reduziert wird. Werden noch höhere Taktraten gefordert, lässt sich ein Inspect-360°-System so konfigurieren, dass mehrere Prüfaufträge parallel auf unterschiedlichen PCs bearbeitet werden, sodass das System produktionsbegleitend bis zu Taktfrequenzen von 5 Hz bzw. 300 Bauteilen pro Minute eingesetzt werden kann.



Nicht selten ist teures Handling das K.O.-Kriterium für eine wirtschaftliche Qualitätskontrolle.«

*Dr. Daniel Carl,
Abteilungsleiter*

Auch die quantitative Reinheitskontrolle ist im freien Fall möglich: Dazu regt eine zusätzliche UV-Beleuchtung organische Substanzen zur Fluoreszenz an.



Überblick Objekt- und Formerfassung

Die Automatisierung der 3D-Datenerfassung und -prozessierung: Das ist unser Beitrag zur Digitalisierung der Umwelt.

Im Geschäftsfeld »Objekt- und Formerfassung« beschäftigen wir uns mit der gesamten Prozesskette zur automatisierten Erfassung, Referenzierung, Analyse und Visualisierung der Form und Lage von Infrastruktur-Objekten. Wir entwickeln Messsysteme, vor allem LiDAR-Systeme, sowie maßgeschneiderte Beleuchtungs- und Kamerasysteme. So erfassen wir Objekte und Formen in drei Dimensionen – extrem schnell, extrem präzise, meist von bewegten Plattformen aus. Typische Messbereiche erstrecken sich von wenigen Zentimetern bis in den 100-Meter-Bereich.

Speziell entwickelte Software wertet die gemessenen Daten vollautomatisiert aus und analysiert sie. Dafür nutzen wir Techniken der künstlichen Intelligenz (KI) wie beispielsweise »Deep Learning«. Anwendungsspezifisch aufbereitete und visualisierte Daten liefern eine solide Planungsgrundlage – besonders wichtig ist das z. B. für Infrastrukturmaßnahmen.



**Schnelle, präzise
und robuste Sensoren**



**Miniaturisierte
Messsysteme**



**Software zur
Datenanalyse**

Unsere Gruppen und Themen

Mobiles terrestrisches Scanning

- Systeme für Mobile Mapping-Fahrzeuge
- Systeme für Regelstraßenfahrzeuge
- Sensor- und Datenfusion für Komplettsysteme

Mobile Bahn-Messtechnik

- Systeme für Messzüge
- Systeme für Regelzüge
- Sensor- und Datenfusion für Komplettsysteme

Airborne- und Unterwasser-Scanning

- Systeme für autonome Flugplattformen
- Systeme für Anwendungen unter Wasser
- Signalanalyse für schwierige Messumgebungen

Autonome Messrobotik

- Adaptierung von Messsensorik für robotische Systeme
- Integration von robotischen Komplettsystemen
- Umsetzung kooperativer Systeme

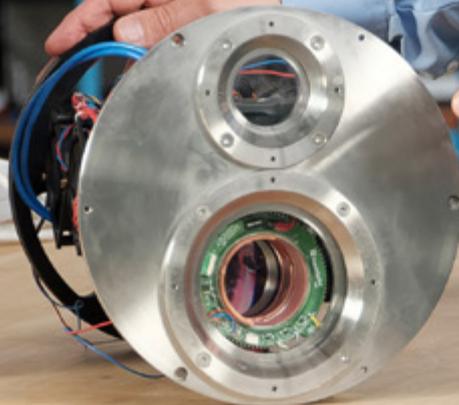
3D-Geodaten-Analyse

- KI-basierte semantische Anreicherung von 2D- und 3D-Daten
- Echtzeit-Visualisierung räumlicher Daten
- Erstellung synthetischer Messdaten
- Plattformunabhängige Systeme



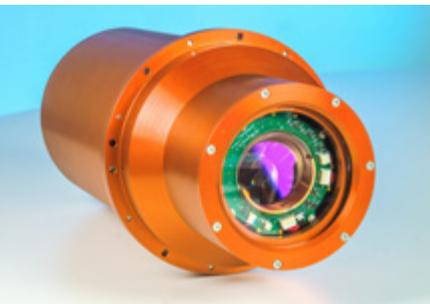
**Wir können LiDAR auch unter Wasser.
Dafür haben wir multispektrale Laser-
scanner entwickelt.«**

Prof. Alexander Reiterer, Abteilungsleiter



Highlights Objekt- und Formerfassung

Projekte • Innovationen • Veranstaltungen



Die sensible Technik des Underwater LiDAR Systems ist in einem druckfesten Gehäuse untergebracht. So kann der Sensor mehrere hundert Meter tief tauchen.

Maritimes Geomapping

Finnland setzt auf Unterwasser-LiDAR von Fraunhofer IPM

Das Finnish Geospatial Research Institute nutzt für die Vermessung maritimer Gebiete in Zukunft das Underwater LiDAR System ULi und den Airborne Bathymetric Laser Scanner ABS. Von der Kombination beider Systeme verspricht sich das renommierte Forschungsinstitut höherwertige maritime Geodaten und effizientere Messkampagnen, z. B. beim Zustandsmonitoring von Unterwasser-Infrastruktur oder bei der topographischen Vermessung küstennaher Gewässer. Hier kommen bisher vor allem Kamera- und Sonarsysteme zum Einsatz. Der breite Einsatz von LiDAR-Systemen für submarine Messungen scheiterte bislang vor allem an der starken Lichtabschwächung durch das Medium Wasser sowie an den im Wasser vorhandenen Trübstoffen.

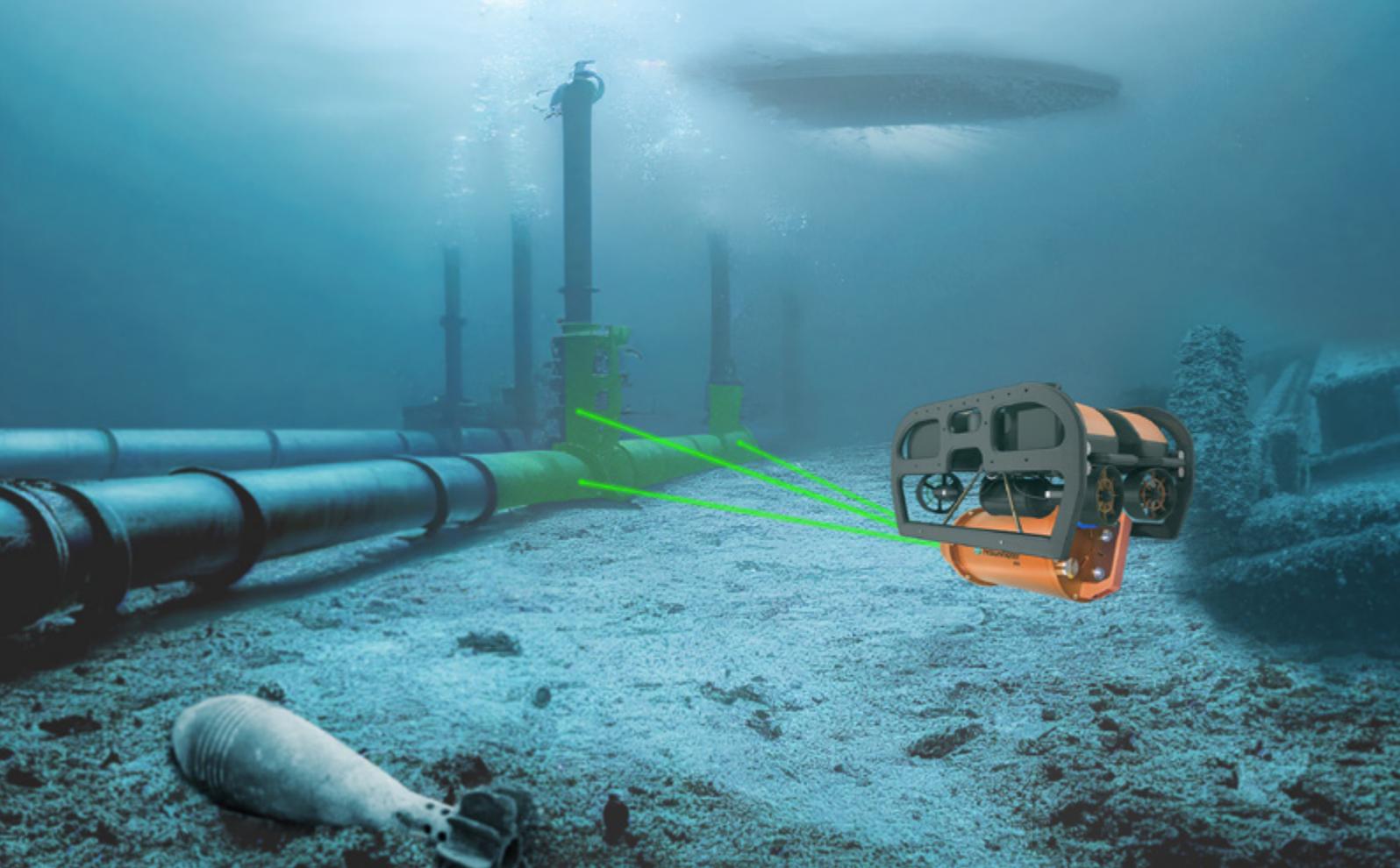
Unsere LiDAR-Systeme ULi und ABS ermöglichen 3D-Messungen unter Wasser und bathymetrische Messungen aus der Luft mit bislang unerreichter Präzision. Der ULi-Sensor erfasst Objekte unter Wasser millimetergenau auf Basis des Pulslaufzeit-Verfahrens und ist dabei bis zu zehnmal genauer als etwa Sonarsysteme. Der Sensor kann von einem Schiff oder Unterwasserfahrzeug aus statisch oder in Bewegung messen und liefert ein präzises 3D-Modell unterseeischer Infrastruktur – z. B. von Offshore-Windanlagen, Pipelines oder Seekabeln. Der ABS nutzt zwei Laser unterschiedlicher Wellenlänge, um

Küstenbereiche bis zu einer Tiefe von zwei Secchi millimetergenau topographisch zu vermessen. Ein wesentlicher Vorteil des Systems ist das geringe Gewicht: Mit weniger als drei Kilogramm ist der Sensor das derzeit leichteste bathymetrische LiDAR System in dieser Leistungsklasse und kann damit auf gängigen Drohnen ohne besondere Fluggenehmigung eingesetzt werden.



Wir haben hier ein mächtiges Tool, um Küstenlinien zu kartieren und Objekte in großer Tiefe in 3D zu vermessen.«

Prof. Juha Hyyppä, Direktor Remote Sensing am Finnish Geospatial Research Institute



Projekt CoLiBri

Sensorplattform zur Inspektion von Unterwasser-Infrastruktur

Der Projektname lässt es ahnen: Besonders leicht und kompakt soll die kollaborative Sensorplattform werden, welche ein Team im Projekt CoLiBri gemeinsam mit dem Finnish Geospatial Research Institute FGI und Partnern des Leistungszentrums Nachhaltigkeit Freiburg LZN seit Juni 2023 entwickelt. Damit sollen sowohl hochauflösende Kartierungen von Küstengewässern als auch Inspektionen von Unterwasser-Infrastrukturen möglich sein.

Auf der Plattform werden zwei multispektrale, gepulste LiDAR-Systeme integriert: ein ultraleichter bathymetrischer Scanner für den Einsatz auf unbemannten Drohnen sowie ein kompakter 3D-Scanner für den Einsatz auf ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen (ROVs) oder Schiffen. Beide Scanner werden ein neu zu entwickelndes LiDAR-Modul nutzen, bestehend aus Lasern, Optik sowie neuen Lösungen für die Signalverarbeitung, Positionserfassung und Georeferenzierung.

Ein Forschungsschwerpunkt neben der Hardware liegt auf der Datenauswertung. Die LiDAR-Systeme zeichnen fünf Giga-Samples

pro Sekunde auf. Die Daten werden mithilfe einer Full-Waveform-Analyse ausgewertet. Die Forschenden entwickeln eine Software, die die Daten beider Scanner fusioniert und analysiert und dabei auch Störeffekte durch den Salzgehalt und die Temperatur des Wassers bereinigt. Mit dem Projekt soll sowohl eine flexible technische Basis als auch ein einheitlicher Prozess realisiert werden, der das maritime Geomapping einfacher, kostengünstiger und effizienter macht als bisher.

Projekt CoLiBri (Collaborative LiDAR to Monitor Infrastructure in the Water and at the Shore-line), gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft (IMPULS-Projekt)

LiDAR-Sensoren können Unterwasser-Infrastruktur millimetergenau und effizient inspizieren. (Bildmontage)



Finnische Wissenschaftler testen den ultraleichten Bathymetrie-Laserscanner.

Neues Mobile-Mapping-Fahrzeug

Universal-Messfahrzeug für die kommunale Bauplanung

Valide Messdaten sind das A und O, wenn es um die Bewertung von Straßeninfrastruktur und die effiziente Planung kommunaler Baumaßnahmen geht. Fraunhofer IPM hat für den Baukonzern HOCHTIEF ein Messfahrzeug entwickelt, das für viele verschiedene Messaufgaben gerüstet ist: Hochauflösende Kameras und Laserscanner messen Längs- und Querebenheit sowie Oberflächenmerkmale der Straßenoberfläche. Ein Pyrometer zeichnet zusätzlich die Temperatur der

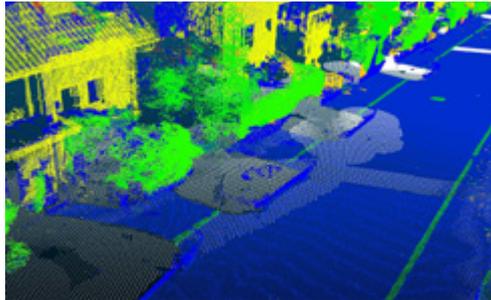
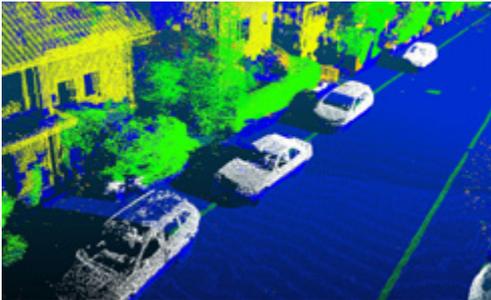
Fahrbahnoberfläche auf. Zur Erfassung von Position und Orientierung sind eine inertielle Messeinheit und ein GNSS-Modul in das Messsystem integriert. Die Betriebssoftware ermöglicht ein Live-Monitoring, sodass die Sensoren überwacht werden können und die Qualität der Daten während der Fahrt geprüft werden kann. Mit dem Fahrzeug sollen zukünftig Zustandserfassungen und -bewertungen gemäß den offiziellen Richtlinien der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt möglich sein.

Neben dem Straßen-Zustandsmonitoring ist das Messfahrzeug zusätzlich mit einem Lichtraumprofil-Laserscanner von Fraunhofer IPM sowie vier Kameras ausgestattet, die die Straßenumgebung erfassen. Eine Post-Processing Software verarbeitet die Messdaten zu einer georeferenzierten Punktwolke.

Die HOCHTIEF-Tochter Edgital nutzt das Universal-Messfahrzeug für Messkampagnen im Auftrag von Kommunen und kann damit erstmals eine Gesamtlösung für die Zustandsbewertung, die Planung, das Management und die Dokumentation von Baumaßnahmen bieten. Zusätzlich soll das Fahrzeug zukünftig den Glasfaserausbau in Deutschland unterstützen: Die erfassten Messdaten erfüllen die Voraussetzungen der Deutschen Telekom für die Planung des FTTH-Ausbaus (Fiber-to-the-Home).



*Hochgerüstet mit Messtechnik:
Ein Universalfahrzeug erfasst
den Zustand des Straßenbelags
und nimmt gleichzeitig die
Straßenumgebung auf.*



Autofreie Innenstadt: Autos werden in den Kamerabildern (obere Reihe) über eine automatisierte Objekterkennung identifiziert, eine generative KI füllt die Bildbereiche und schafft damit die Basis für »lückenlose« Planungskarten. Mit der Fusion von Kamerabildern und Punktwolke können die Autobereiche auch in der 3D-Punktwolke (untere Reihe) eliminiert und die fehlenden Straßenoberflächen interpoliert werden.

Deutsche Telekom

Neues Software-Release optimiert Trassenplanung beim Glasfaserausbau

Nicht nur im echten Leben können parkende Autos ein Ärgernis sein. Auch bei der Vermessung von Straßen mithilfe von Kameras und LiDAR-Sensoren sind sie ein Problem: Dort, wo in Kamerabildern und Punktwolken Autos sind, fehlen wichtige Informationen, beispielsweise über die Beschaffenheit der Straßenoberfläche unter oder der Gehwegoberfläche hinter dem Fahrzeug. Diese Datenlücken sind ein Problem für den Planungsalgorithmus, denn Bauplanungen müssen bis auf wenige Meter genau erfolgen, um z. B. den Einsatz von Baufahrzeugen optimal zu steuern.

Eine Software zur automatisierten Auswertung von 3D-Straßendaten wurde nun für die Deutsche Telekom so weiterentwickelt, dass diese Datenlücken geschlossen werden können. Die neue Software erkennt Autos in den Kamerabildern über semantische Segmentierung und löscht sie aus den Daten. Eine generative KI füllt dann die ausgestanzten Bereiche und das autofreie Bild wird in die Punktwolke projiziert. Die so entstandene autofreie 3D-Punktwolke bildet

die Grundlage für digitale Planungskarten. Gleichzeitig ermöglicht die Software erstmals eine Segmentierung der Messbilder nach Nutzflächenarten wie z. B. Gehwegen, Fahrbahnen und Parkflächen.

Neben dem Schließen der Datenlücken wurde mit dem Release auch die Performance der Software deutlich erhöht: Durch Parallelisierung und flexible Nutzung der auf dem Rechner verfügbaren Hardware-Ressourcen werden die Messdaten nun doppelt so schnell verarbeitet wie vorher. Das macht die Prozessierung der enormen Datenmengen in der Cloud sehr viel günstiger.



Wir können störende Objekte wie zum Beispiel parkende Autos automatisiert aus 3D-Punktwolken entfernen.«

Benedikt Rombach, Gruppenleiter

Fraunhofer-Leitprojekt BAU-DNS

LiDAR-Sensor beschleunigt Gebäudesanierung

Der Bausektor spielt im Kampf gegen den Klimawandel eine große Rolle: Allein durch die Erhaltung von Bestandsgebäuden ist es möglich, Energie und Ressourcen zu sparen. Eine effiziente Gebäudedämmung und der Einbau von Wärmeschutzverglasung führen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden.

Im seit Januar 2023 laufenden Fraunhofer-Leitprojekt BAU-DNS arbeiten sieben Fraunhofer-Institute daran, energetische Sanierungen effizienter und nachhaltiger zu machen. Fraunhofer IPM entwickelt einen optischen Sensor, mit dem es möglich ist, Gebäude komplett, schnell und flexibel zu erfassen. Zum Einsatz kommt hierbei LiDAR-Technologie ergänzt durch Kameras. Mithilfe einer KI lässt sich die entstandene Punktwolke in Echtzeit interpretieren – der Sensor gibt Anwendern und Anwenderinnen direktes Feedback zum Erfassungsprozess und zur Qualität des Gebäudeskans.

Fraunhofer IPM profitiert in diesem Projekt von Erfahrungen im Bereich »3D-KI« und beim Aufbau multimodaler Messsysteme, u. a. den T-Cars, die ganze Straßenzüge im Vorbeifahren vermessen und digitalisieren, um den Glasfaserausbau voranzutreiben. Erste Messungen an zwei Demonstratorgebäuden zeigten vielversprechende Ergebnisse. Im nächsten Projektabschnitt wird aus den gesammelten Daten ein digitaler Zwilling erstellt. Mit dessen Hilfe kann die Sanierungsplanung genauer und effizienter durchgeführt werden. Möglich ist so die Vorfertigung einzelner Bauteile und Module in einem Systembaukasten – ein ressourcenschonender und nachhaltiger Prozess, der der Umwelt zugutekommt.

Projekt BAU-DNS (»Ganzheitliches Verfahren für eine nachhaltige, modulare und zirkuläre Gebäudesanierung«), gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

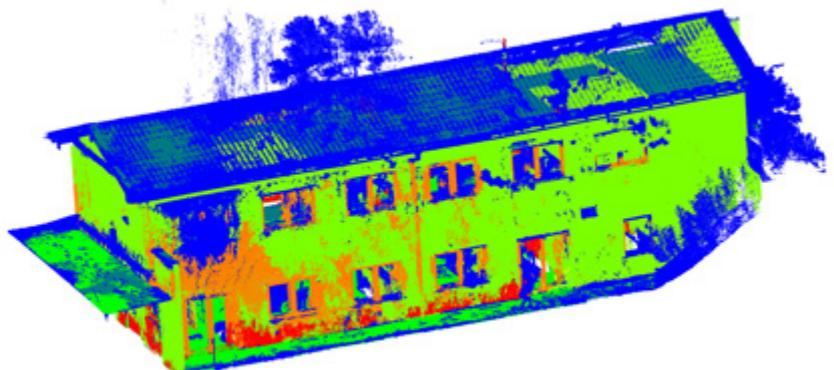
Optische Sensoren von Fraunhofer IPM können Gebäude schnell und flexibel erfassen. Die erzeugten Punktwolken lassen sich per KI in Echtzeit interpretieren.

Fraunhofer Hochschulkooperationsprogramm

Erfolgreiche Kooperation mit Hochschule Furtwangen wird fortgesetzt

Analyse, semantische Segmentierung und Daten-Visualisierung – das sind die Themen, die in der 3D-Messtechnik immer wichtiger werden und beispielsweise bei der Sanierung von Gebäuden eine große Rolle spielen. Schon seit mehreren Jahren kooperiert Fraunhofer IPM in diesem Forschungsbereich sehr erfolgreich mit der Hochschule Furtwangen (HFU). Alles fing an mit einzelnen Forschungsprojekten. 2019 folgte dann der Aufbau der Gruppe »Smarte Datenprozessierung und -visualisierung«. Unter der Leitung von Prof. Christoph Müller, Professur für Computergrafik an der Fakultät Digitale Medien der HFU, feierte diese eine ganze Reihe von Erfolgen, beispielsweise die Entwicklung einer Software zur performanten Visualisierung und Annotierung von Punktwolken.

Die Kooperation zwischen Fraunhofer IPM und der HFU wurde durch das Fraunhofer-Kooperationsprogramm Fachhochschulen finanziell unterstützt. Die fünfjährige Förderung lief Ende 2023 aus, aber die erfolgreiche Zusammenarbeit geht weiter: Anfang 2024 übernahm Benedikt Rombach die Leitung der mittlerweile auf zehn Mitarbeitende gewachsenen Gruppe, nun unter dem Namen »3D-Geodaten-Analyse«. Hier stehen weitere gemeinsame Projekte von Fraunhofer IPM und der HFU an. Auch die Förderung von Studierenden steht weiterhin im Fokus: Zahlreiche Masterarbeiten sind entstanden und einige mehr sind in Planung. Durch die Kooperation konnten Kompetenzen in der maschinellen Messdatenauswertung gebündelt und vertieft werden – was beiden Partnern zugutekommt.



Objekt- und Formerfassung | Messen & Veranstaltungen

BAU

17.04.2023–22.04.2023

Stand der Fraunhofer-Allianz BAU

Wir präsentierten die 3D-Modellierung für die Bauplanung mithilfe von KI.

INTERGEO

10.10.2023–12.10.2023

Stand von Fraunhofer IPM

Gezeigt wurde der interaktive Live-Demonstrator 3D-AI zur KI-basierten, automatisierten Auswertung von Mobile-Mapping-Daten. Prof. Alexander Reiterer hielt einen Vortrag über die »Auswertung von Mobile-Mapping-Daten mit KI für den beschleunigten Glasfaserausbau in Deutschland«.

Geplant für 2024

Oceanology International

12.03.2024–14.03.2024

INTERGEO

24.09.2024–26.09.2024

InnoTrans

24.09.2024–27.09.2024

Hydro

05.11.2024–07.11.2024

MoLaS – Mobile Laser Scanning Technology Workshop

27.11.2024–28.11.2024



Fokus Optische Bauwerksprüfung

Alternative zum Hammerschlagtest: Ein Laser macht verborgene Schäden an Bauwerken sichtbar.



Unter der Oberfläche einer Betonwand können sich Hohlstellen oder Abplatzungen verbergen. Solche Fehlstellen lassen sich jetzt mithilfe eines Laserpulses aufspüren.

Prävention ist sinnvoll, und zwar nicht nur, wenn es um die Gesundheit geht. Auch für Tunnel, Brücken, Staumauern, Kanäle und andere Infrastrukturbauwerke empfiehlt sich ein regelmäßiger Zustandscheck. Oft sind kleinere Fehlstellen an den Bauwerken ein erster Hinweis auf sich anbahnende größere Schäden. Diese rechtzeitig zu entdecken, sollte daher Teil einer vorausschauenden Instandhaltung sein. Vielfach setzen Betreiber von Infrastruktur beim Zustandsmonitoring noch immer auf Sichtprüfungen. Spezialisierte Inspektionsfirmen nutzen darüber hinaus mobile Laserscanner zur Messung der Bauwerksgeometrie und zur Detektion von Oberflächendefekten. Was aber, wenn sich Schäden unter der Oberfläche bilden? Ein Team am Fraunhofer IPM hat gezeigt, dass Laser auch Schadstellen aufspüren können, die sich unter der Oberfläche verbergen. Das im Rahmen des Projekts LaserBeat entwickelte Verfahren soll in Zukunft den mechanischen Hammerschlagtest ersetzen, das heutige Standardverfahren für die Integritätsprüfung von Bauwerken.

Objektive Messergebnisse statt subjektiver Wahrnehmung

Beim Hammerschlagtest wird die gesamte zu prüfende Oberfläche von Hand mit einem speziellen Prüfhämmer abgeklopft – ein erheblicher Aufwand, da in der Regel sehr große Objekte geprüft werden. Als Sensor dient beim Hammerschlagtest allein das menschliche Ohr. Es nimmt die durch den Schlag angeregten Resonanzschwingungen wahr und zieht aus einer veränderten Schwingungsstärke Rückschlüsse auf Materialveränderungen unter der Oberfläche. Die Prüfmethode liefert keine objektiv quantifizierbaren Messergebnisse. Vergleiche über lange Zeiträume hinweg, die auf sich anbahnende Defekte hindeuten, sind daher nur schwer möglich. Innovative Methoden, die objektive digitale Messdaten liefern und eine zeitgemäße Instandhaltung nach dem Prinzip des Building Information Modeling (BIM) ermöglichen, sind also dringend gefragt.

Starker Laserpuls regt charakteristische Oberflächenschwingung an

Die Forschenden am Fraunhofer IPM imitieren den mechanischen Hammerschlag mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser mit knapp 1 J Pulsenergie und 5 ns Pulsdauer. Der Laser wird aus einem Abstand von einem bis zehn Metern und einer Wiederholrate von 10 Hz auf die Bauwerksoberfläche gerichtet. Dort erzeugt er einen Plasmablitzen unmittelbar vor der Objektoberfläche, ohne diese zu beschädigen. Verbergen sich Materialablösungen (Delaminationen), Hohlräume oder Defekte unter der Oberfläche, regt die plasmainduzierte Schockwelle charakteristische resonante Schwingungen der Oberfläche an – ähnlich wie beim Hammerschlag. Typische Defekte, die mit der Hammermethode nachgewiesen werden können, weisen Resonanzfrequenzen von einigen 100 Hz bis zu etwa 10 kHz auf. Während beim Hammerschlagtest das Prüfpersonal die Resonanzschwingungen interpretiert, werden die Vibrationen bei der laserbasierten Ferndetektion mithilfe eines zweiten Lasers detektiert: Ein Laser-Doppler-Vibrometer (LDV) misst die mechanische Schwingung der Betonoberfläche direkt über die Frequenzverschiebung des rückgestreuten Lichts, die dann interferometrisch ausgewertet wird. Amplitude und Frequenz der Schwingungen geben Aufschluss über die Größe und Tiefe der Hohlräume und Defekte. Speziell für die Delaminationsprüfung in Tunnelbauwerken hat das Team ein LDV gebaut, das optimal auf die Detektion von Fehlstellen in Betonwänden und die Bedingungen im Tunnel ausgelegt ist.

Effizient und sensitiver als manuelle Prüfmethode

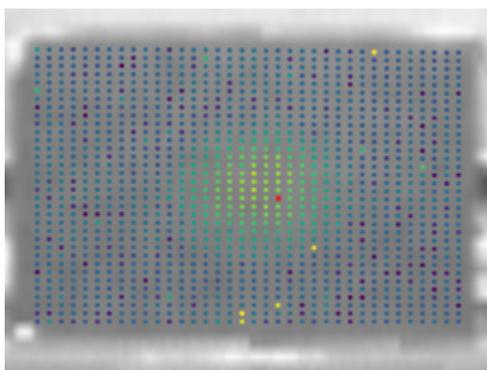
Bei Testmessungen an einem Betonquader, in den wenige Zentimeter unter der Oberfläche künstliche Fehlstellen unterschiedlicher Größe aus extrudiertem Polystyrolschaum eingebettet waren, zeigt sich das laserbasierte System dem klassischen Hammerschlagtest überlegen: Mithilfe des laserinduzierten Körperschalls wurden Fehlstellen mit einer Größe von bis zu $12 \times 12 \text{ cm}^2$ sicher detektiert, die mit der manuell-mechanischen Methode unentdeckt blieben. Die Messungen wurden aus einer Entfernung von zwei Metern durchgeführt. Um das System unter praktischen Bedingungen zu prüfen, wurden Messungen in mehreren ausgewählten Tunnelbauwerken gemacht. Auch hier erwies sich das Verfahren als robust und zuverlässig.

Ein motorisierter Ablenkspiegel lenkt den Laserstrahl entlang zweier Achsen ab und ermöglicht es somit, eine Fläche zu erfassen. Der prinzipiell stationäre Aufbau kann für die Inspektion großer Flächen auf eine Roboter-Plattform integriert werden und so im Stop-and-Go-Modus Messungen in definierten Abständen durchführen. Etwas mehr als 15 Minuten benötigt das System, um eine Fläche von rund 100 m^2 mit einem Messraster von 10 cm zu prüfen; bei geringerer Auflösung geht es entsprechend schneller. Mit einer weiteren Parallelisierung und Optimierung von Systemkomponenten soll der Aufnahmeprozess in Zukunft noch weiter beschleunigt werden.



Mit der Methode können wir die Bauwerksintegrität schneller und genauer prüfen als bisher.«

Valentin Vierhub-Lorenz,
Projektleiter



KI-basierte Datenauswertung: Eine am Fraunhofer IGP entwickelte Software identifiziert auffällige Messpunkte, grenzt Schadensbereiche ein und visualisiert die Ergebnisse direkt. Helle Messpunkte weisen auf eine Delamination in der Mitte des Probekörpers hin. Jedes Messsignal kann zudem in Form eines Graphen detailliert angezeigt werden.

Überblick Gas- und Prozesstechnologie

Messsysteme und Energiewandler nach Maß entwickeln: Das ist unser Beitrag für mehr Nachhaltigkeit.

Im Geschäftsfeld »Gas- und Prozesstechnologie« entwickeln und fertigen wir Mess- und Regelsysteme nach kundenspezifischen Anforderungen. Die Bandbreite der Anwendungen reicht von der Abgasanalyse über die Transportüberwachung von Lebensmitteln bis zu Sensoren und Systemen zur Messung kleinster Temperaturunterschiede. Kurze Messzeiten, hohe Präzision und Zuverlässigkeit – auch unter extremen Bedingungen – zeichnen unsere Systeme aus.

Darüber hinaus entwickeln, konzeptionieren und bauen wir Systeme, um Wärme zu pumpen, zu wandeln, zu leiten oder zu schalten. Wir forschen an kalorischen Wärmepumpen und Kühlsystemen, an thermoelektrischen Modulen und Temperiersystemen sowie an Heatpipes und Heatpipe-basierten Wärmeschaltern.



**Miniaturisierte
Sensoren und Systeme**



**Spektroskopische
Verfahren**



**Quantensensorische
Verfahren**



**Kühlen mit kalori-
schen Systemen**



**Wärmetransport
per Heatpipe**

Unsere Gruppen und Themen

Integrierte Sensorsysteme

- Gassensitive Materialien
- Mikrooptische Infrarot-Komponenten
- Miniaturisierte Gassensorsysteme

Spektroskopie und Prozessanalytik

- Spektroskopische Analytik
- Optische Systeme
- Auswerteverfahren

Nichtlineare Optik und Quantensensorik

- Nichtlineare Optik
- Neue spektroskopische Messverfahren
- Quantensensorik

Thermische Messtechnik und Systeme

- Maßgeschneiderte Mikrostrukturen
- Thermische Messsysteme
- Simulation physikalischer Prozesse
- Innovative Peltier-Kühlung und Temperierung
- Strukturelle, thermische und elektrische Analyse von Bauteilen und Materialien

Kalorische Systeme

- Kühlen und Heizen mit kalorischen Materialien
- Entwicklung magnetokalorischer, elastokalorischer und elektrokolorischer Systeme
- Entwicklung und Charakterisierung von Heatpipes für das thermische Management



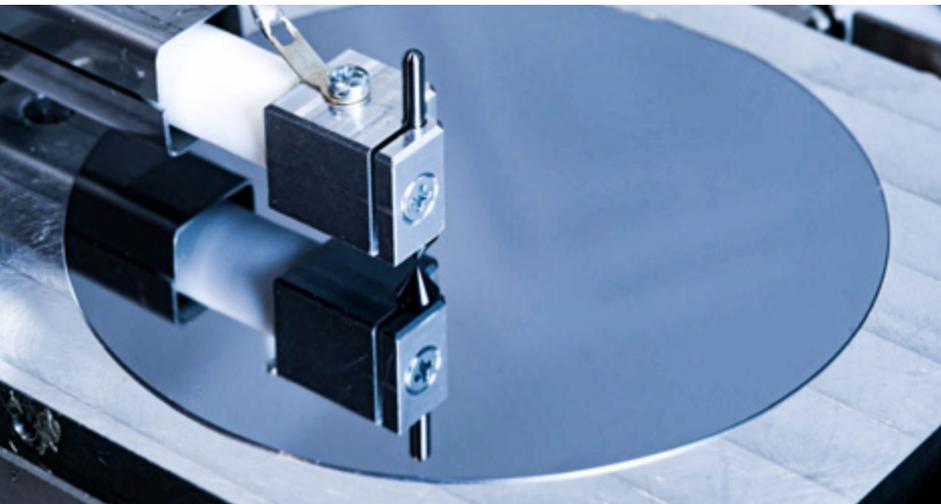
**Wir entwickeln Messsysteme,
die Gasleckagen aus der Ferne
aufspüren. So sorgen wir für
eine sichere Gasinfrastruktur.«**

Prof. Jürgen Wöllenstein, Abteilungsleiter



Highlights Gas- und Prozesstechnologie

Projekte • Innovationen • Veranstaltungen



Einfach schreiben: Mit einem neuen Verfahren werden Polungsmuster in Lithiumniobatkristalle geschrieben – flexibel und ohne aufwändige Maskenherstellung.

Strukturierung ohne Masken

Neues Herstellungsverfahren für periodisch-gepoltes Lithiumniobat

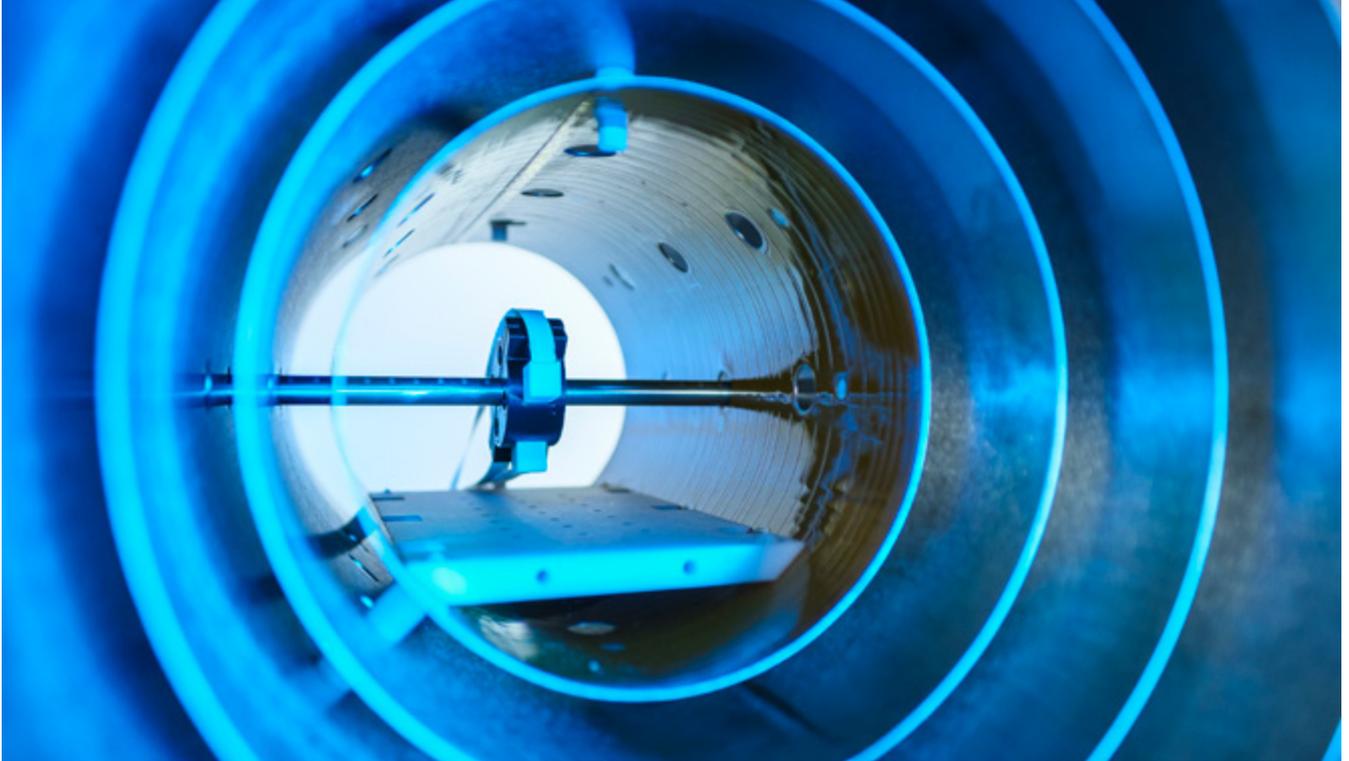
Laser mit spezifischen Wellenlängen sind unverzichtbar in der Messtechnik und Analytik oder beim Bau von Quantencomputern und Atomuhren. Nichtlinear-optische Kristalle bieten einen Weg, um die gewünschte Wellenlänge zu erzeugen. Periodisch-gepoltes Lithiumniobat (PPLN) ist ein nichtlinear-optischer Kristall mit ganz besonderen photonischen Eigenschaften, der sich zur Frequenzkonversion von Laserlicht eignet. Forschende von Fraunhofer IPM haben gemeinsam mit der Universität Freiburg ein neues Verfahren entwickelt, um PPLN flexibel und ohne Masken zu strukturieren.

Das bisherige Verfahren zur Herstellung von PPLN-Kristallen ist zeitaufwändig, kostenintensiv und unflexibel; es lohnt sich nur für die Massenproduktion von PPLN-Kristallen. Im neu entwickelten Verfahren entfallen sowohl die Maske als auch ein bisher benötigter Belichtungsschritt im Reinraum, denn die Forschenden schreiben das gewünschte Polungsmuster mithilfe einer Wolfram-Spitze direkt in das Material. Das bringt viele Vorteile: kurze Durchlaufzeiten, große Flexibilität beim Polungsmuster und die Möglichkeit, Kleinserien und Unikate zu erstellen.

Projekt New-VIEUW

Wellenlängenmesssystem der nächsten Generation

Für viele Laseranwendungen ist die präzise Kenntnis der Laserwellenlänge sehr wichtig. Hinreichend präzise Messgeräte gibt es allerdings nur für den sichtbaren und nah-infraroten Wellenlängenbereich (NIR). Als Ergebnis des New-VIEUW Projekts hat Fraunhofer IPM zusammen mit Partnern den Prototyp eines hochgenauen Wellenlängenmessgeräts für das mittlere Infrarot (MIR) vorgestellt. Kernstück ist ein Wellenlängen-»Range extender«, in dem das zu messende Infrarotlicht in einem nichtlinearen Kristall per Summenfrequenzgenerierung (SFG) in kürzere Wellenlängen umgewandelt wird. Fraunhofer IPM hat das Konversionskonzept erarbeitet und die Entwicklung des periodisch-gepolten Lithiumniobat-(PPLN-)



Wellenleiters durch den Projektpartner Cove-
sion Ltd. mit Simulationen und Materialunter-
suchungen unterstützt. Wir haben auf der
Basis ein passendes Upconversion-Modul
designt und entwickelt. Das Modul ermöglicht
es, die gewünschte MIR-Wellenlänge hoch-
genau mithilfe eines Silizium-Detektorarrays
zu bestimmen, indem die hochkonvertierte
NIR-Wellenlänge in einem speziell angepassten
Wellenlängenmesssystem des Projektpartners
High Finesse GmbH gemessen wird.

Das Ergebnis übertraf die Projektziele deutlich
und ist so vielversprechend, dass der Kommer-
zialisierung des Prototyp-Systems nichts im
Wege steht. Neben MIR-Laserherstellern und
Anwendern von Präzisionsspektroskopie ist die
Upconversion-Wellenleitertechnologie auch
für Märkte wie z. B. MIR-Bildgebung, Sensorik
und LiDAR interessant. Das New-VIEUW-
Modul kann hier als Grundlage für maßge-
schneiderte Weiterentwicklungen dienen.

**Projekt New-VIEUW (Next generation WaVlength
meters for the mid-Infrared Enabled by Upcon-
version in Waveguides), gefördert von der EU
(Eurostars-Programm)**

Projekt QMag

Nicht-invasive Durchflussmes- sung mithilfe magnetischer Quantensensoren

Die Fließgeschwindigkeit von Flüssigkeiten
in einem Rohr zu bestimmen, ist essenziell in
vielen industriellen Prozessen. Mit einem völlig
neuen Verfahren lässt sich der Durchfluss

erstmalig nicht-invasiv, präzise und kalibrations-
frei messen. Die Technologie, entwickelt im
Rahmen des 2023 abgeschlossenen Projekts
QMag, nutzt den Effekt des Kernspins von
Wasserstoffatomen, bei dem sich Atomkerne
nach Magnetfeldern ausrichten: Für die
Durchflussmessung wird die unmagnetisierte
Flüssigkeit mithilfe eines Magneten polarisiert.
Im weiteren Fluss durch das Rohr wird die
Magnetisierung mit einem Hochfrequenzpuls
lokal geändert. Die markierte Flüssigkeit fließt
weiter und wird dann mithilfe eines Quan-
tensensors detektiert. Aus der Zeitdifferenz
zwischen Markierung und Detektion lässt
sich die Fließgeschwindigkeit errechnen. Mit
der Methode können Strömungsgeschwin-
digkeiten im Bereich von 0,1 m/s bis 3,1 m/s
gemessen werden. Als Detektor setzen die
Forschenden ein hochempfindliches optisch
gepumptes Magnetometer (OPM) ein, sodass
für die Markierung der Flüssigkeit ein schwa-
ches Magnetfeld ausreicht. Damit ist das Ver-
fahren auch für Edelstahlrohre geeignet.

Nach dem Prinzip der Quantenmagnetometrie
lässt sich der Durchfluss sämtlicher Flüssig-
keiten messen, die Wasserstoff enthalten
– darunter beispielsweise Öle, Lebensmittel
oder Kosmetika. Das Team wird das System zu
einem »Clamp-on«-Detektor weiterentwickeln
und für die Messung der Durchflussgeschwin-
digkeit mehrphasiger Strömungen ausbauen.

**Projekt QMag (Quantenmagnetometrie), gefördert
von der Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)**

**Video: [Prinzip der Durchflussmessung auf
Basis von Quantenmagnetometrie](#)**

*Nicht größer als ein Zucker-
würfel und gut abgeschirmt:
Ein hochempfindlicher Quan-
tensensor misst den Durchfluss
in einem Stahlrohr.*



**Unser Sensor
eröffnet neue
Perspektiven für
die Durchfluss-
messtechnik.«**

*Dr. Peter Koss
Projektleiter*



Eine quantenmagnetometrische Kamera soll in Zukunft erste Anzeichen von Rissen in Materialien schon während der Bauteilproduktion erkennen.

Projekt QuMa2

Magnetfeld-Kamera für die hochsensitive Rissdetektion

Winzige verborgene Schäden in Werkstoffen können sich mit der Zeit zu Rissen auswachsen und die Funktion und Sicherheit technischer Anlagen und Systeme gefährden. Solche Defekte bereits bei der Herstellung zu entdecken, ist wichtig für die Qualitätssicherung. In ferromagnetischen Werkstoffen geben Inhomogenitäten in der Magnetfeldstärke Hinweise auf Mikrorisse. Diese magnetischen Signale liegen im Bereich von wenigen Picotesla, sind also eine Million Mal schwächer als das Erdmagnetfeld. Hochsensitive Magnetometer sind notwendig, um sie zu detektieren.

Im Projekt QuMa2, das im Oktober 2023 an den Start ging, entwickelt ein Team der Gas- und Prozesstechnologie gemeinsam mit einem Team der Produktionskontrolle eine hochsensitive Magnetfeldkamera, die die Magnetfeldstärke von Bauteilen bildgebend misst und im Produktionsumfeld eingesetzt werden kann. Die Kamera soll eine Fläche von einigen cm² bis dm² mit einer Ortsauflösung von etwa 100 Mikrometern in wenigen Sekunden vollständig erfassen. Dabei setzen die Forschenden erstmals auf optisch gepumpte Magnetometer (OPM), um eine hohe Sensitivität und Ortsauflösung bei gleichzeitig hoher Messrate zu erreichen. Die hochempfindlichen Quantensensoren sollen in Verbindung mit Echtzeit-Bildverarbeitung erstmals eine zerstörungsfreie, bildgebende Inline-Prüfung im Hinblick auf Mikrodefekte ermöglichen. Etwa eintausend Messpunkte wird die Kamera parallel auslesen, was eine hohe Messgeschwindigkeit im Vergleich zu punktmessenden Sensoren ermöglicht.

Projekt QuMa2 (Hochauflösende quantenmagnetometrische Kamera zur schnellen Inline-Materialprüfung), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Forschungsprogramm Quantensysteme)

Projekt MAGGIE

Neues Konzept für magnetische Schirmung von Weltraum-Instrumenten

Magnetfelder können hochsensible Weltrauminstrumente in ihrer Funktion stören. Die permanente Kontrolle der magnetischen Sauberkeit von Komponenten und deren magnetische Abschirmung sind daher ein Muss bei jeder Weltraummision. Dabei gelten strenge Grenzwerte. Dieses »magnetische Budget« einzuhalten, ist eine Herausforderung, denn neben kosmischen Magnetfeldern sind es vor allem technische Bauteile der Satelliten oder Raumschiffe, so z. B. Permanentmagnete, die Magnetfelder erzeugen.

Mit einem innovativen Konzept möchten Forschende von Fraunhofer IPM, Fraunhofer EMI und Fraunhofer ISC die magnetische Abschirmung von Raumfahrtinstrumenten verbessern: Im Projekt MAGGIE, das im Herbst 2023 startete, entwickeln sie im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation ESA eine Technologie zur Sprühbeschichtung, mit der Weltraum-Komponenten wirksamer als bisher vor Magnetfeldern geschützt werden sollen. Das Team entwickelt neue Beschichtungsmaterialien, die sich als sehr dünne Schichten auf unterschiedliche Substrate und individuell geformte Bauteile aufbringen lassen. Schwerpunkt der Arbeiten am Fraunhofer IPM sind extrem sensitive Magnetfeldmessungen, die in einem magnetfeldabgeschirmten Raum (MSR) durchgeführt werden.

Projekt MAGGIE (Innovative Materials and Designs for magnetic shielding), gefördert von der European Space Agency ESA

Der miniaturisierte nicht-invasive Atemgas-Sensor lässt sich mithilfe eines T-Konnektors in Beatmungsgeräte integrieren.



Projekt PASMIE

Medizinische Bildgebung per Photoakustik

Die photoakustische Bildgebung (Photoacoustic Imaging, PAI) hat durch die Kombination optischer und akustischer Verfahren das Potenzial, die medizinische Diagnostik an weichem Gewebe entscheidend zu verbessern. Klassische ultraschallbasierte Verfahren sind prinzipbedingt hierfür nur eingeschränkt geeignet. Bestimmte Gewebebestandteile wie z. B. Blutgefäße absorbieren aber sichtbares oder infrarotes Licht unterschiedlich stark. Dies führt in der photoakustischen Bildgebung zu unterschiedlichen Kontrasten. Erste kommerziell erhältliche PAI-Systeme nutzen kostenintensive abstimmbare Hochleistungslaser als Lichtquelle sowie ursprünglich für die Ultraschall-Bildgebung entwickelte Wandler und verbinden die Sonde über lange, rauschanfällige Koaxialkabel mit einer stationären Signalverarbeitung. Für die photoakustische Bildgebung ausgelegte optimierte Sensorsysteme fehlen bisher.

Durch eine neuartige Technologie- und Methodenkombination wollen Forschende von Fraunhofer IPM im Projekt PASMIE erstmalig eine hochempfindliche Sonde für die photoakustische Bildgebung in der Medizintechnik entwickeln. Zentral dabei ist die Integration von Ultraschallwandlern und Lichtquellen in einem Gehäuse. Dadurch können die Integrationsdichte erhöht und die Kosten durch den Einsatz von Laserdioden minimiert werden. Spezielle Rekonstruktionsalgorithmen und schnelle Repetitionsraten mit niedrigen Energien sollen das System weiter optimieren. Zudem führt die monolithische Integration der Signalverarbeitung in den Ultraschallwandlern zu einem verbesserten Signal-Rausch-Verhältnis – um eine Größenordnung im Vergleich zu bestehenden Systemen.

Projekt PASMIE (Photoakustische Sonde für die medizinische Bildgebung), gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft (PREPARE-Projekt)

Projekt BREATH

Miniaturisierter Atemgas-Sensor misst Sauerstoffgehalt

Im seit Januar 2022 laufenden Projekt BREATH haben Forschende von Fraunhofer IPM einen Sensor entwickelt, der den Sauerstoffgehalt in der Atemluft überwacht und damit exakte Angaben über den Blutsauerstoffgehalt liefert. Dieser Sensor soll zukünftig bisher übliche Messmethoden ersetzen. Heutzutage werden zur Blutsauerstoffbestimmung meist Pulsoxymeter genutzt, die allerdings nur ungenaue Messwerte liefern. Genauere Werte gibt es zurzeit nur mithilfe der invasiven Blutgasanalyse – diese ist teuer, aufwendig und nicht kontinuierlich durchführbar.

Für den neuen Atemgas-Sensor entwickelten und untersuchten Forschende von Fraunhofer IPM Fluorophor-Schichten, die aufgrund der Wechselwirkung mit Sauerstoff und der daraus resultierenden Fluoreszenzlöschung eine schnelle, atemzug aufgelöste Bestimmung der Sauerstoffkonzentration ermöglichen. Der neu entwickelte Sensor konnte mittlerweile so stark verkleinert werden, dass er an kommerziell erhältliche Standard-T-Konnektoren angeschlossen werden kann. So kann er direkt mit einer Beatmungs- oder einem Beatmungsschlauch verbunden werden. Das erleichtert die Integration des Sensors in bestehende Beatmungsgeräte. In Zukunft soll die Bedienbarkeit des Messsystems so vereinfacht werden, dass es zusätzlich zur klinischen Anwendung auch in der Home-Care-Versorgung eingesetzt werden kann.

Projekt BREATH, gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft (SME-Projekt)



Ein photoakustischer Detektor für CO₂ wird in einem Spektrometeraufbau charakterisiert.

Projekt PaSiC

Technologieplattform für photoakustische und optische Gassensoren

Gassensoren kommen u.a. zur Luftgüteüberwachung im Arbeitsschutz, in der Automobilbranche oder in der Umweltanalytik zum Einsatz. Vor allem zwei Aspekte schränken eine noch breitere Anwendung von Gassensoren ein: Zum einen verbrauchen kommerzielle Gassensoren viel Energie und zum anderen sind sie groß und schwer. Gefragt sind daher kostengünstige, energieeffiziente und langzeitstabile Sensoren.

Im Mitte 2023 abgeschlossenen Verbundprojekt PaSiC hat Fraunhofer IPM mit Partnern aus Forschung und Industrie eine Technologieplattform für zwei Anforderungen entwickelt: Erstens lassen sich damit robuste und miniaturisierte IR-Komponenten (Strahlungsquellen und Detektoren) realisieren und zweitens neuartige, kosteneffiziente Sensoren auf Basis photoakustischer und optischer Prinzipien. Das im Projekt PaSiC erforschte SiCer-Hybrids substrat (Silizium-Keramik-Sinterverbund) ist bestens geeignet, um optische Sensorelemente direkt im Silizium-Wafer zu realisieren. Darüber hinaus gestattet es die Nutzung von LTCC-Keramik (Low Temperature Cofired Ceramics) als Verdrahtungsebene und die klassische Hybridintegration weiterer Sensor- und Elektronikkomponenten. Im Projekt entstand dabei unter anderem ein in MEMS-Technologie gefertigter photoakustischer Detektor für CO₂. Zur Charakterisierung dieses Detektors entwickelte Fraunhofer IPM ein Spektrometer, das die photoakustische Detektivität spektral auflöst. Damit konnten der Fülldruck, die Zusammensetzung der Gasfüllung und die nicht auf Gase zurückzuführende Strahlungsabsorption bestimmt und quantifiziert werden, was die Detektoren deutlich verbesserte. Das Spektrometer wird auch zukünftige Detektoren spektral aufgelöst vermessen können und somit das Verständnis von photoakustischen Gasmesssystemen erheblich verbessern.

Projekt PaSiC (Silizium-Keramik-Hybrids substrat als Integrationsplattform für photoakustische und optische Anwendungen), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Fördermaßnahme HyMat, Hybride Materialien – Neue Möglichkeiten, Neue Marktpotentiale)



Ein handgehaltenes Laserspektrometer für die Gasferndetektion misst Ammoniak-Leckagen berührungslos aus bis zu 50 m Entfernung.

Projekt TransHyDE

Sensoren für eine sichere Wasserstoff-Infrastruktur

Wasserstoff (H₂) spielt eine Schlüsselrolle als Teil der Energiewende. Im Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE forschen Partner aus Wissenschaft und Industrie an Lösungen für den sicheren Transport sowie die sichere Speicherung und Lagerung des Gases. Dies ist essentiell, denn das geruchlose Gas ist leicht entzündlich und in höheren Konzentrationen sogar explosiv. Fraunhofer IPM entwickelt gemeinsam mit Partnern im Rahmen von »TransHyDE_FP2: Sichere Infrastruktur« neue Sensoren zur Leckagedetektion an Wasserstoffleitungen, -speichern und -anschlussstellen. Dabei werden Methoden entwickelt, mit denen Wasserstoff und Wasserstoff-Trärgase in unterschiedlichen Umgebungen oder Gasgemischen zuverlässig detektiert werden können. 2023 konzentrierten sich die Forschenden u. a. auf einen Ultraschallsensor, ein Laserspektrometer sowie ein Raman-Spektrometer.

Leckagen zuverlässig und schnell aufzufinden, ist von zentraler Bedeutung für die Sicherung wasserstoffführender Systeme. Das Team von Fraunhofer IPM hat einen Ultraschallsensor entwickelt, der in ersten Messkampagnen beim Industriepartner RMA Rheinau GmbH & Co. KG vielversprechende Messergebnisse lieferte. Das Messverfahren basiert auf dem Prinzip der Resonanzverschiebung und ermöglicht es, H₂ direkt zu bestimmen: Ist Wasserstoff in einem Gasgemisch vorhanden, verändert sich die Ausbreitung von Schall und die Schallgeschwindigkeit. Anhand der geänderten Schallgeschwindigkeit lässt sich die Konzentration von Wasserstoff bestimmen. In einem nächsten Schritt führt das Team Messungen im Feld durch.

Zur Ferndetektion des giftigen Wasserstoff-Trärgases Ammoniak (NH₃) hat Fraunhofer IPM ein Laserspektrometer entwickelt. Das kompakte, handgehaltene Gerät mit Abmessungen von 9 × 16 × 12 cm³ ermöglicht es, NH₃-Leckagen berührungslos aus bis zu 50 m Entfernung zu detektieren. Erste Labortests waren erfolgreich; in einem nächsten Schritt wird das Detektionsgerät im Rahmen einer Messkampagne getestet.

Zum Nachweis von Wasserstoff in Gasmischen setzt Fraunhofer IPM auch auf Raman-Spektroskopie. Das homonukleare Gas ist für Infrarotstrahlung »unsichtbar« und kann daher mit klassischer Infrarot-Absorptions-Spektroskopie nicht direkt nachgewiesen werden. Alternativ kann Wasserstoff mithilfe von Wärmeleitfähigkeitssensoren nachgewiesen werden; sie messen H₂-Konzentrationen indirekt und setzen voraus, dass die Zusammensetzung der Gasmatrix bekannt ist. Raman-Spektrometer hingegen können H₂ ohne Querempfindlichkeiten in Konzentrationen von 0 bis 100 Prozent selektiv und direkt nachweisen. Verfügbare Raman-Systeme sind jedoch ausgelegt für eine breitbandige spektrale Analyse und deshalb komplex und teuer. Im Rahmen von TransHyDE entwickelt ein Team am Fraunhofer IPM einen neuartigen Raman-Sensor, der selektiv nur H₂ detektiert und quantifiziert – dies aber signaloptimiert mit schmalbandigen Raman-Filtern und einem großflächigen Detektor. So setzt der Prototyp auf kostengünstige Komponenten, misst gerade einmal 20 × 10 × 10 cm³ und weist H₂ mit einer Genauigkeit von 0,1 Prozent nach.

Projekt TransHyDE (TransHyDE_FP2: Sichere Infrastruktur), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Wasserstoff-Leitprojekte), Projektträger Jülich (PtJ)

Projekt AIMS³

Sensortechnik zur Überwachung von CO₂-Speichern im Ozean

Das Meer kann im Kampf gegen den Klimawandel eine entscheidende Rolle spielen: Tiefliegende Basaltschichten im Meeresboden können als Speicher von Kohlendioxid (CO₂) genutzt werden. Im Verbundprojekt AIMS³ führen die Projektpartner intensive Studien und Experimente durch, die aufzeigen sollen, mit welcher technischen Methode das CO₂ möglichst kosteneffektiv und nachhaltig im Basaltgestein gespeichert und mineralisiert werden kann. Die CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS) ist jedoch mit Risiken für die Umwelt verbunden, vor allem dann, wenn CO₂ wieder austritt. Es gilt also, Leckagen schnell und flächendeckend aufzuspüren.

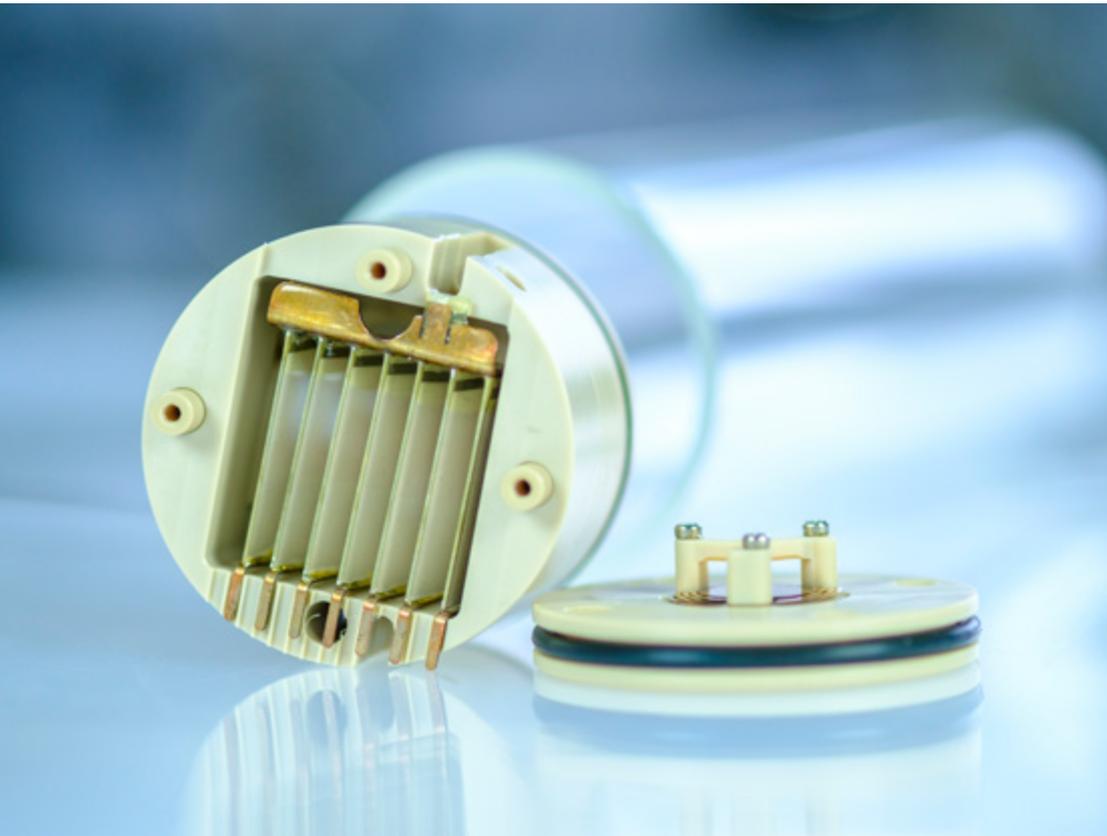
Fraunhofer IPM entwickelt innerhalb des Projekts einen neuartigen, schnell ansprechenden Sensor für die Überwachung von CO₂-Speichern im Meeresboden. Ein Prototyp wurde auf dem Forschungsschiff Littorina auf der Ostsee unter realen

Bedingungen erfolgreich getestet. Der membranfreie Sensor basiert auf ATR-Spektroskopie (Attenuated total reflection). Mithilfe dieser Methode detektiert der optische Sensor den gelösten CO₂-Gehalt in der rauen Umgebung des Meerwassers innerhalb weniger Sekunden, d. h. CO₂-Leckagen können schnell entdeckt werden. In der ab August 2024 startenden zweiten Phase wird der Sensor weiterentwickelt und verkleinert, sodass er u. a. höherem Druck widersteht und tiefseetauglich eingesetzt werden kann.

Projekt AIMS³ (Alternative Szenarien, innovative Technologien und Monitoringansätze für die Speicherung von Kohlendioxid in ozeanischer Kruste, Teilprojekt der CDRmare-Mission der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM) »Marine Kohlenstoffspeicher als Weg zur Dekarbonisierung«), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Forschungsprogramm MARE:N – Küsten-, Meeres- und Polarforschung für Nachhaltigkeit)



Spürt Leckagen an CO₂-Speichern im Meeresboden auf: Der auf ATR-Spektroskopie basierende Sensor wurde bereits in der Ostsee getestet.



Ein elektrokalisches Kühlsystem auf Basis keramischer Materialien erzielt eine bislang unerreichte spezifische Kühlleistung von 1,5 W/g.



Eine hohe Leistungsdichte ist Voraussetzung für die Kommerzialisierung elektrokalischer Kühlsysteme.«

Dr. Kilian Bartholomé,
Gruppenleiter

Projekt ElKaWe

Elektrokalisches Kühlsystem erzielt Leistungsdichte-Rekord

Im Rahmen des Projekts ELKaWe forscht ein Team am Fraunhofer IPM intensiv an elektrokalischen (EC) Kühlsystemen. 2023 sind die Forschenden einen entscheidenden Schritt vorangekommen. In einem Beitrag, der im renommierten Journal »Communications engineering« publiziert wurde, stellen sie den Prototyp eines keramischen EC-Kühlsystems mit einer bislang unerreichten spezifischen Kühlleistung von 1,5 W/g vor. Das System, bei dem Blei-Scandium-Tantalat (PST) als EC-Material verwendet wird, übertrifft bisherige Systeme auf Basis keramischer EC-Materialien um eine ganze Größenordnung.

Kerninnovation ist ein optimierter Wärmeübertrag: Der Prototyp arbeitet mit einer aktiven elektrokalischen Heatpipe (AEH), bei der die Wärme über das Verdampfen und die Kondensation eines Fluids, in diesem Fall Ethanol, übertragen wird. Dieses Konzept des latenten Wärmeübertrags hatte das Team

bereits für magneto- und elastokalorische Wärmepumpen realisiert und nun erstmals auch in einer elektrokalischen Wärmepumpe verwirklicht. Es erlaubt eine hohe Zyklusfrequenz von 5 Hz und eine höhere spezifische Kühlleistung im Vergleich zu Systemen mit alternativen Formen der Wärmeabfuhr wie z. B. konvektivem oder festkörperbasiertem Wärmeübertrag.

[Fachartikel: »Electrocaloric cooling system utilizing latent heat transfer for high power density«](#)

Projekte MagMed 2 / ElKaWe

Wirkungsgradpotenzial kalorischer Materialien quantifiziert

In kalorischen Wärmepumpen kommen elasto-, magneto-, elektro- oder barokalorische Festkörpermateriale zum Einsatz. Beim Anlegen eines magnetischen oder elektrischen Feldes oder unter mechanischer Belastung ändert sich die Temperatur des Materials.

Beim Phasenübergang kann es je nach Material zu Hystereeffekten kommen, die zur dissipativen Erwärmung führen. Dies wirkt sich negativ auf den Wirkungsgrad der Wärmepumpe aus. Wie aber lassen sich unterschiedliche Materialien im Hinblick auf die Effizienz kalorischer Systeme schnell und zuverlässig beurteilen? Eine entscheidende Größe dabei ist die Leistungszahl, die sogenannte Figure of Merit (FOM). Die FOM ist definiert als das Verhältnis der adiabatischen Temperaturänderung und der thermischen Hysterese.

Ein Forschungsteam unter der Leitung von Fraunhofer IPM hat aus Literaturdaten eine Übersicht der FOM für 36 verschiedene kalorische Materialien zusammengestellt und deren potenzielle Effizienz mit der Effizienz heutiger Verdichtersysteme verglichen. Es zeigte sich, dass bestimmte kalorische Materialien bereits heute grundsätzlich Systeme mit Wirkungsgraden ermöglichen, die mit Kompressorsystemen nicht einmal theoretisch erreichbar sind. Auch wenn diese Effizienzpotenziale heute noch nicht vollständig in experimentellen kalorischen Systemen realisiert wurden, so gibt die Materialentwicklung Anlass zur Hoffnung: In den vergangenen drei Jahren hat sich die FOM für elektro- und barokalorische Materialien verdreifacht.

Projekt MagMed 2, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK; Projekt ElKaWe, gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

Projekte MagMed 2 / ElKaWe

Neue Messmethode zur Bestimmung der Effizienz kalorischer Materialien

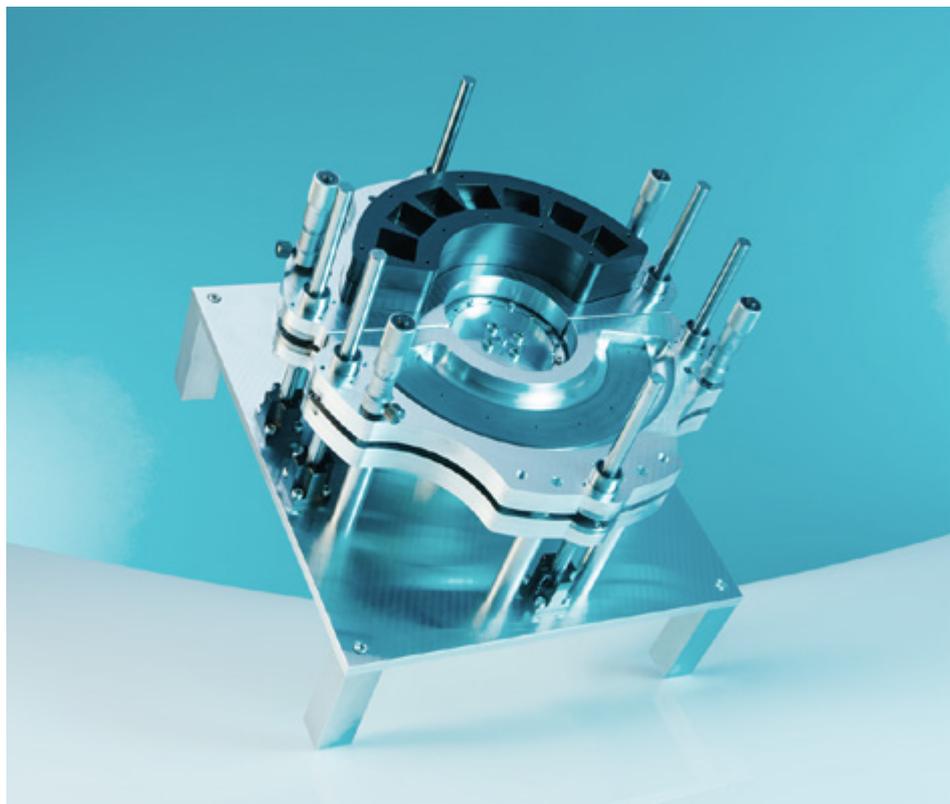
Wärmepumpen spielen eine wichtige Rolle im Kampf gegen den Klimawandel. Kalorische Wärmepumpen versprechen einen deutlich höheren Wirkungsgrad als herkömmliche und kommen ohne schädliche Kältemittel aus. Wir arbeiten in mehreren Projekten an der Entwicklung effizienter Wärmepumpen und Kühlsysteme auf Basis kalorischer Systeme.

Die Effizienz kalorischer Wärmepumpen hängt maßgeblich vom kalorischen Material ab. An geeigneten Materialien wird derzeit intensiv

geforscht. Um verschiedene kalorischen Materialien im Hinblick auf ihre Wärmepumpeneignung besser untereinander vergleichen zu können, hat Fraunhofer IPM eine neue Kennzahl (Figure of Merit, FOM) eingeführt und die dazu passende Messmethode entwickelt. Im Fokus dieser Materialmessung steht die sehr genaue Quantifizierung der dissipativen Wärme, also die Bestimmung der Verlustwärme. Selbst geringe Mengen an Verlustwärme verschlechtern die Gesamteffizienz des Systems erheblich. Die »Cyclic self-heating method« (CSH) beruht auf einer einfachen Bestimmung des Temperaturverlaufs einer Probe unter Anlegen eines gewissen Feldverlaufs. Der einfache Messaufbau ermöglicht es, das Effizienzpotenzial kalorischer Materialien kostengünstig und genau zu bewerten.

So konnte das Team z. B. die dissipative Wärme und damit die FOM einer Lanthan-Eisen-Silizium-basierten Probe bestimmen. Das Ergebnis: Dieses magnetokalorische Material weist eine sehr hohe Effizienz auf – mit einem theoretisch möglichen Wirkungsgrad von über 90 Prozent. Damit ist das Material ein vielversprechender Kandidat für zukünftige kalorische Kühlsysteme und Wärmepumpen.

Dreht man den inneren Ring eines Halbach-Magnetsystems, so wird ein definierter Feldverlauf erzeugt. Damit lässt sich die Effizienz magnetokalorischer Materialien bestimmen.



Kleiner Kraftprotz: FGL-Hochlastaktoren entfalten hohe Kräfte auf kleinem Raum. Peltier-Module (l.) sorgen dabei für eine effektive Wärmeabfuhr und ermöglichen somit hohe Zyklusfrequenzen. (Bildmontage)



Projekt Spin-TEC

Peltier-Module zur Steigerung der thermischen Stabilität von Motorspindeln

Das thermische Verhalten von Motorspindeln in Werkzeugmaschinen ist entscheidend für deren Arbeitsgenauigkeit. Elektrische und mechanische Verlustleistungen des Motors und der Lager führen dazu, dass Wärmeströme beispielsweise in die Welle und das Gehäuse der Spindeln induziert werden und diese verformen – mit negativem Einfluss auf die Präzision. Um einen thermisch stabilen Zustand der Werkzeugmaschine zu erreichen, sind daher lange Warmlaufzeiten erforderlich. Nur so können Fertigungstoleranzen im Submikrometerbereich erreicht werden, wie sie u. a. für Präzisionsbauteile in der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrtindustrie oder im Werkzeugbau gefordert sind. Dennoch sind während des Betriebs Schwankungen des induzierten Wärmestroms und somit der thermisch bedingten Verlagerung unvermeidbar, unter anderem durch Werkzeug- und Werkstückwechsel sowie Anpassungen der Spindeldrehzahl.

Im Projekt Spin-TEC, das im November 2023 startete, entwickelt ein Team am Fraunhofer IPM gemeinsam mit Forschenden des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin sowie zwei Industriepartnern eine neuartige, thermoelektrisch temperierte Motorspindel. Herzstück des Konzepts sind tubuläre Peltier-Module, die zwischen Wärmequellen und Wärmesenken integriert werden und so eine geregelte Temperierung der Lager und des Motors ermöglichen. Mit der größeren thermischen Stabilität der Motorspindeln soll so die Warmlaufzeit gegenüber dem Stand der Technik verringert werden. Gleichzeitig soll die thermoelektrisch temperierte Motorspindel die Arbeitsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen steigern und die Produktivität der Bearbeitungsprozesse erhöhen.

Projekt Spin-TEC (Thermoelektrisch temperierte Motorspindel für hochpräzise Werkzeugmaschinen), gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Trilaterales Transferprojekt)

Projekt HochPerForm

Dynamische Hochlastaktoren dank effektiver Kühlung

In viele Anwendungen im Werkzeug- und Maschinenbau kommen Aktoren zum Einsatz. Diese Bauteile können idealerweise sehr hohe Kräfte auf kleinem Raum erzeugen und schnell schalten. Hier stoßen Hydraulik-, Pneumatik oder Piezoaktoren an Grenzen. Ein Team von Fraunhofer IWU, Fraunhofer IFAM und Fraunhofer IPM hat im Rahmen des Projekts HochPerForm kompakte Hochlastaktoren auf Basis thermischer Formgedächtnislegierungen (FGL) entwickelt. Ein im Projekt entstandener Demonstrator mit einem Durchmesser von gerade einmal 15 mm und einer Höhe von 16 mm hebt eine Masse von bis zu 500 kg um bis zu 200 µm an. Damit lassen sich beispielsweise Bauteile in Produktionsmaschinen sehr genau positionieren.

Aktoren auf Basis von Formgedächtnislegierungen erzeugen den Hub durch eine Strukturveränderung des Materials, das sich bei Erwärmung ausdehnt. Entscheidend für die Dynamik der Aktoren ist, dass das Material schnell genug abkühlt und damit wieder seine Ursprungsform annimmt. Bei Hochlastaktoren kann dies bei freier Konvektion aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Volumen zu Oberfläche mehrere Minuten dauern. Das Team am Fraunhofer IPM hat zwei innovative Kühlkonzepte für FGL-Hochlastaktoren entwickelt, die für eine effektive Wärmeabfuhr sorgen und gleichzeitig eine geringe Systemgröße ermöglichen: Mit schaltbaren Heatpipes oder ringförmigen Peltier-Modulen gelang es, die Wärme so schnell abzuführen, dass der Aktor mit einer Zyklusfrequenz von mehr als 0,3 Hz geschaltet werden kann. Dank der neuen Temperierung lassen sich die FGL-Aktoren problemlos regeln und sie ermöglichen einen einfachen Systemaufbau.

Projekt HochPerForm, gefördert von der Fraunhofer-Gesellschaft (PREPARE-Projekt)

Gas- und Prozesstechnologie | Messen & Veranstaltungen

10. Gassensor Workshop

16.03.2023
Fraunhofer IPM

Die Gassensor-Community traf sich zum Austausch über technologische Trends in der Gassensorik. Auf dem Programm standen acht Vorträge aus Forschung und Industrie.

Quantum Effects

10.10.2023–11.10.2023
Gemeinschaftsstand Baden-Württemberg

In einer Präsentation zeigten wir, was im magnetisch abgeschirmten Raum (MSR) am Fraunhofer IPM möglich ist. Gemeinsam mit anderen Freiburger Fraunhofer-Instituten stellten wir zudem den Quantensensorik-Hub Freiburg vor.

Sensor+Test

09.05.2023–11.05.2023
Fraunhofer-Gesellschaft

Gezeigt wurde die gesamte Palette an Mess- und Regelsystemen für die Gas- und Prozesstechnologie, darunter Gassensoren, laserspektroskopische Verfahren für die Gasanalytik sowie thermische Sensoren.

OPM-MEG Workshop

12.12.2023–13.12.2023

In Kooperation mit dem Freiburger Forschungszentrum Intelligent Machine-Brain Interfacing Technology (IMBIT) organisierte Fraunhofer IPM den ersten OPM-MEG Workshop. Dabei ging es um den Einsatz optisch gepumpter Magnetometer (OPM) für die Magnetoenzephalographie (MEG).

LASER

27.06.2023–30.06.2023
Fraunhofer-Gesellschaft

Auf der World of Quantum stellten wir unsere neuesten Forschungsergebnisse und Anwendungen in der Quantensensorik vor. Auf der World of Photonics präsentierten wir unsere Entwicklungen im Bereich Laser, z. B. optisch parametrische Oszillatoren für den Dauerstrichbetrieb.

Geplant für 2024

ACHEMA
10.06.2024–14.06.2024

Sensor+Test
11.06.2024–13.06.2024

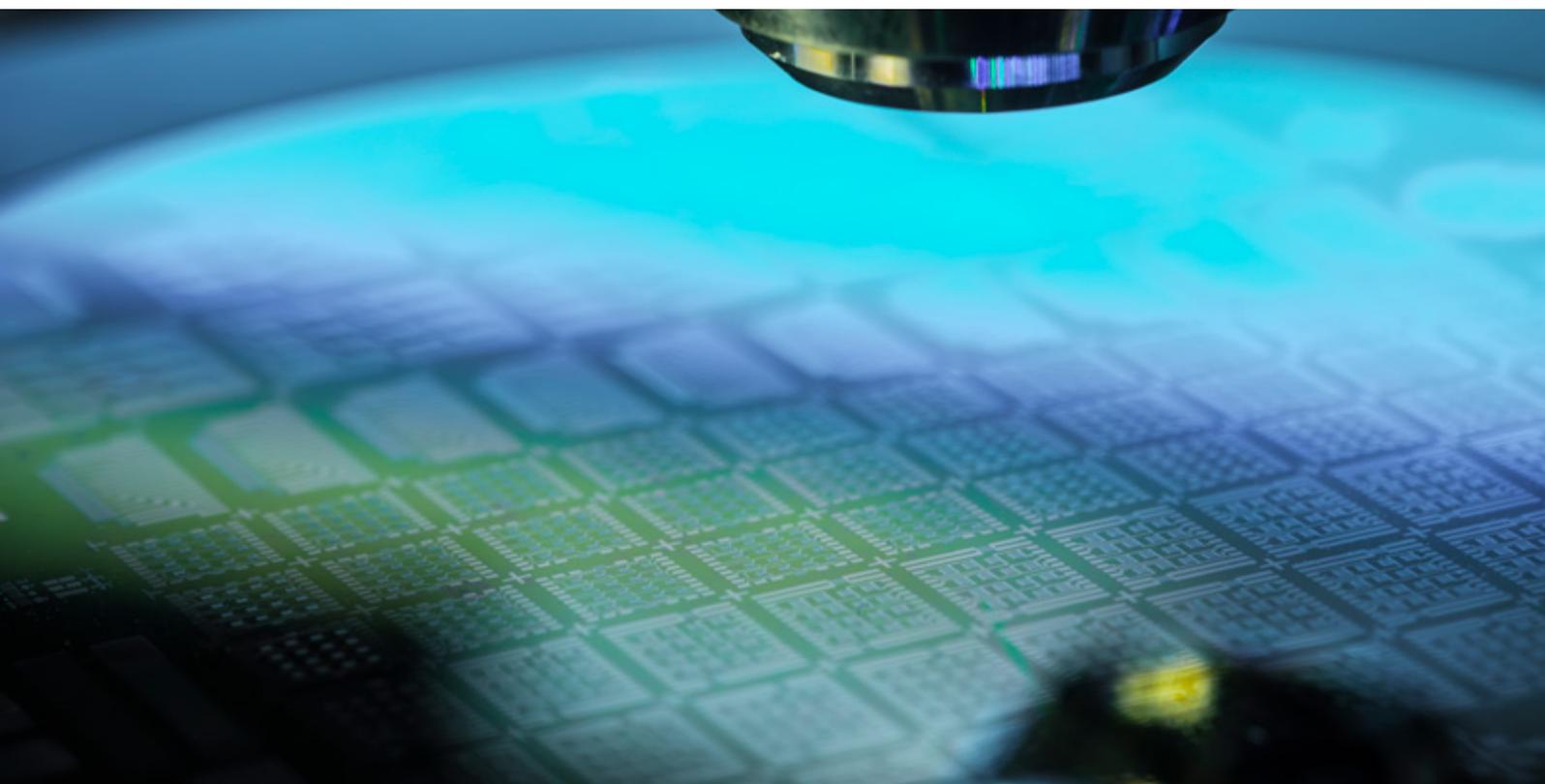
Chillventa
08.10.2024–10.10.2024

Quantum Effects
08.10.2024–09.10.2024



Fokus Sensorik zur Temperaturmessung

Miniaturisierte Thermopile-Arrays: Temperaturen hochempfindlich und berührungslos messen



Hochempfindliche Thermopile-Arrays – hier auf einem Siliziumwafer – messen Temperaturen im Bereich von 0 bis 80°C auf unter ein Zehntel Grad Celsius genau. Das macht sie interessant für viele neue Anwendungen.

Für die Temperaturmessung spielen miniaturisierte Thermopile-Array-Sensoren eine immer wichtigere Rolle. Dank ihrer hochempfindlichen und berührungslosen Messmethode haben sie das Potenzial, zahlreiche Anwendungsbereiche zu revolutionieren – von der Temperaturregelung über die Sicherheitstechnik bis hin zur Prozesskontrolle. Sie können z. B. Bewegungen melden, Personen erkennen, Kochfelder überwachen oder berührungslos Fieber messen. Viele dieser Aufgaben können zwar auch klassische Infrarot-Detektoren wie Photodetektoren, Bolometer oder pyroelektrische Sensoren erledigen, aber diese Detektoren sind teuer und komplexer oder nicht empfindlich genug. Geht es konkret um die Objekterfassung per

Temperaturmessung, haben pyroelektrische Sensoren den zusätzlichen Nachteil, dass sie keine statischen Objekte erfassen können.

Thermopile-Array-Sensoren – Aufbau und Entwicklung

Thermopile-Array-Sensoren bestehen im Wesentlichen aus drei Komponenten: einer Linse, einem IR-Bandpass-Filter und einem Infrarotdetektorarray aus Thermopiles. Thermopile-Arrays detektieren die IR-Strahlung eines Objektes abhängig von dessen Oberflächentemperatur. Sie sind kostengünstig, benötigen keine externe Stromquelle und

können dank ihrer Matrixanordnung sowohl statische als auch bewegte Objekte über eine größere Distanz und Fläche hinweg detektieren. Sie bestehen aus thermisch parallel und elektrisch in Reihe geschalteten p- und n- Halbleiterelementen. Diese Thermopile oder auch Thermoelement genannten Halbleiterelemente nutzen den Seebeck-Effekt und wandeln thermische Energie direkt in elektrische Energie um: In Abhängigkeit von der Temperatur entsteht an der Verbindungsstelle der beiden thermoelektrischen Materialien eine elektrische Spannung, die sich einfach und sehr empfindlich messen lässt.

Bereits heute schon lassen sich Thermopile-Array-Sensoren in puncto spektrale Empfindlichkeit für viele Anwendungen maßgeschneidert optimieren. Doch die üblichen CMOS-kompatiblen Silizium-Thermopile-Arrays haben auch eine große Einschränkung: Temperaturmessungen sind damit nur recht ungenau möglich.

Höhere Messgenauigkeit erweitert die Möglichkeiten

Aufgrund der begrenzten Messgenauigkeit sind marktübliche Thermopile-Array-Sensoren für viele ansonsten vielversprechende Anwendungen leider ungeeignet. Ein Team des Fraunhofer IPM hat deshalb im Rahmen des Fraunhofer-internen Projekts TAPIR besonders hochempfindliche, miniaturisierte Thermopile-Arrays entwickelt. Dazu setzten die Forscherinnen und Forscher auf das Material Bismut-Tellurid (Bi_2Te_3), das bei Raumtemperatur eine besonders hohe thermoelektrische Gütezahl besitzt.

Ein einzelnes Thermoelement besteht aus zwei halbleitenden Materialien: n-Bismut-Tellurid und aus p-Bismut-Antimonid-Tellurid. Die ursprüngliche Idee, die Thermopile auf einem Polymersubstrat aufzubringen, wurde im Projekt verworfen. Stattdessen setzte das Team im Projektverlauf auf das bekannte Siliziumsubstrat, jedoch optimiert durch eine dünne Polymerschicht. Das gesamte Thermopile-Array der neuartigen Wärmebildkamera von Fraunhofer IPM setzt sich am Ende aus 8×8 dieser Thermoelemente zusammen und liefert somit eine Bildauflösung von

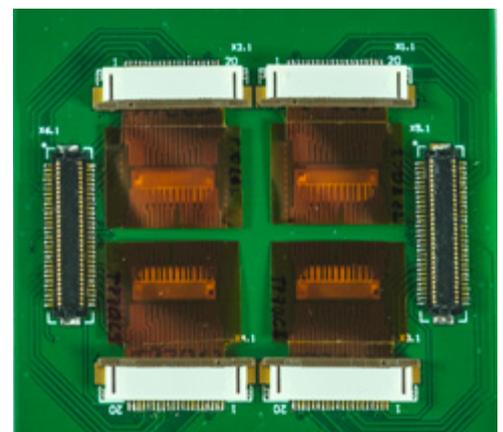
64 Pixeln. Das mag im Vergleich zu optischen Sensoren wenig klingen, für die hochgenaue Temperaturmessung ist diese Auflösung für viele Anwendungen jedoch ideal. Dem Team gelang es damit Temperaturen im Bereich von 0 bis 80 °C auf unter ein Zehntel Grad Celsius genau zu messen. Von diesen hochgenauen Thermopile-Array-Sensoren wird nicht nur die Industrie profitieren, sondern die Sensoren können z. B. auch das Leben älterer oder kranker Menschen in der eigenen Wohnung sicherer machen, weil kritische Situationen erkannt und automatisch Alarm ausgelöst werden kann. Und in der Objektüberwachung erlauben die 64-Bildpixel des Sensors beispielsweise eine sichere Unterscheidung von Mensch und Tier, ohne Verletzung der Privatsphäre. Zur Erschließung neuer Anwendungsgebiete mit hochempfindlichen Thermopile-Array-Sensoren werden bereits vielversprechende Gespräche vor allem mit kleinen und mittleren Unternehmen geführt.



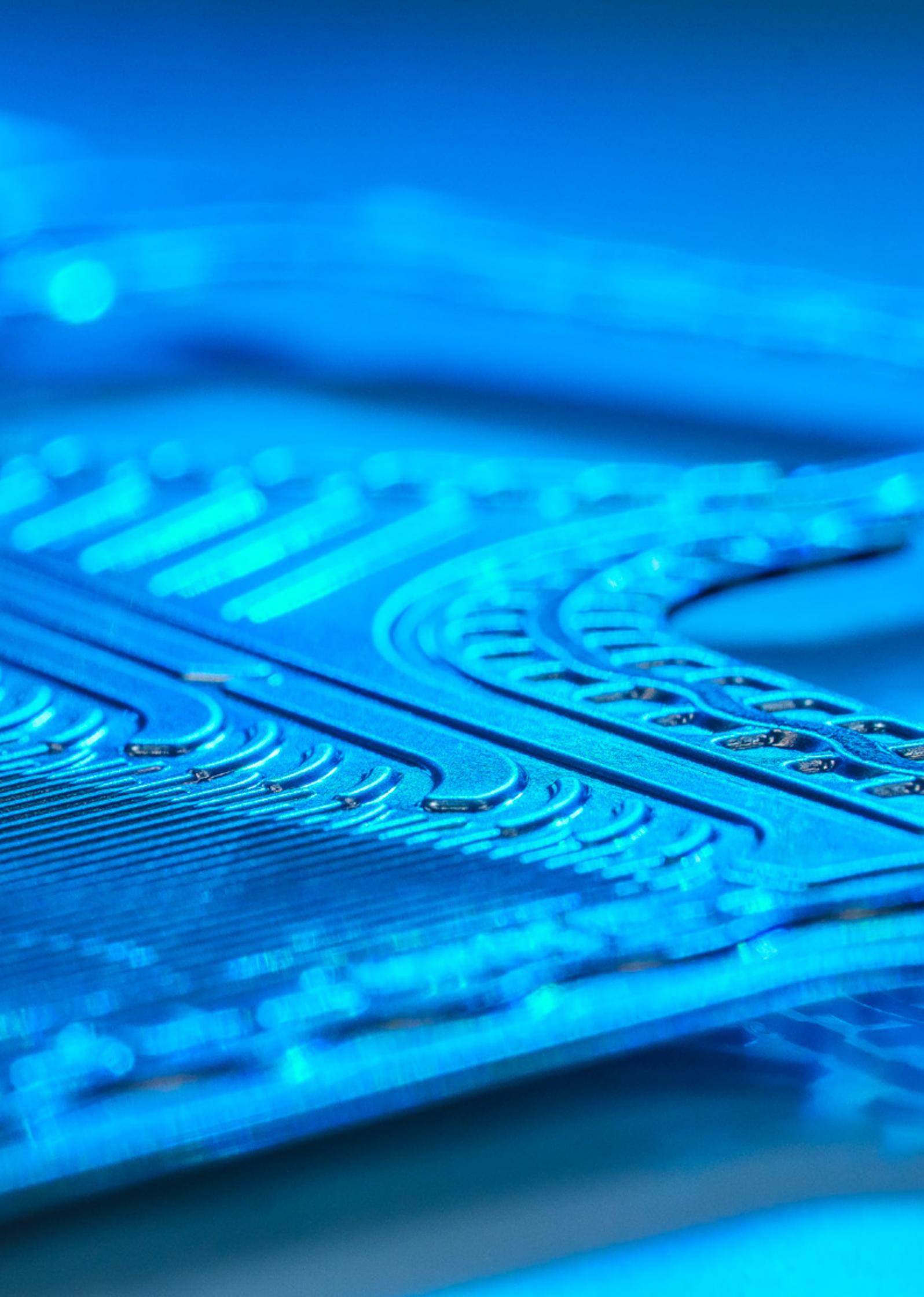
Viele Applikationen, bei denen es um die Temperaturmessung geht, werden von unseren hochempfindlichen Thermopile-Arrays profitieren.«

*Prof. Jürgen Wöllenstein,
Abteilungsleiter*

Erster Prototyp mit Thermopile-Arrays, die zunächst auf Polymer-substrat prozessiert wurden.



Index Fraunhofer IPM



Publikationen 2023

Buchta, D.; Adolph, S.; Brandenburg, A.

A cheap, fast, and versatile illumination system for technical cleanliness

Georges, M. P.; Popescu, G.; Nicolas Verrier, N. [Hrsg.]: Unconventional Optical Imaging III. Proceedings of SPIE 12136, 1213618 (2022)

Abel, C.; Ayres, N. J.; Ban, G. et al.

A large "Active Magnetic Shield" for a high-precision experiment

European Physical Journal C 83, 1061 (2023)

Amiune, N.; Fan, Z.; Pankratov, V. V.; Puzyrev, D. N.; Skryabin, D. V.; Zawilski, K.; Schunemann, P. G.; Breunig, I.

Mid-infrared frequency combs and staggered spectral patterns in $\chi^{(2)}$ microresonators

Optics Express 31, 907-915 (2023)

Amiune, N.; Zawilski, K.; Schunemann, P.; Kordts, A.; Holzwarth, R.; Buse, K.; Breunig, I.

Pump Tuning of a Microresonator Mid-Infrared $\chi^{(2)}$ OPO and Microcomb Generation at 3.1 μm with CdSiP_2

Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC), doi:10.1109/CLEO/EUROPE-EQEC57999.2023.10231917 (2023)

Aslan, M. J.; Seyler, T.; Fratz, M.; Bertz, A.; Carl, D.; Beck, M.; Riedmüller, K. R.; Liewald, M.

Simulating Holograms from 3D CAD Models via Inverse Hologram Reconstruction for Multiwavelength Holography

Digital Holography and Three-Dimensional Imaging. Proceedings Optica Imaging Congress, HM1D.1 (2023)

Bach, D.; Winkler, M.; Schäfer-Welsen, O.

Aus Wärme Strom machen: Biomassefeuerungen als Blockheizkraftwerke

BWK Energie 75(11-12), 48-51 (2023)

Basler, C.; Kappeler, M.; Carl, D.

Depth-Resolved Elemental Analysis on Moving Electrode Foils with Laser-Induced Breakdown Spectroscopy

Sensors 23, 1082 (2023)

Beck, M.; Riedmüller, K. R.; Liewald, M.; Bertz, A.; Aslan, M. J.; Carl, D.

Investigation on the Influence of Geometric Parameters on the Dimensional Accuracy of High-Precision Embossed Metallic Bipolar Plates

Lecture Notes in Production Engineering F1163, 427-438 (2023)

Behrendt, V.; Blättermann, A.; Brandenburg, A.

A fiber-optical fluorescence sensor for in-line determination of cleanliness during CIP processes

Food & Bioproducts Processing 137, 56-63 (2023)

Behrendt, V.; Buchta, D.; Adolph, S.; Lutz, C.; Scherer, J.; Blättermann, A.
In-line fluorescence detector for production control in robot-driven environments

Optical Measurement Systems for Industrial Inspection. Proceedings of SPIE 12618, 126181O (2023)

Behrendt, V.; Buchta, D.; Blättermann, A.

Vollständige Prüfung metallischer Bauteile mittels Fluoreszenz: Beschichtungs- und Reinheitsprüfung in der Produktionslinie

Inspect 24(4), 54-55 (2023)

Bergau, M.; Strahl, T.; Scherer, B.; Wöllenstein, J.

Real-time active-gas imaging of small gas leaks

Journal of Sensors and Sensor Systems 12, 61-68 (2023)

Bernhardsgrütter, R. E.; Hepp, C. J.; Wöllenstein, J.; Schmitt, K.

Fluid-compensated thermal flow sensor: A combination of the 3ω -method and constant temperature anemometry

Sensors & Actuators A 350, 114116 (2023)

Blug, A.; Conrad, F.; Bertz, A.; Kontermann, C.; Carl, D.; Oechsner, M.

Application of high-performance DIC for a comprehensive evaluation of biaxial fatigue crack growth experiments

Strain 59, e12455 (2023)

Blug, A.; Thiemann, K.; Philipp, S.; Straub, T.; Bertz, A.

Quantum magnetometry with OPM: Novel applications in non-destructive testing?

26th IMEKO TC4 International Symposium and 24th International Workshop on ADC/DAC Modelling and Testing, 122-125 (2023)

Busch, S.; Koss, P.; Horch, C.; Schäfer, K.; Schimmerohn, M.; Schäfer, F.; Kühnemann, F.

Magnetic cleanliness verification of miniature satellites for high precision pointing

Acta Astronautica 210, 243-252 (2023)

Busch, S.; Koss, P.; Rother, M.; Korte, M.

Quantum magnetometry as an enabling technology in the New Space domain

SMSI Sensor and Measurement Science International, doi:10.5162/SMSI2023/A6.2 (2023)

Busert, S.; Negassi, M.; Scheuerer, A.; Müller, C.; Reiterer, A.

Modellierung von Gebäuden für Open- und Closed-BIM mithilfe von KI: Erste Konzepte und Ergebnisse des Projekts Kit-CAD

Allgemeine Vermessungs-Nachrichten AVN 4, 122-131 (2023)

Deliktas, T.; Liewald, M.; Clauß, P.; Kuntz, I.; Schmid-Schirling, T.; Feurer, M.; Dimitropoulos, G.; Wientapper, F.; Rächle, F.

Kontrolle und Identifizierung von Pressteilen im freien Fall: Digitalisierung beim Kaltfließpressen durch Freifallinspektion und -kontrolle

wt Werkstattstechnik 113, 389-394 (2023)

Emperhoff, S.; Eberl, M.; Barraza, J. P.; Brandl, F.; Wöllenstein, J.

Differential Thermal Conductivity Hydrogen Sensor

SMSI Sensor and Measurement Science International, doi:10.5162/SMSI2023/A5.3 (2023)

Engel, L.; Schmitt, K.; Wöllenstein, J.

Colorimetric Detection of Oxygen in Food Packaging

SMSI Sensor and Measurement Science International, doi:10.5162/SMSI2023/B1.2 (2023)

Gangelhoff, J.; Olshausen, P. v.; Frey, S.; Reiterer, A.

A lightweight laser scanner for UAV-based applications

Optical Measurement Systems for Industrial Inspection. Proceedings of SPIE 12618, 126181B (2023)

Gangelhoff, J.; Werner, C.; Reiterer, A.

Lightweight dual-wavelength bathymetric LiDAR for accurate seabed mapping

Multimodal Sensing and Artificial Intelligence - Technologies and Applications. Proceedings of SPIE 12621, 126210I (2023)

Gasner, S.; Essing, S.; Tumpold, D.; Schmitt, K.; Wöllenstein, J.

Miniaturized SMD-Reflow-Capable Photoacoustic CO₂-Sensor Using a Dual-Chamber Approach

SMSI Sensor and Measurement Science International, doi:10.5162/SMSI2023/E7.1 (2023)

Geissler, J.; Rathmann, L.; Weiler, M.

Combining Daily Sensor Observations and Spatial LiDAR Data for Mapping Snow Water Equivalent in a Sub-Alpine Forest

Water Research 59, e2023WR034460 (2023)

Groß, H.; Groeneveld, D.; Poschmann, M.; Schürmann, U.; König, J.; Bensch, W.; Wöllenstein, J.; Kienle, L.

About the Impact of Defect Phases on the Thermoelectric Properties of Cr₃S_{4-x}Se_x

Advanced Engineering Materials 25, 2201505 (2023)

Hauer, B.; Dorfschmidt, A. D.; Münch, F.; Scherer, J.; Carl, D.

An infrared optical sensor for quantitative inline inspection of nanocoatings on plastic products

Optical Measurement Systems for Industrial Inspection. Proceedings of SPIE 12618, 126181L (2023)

Herr, S.; Tanaka, H.; Breunig, I.; Bickermann, M.; Kühnemann, F.

Fanout periodic poling of BaMgF₄ crystals

Optical Materials Express 13, 2158-2164 (2023)

Jäkel, J.-I.; Gölzhäuser, P.; Schmitt, A.; Bange, J.; Klemt-Albert, K.; Reiterer, A.; Marx, S.

Teilautomatisierte Generierung von digitalen Infrastrukturmolellen mittels Multi-Datenfusion

Bautechnik 100, 667-673 (2023)

Kammel, F.; Rathmann, L.; Schmitt, A.; Reiterer, A.

Combining multispectral UAV-borne and terrestrial point cloud data for time-saving forest inventory using artificial intelligence

Multimodal Sensing and Artificial Intelligence – Technologies and Applications. Proceedings of SPIE 12621, 1262117 (2023)

Kappert, H.; Schopferer, S.; Saeidi, N.; Döring, R.; Ziesche, S.; Olovinsky, A.; Naumann, F.; Jäggle, M.; Spanier, M.; Grabmaier, A.

Sensor Systems for Extremely Harsh Environments

IMAPSource Proceedings(HITEN), doi:10.4071/001c.89680 (2023)

Kellner, M.; Stahl, B.; Reiterer, A.

Reconstructing Geometrical Models of Indoor Environments Based on Point Clouds

Remote Sensing 15, 4421 (2023)

Khatyрева, A.; Kuntz, I.; Schmid-Schirling, T.; Brox, T.; Carl, D.

Unsupervised anomaly detection for industrial manufacturing using multiple perspectives of free falling parts

Automated Visual Inspection and Machine Vision. Proceedings of SPIE 12623, 126230F (2023)

Kunz, J.; Lindner, C.; Herr, S.; Wolf, S.; Kiebling, J.; Kühnemann, F.

Fourier-Transform Mid-Infrared Spectroscopy Using Nonlinear Interferometers

Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC), doi:10.1109/CLEO/Europe-EQEC57999.2023.10232584 (2023)

Kunz, J.; Lindner, C.; Herr, S.; Wolf, S.; Kiebling, J.; Kühnemann, F.

High resolution Fourier-transform mid-infrared spectroscopy using nonlinear interferometers

Quantum Sensing, Imaging, and Precision Metrology. Proceedings of SPIE 12447, 124471A (2023)

Lambrecht, A.; Bolwien, C.; Fuhr, H.; Sulz, G.; Isserstedt-Trinke, A.; Magi, A.; Biermann, S.; Wöllenstein, J.

Compact silicon-based attenuated total reflection (ATR) sensor module for liquid analysis

Journal of Sensors and Sensor Systems 12, 123 (2023)

Laskin, G.; Seyler, T.; Fratz, M.; Bertz, A.; Carl, D.

Extended Unambiguous Measurement Range in Multi-Wavelength Digital Holography Using Virtual CAD Rendered Height Maps

Digital Holography and Three-Dimensional Imaging. Proceedings Optica Imaging Congress, JTU4A.18 (2023)

Laux, P.; Schiller, A.; Bertz, A.; Carl, D.; Reichelt, S.

Surface roughness measurement of large areas with high spatial resolution by spectral speckle correlation

Optical Measurement Systems for Industrial Inspection. Proceedings of SPIE 12618, 126181F (2023)

Lindner, C.; Kunz, J.; Herr, S.; Kießling, J.; Wolf, S.; Kühnemann, F.

High-sensitivity quantum sensing with pump-enhanced spontaneous parametric down-conversion

APL Photonics 8, 051301 (2023)

Lyu, X.; Gao, H.; Diehle, P.; Altmann, F.; Schmitt, K.; Tarantik, K.; Wöllenstein, J.

Towards Low Temperature Operation of Catalytic Gas Sensors: Mesoporous Co₃O₄-Supported Au-Pd Nanoparticles as Functional Material

Nanomaterials 13, 2192 (2023)

Lyu, X.; Yurchenko, O.; Diehle, P.; Altmann, F.; Wöllenstein, J.; Schmitt, K.

Accelerated Deactivation of Mesoporous Co₃O₄-Supported Au-Pd Catalyst through Gas Sensor Operation

Chemosensors 11, 271 (2023)

Merkle, D.; Reiterer, A.

Automated Method for SLAM Evaluation in GNSS-Denied Areas

Remote Sensing 15, 5141 (2023)

Merkle, D.; Solass, J.; Schmitt, A.; Rosin, J.; Reiterer, A.; Stolz, A.

Semi-automatic 3D crack map generation and width evaluation for structural monitoring of reinforced concrete structures

Journal of Information Technology in Construction 28, 774-805 (2023)

Mönch, S.; Bartholomé, K.

Spatio-temporal solid-state electrocaloric effect exceeding twice the adiabatic temperature change

Journal of Physics: Energy 5, 045001 (2023)

Mönch, S.; Reiner, R.; Mansour, K.; Waltereit, P.; Basler, M.; Quay, R.; Molin, C.; Gebhardt, S.; Bach, D.; Binnering, R.; Bartholomé, K.

A 99.74% Efficient Capacitor-Charging Converter using Partial Power Processing for Electrocalorics

IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics 11, 4491-4507 (2023)

Mönch, S.; Reiner, R.; Waltereit, P.; Basler, M.; Quay, R.; Gebhardt, S.; Molin, C.; Bach, D.; Binnering, R.; Bartholomé, K.

How highly efficient power electronics transfers high electrocaloric material performance to heat pump systems

MRS Advances 8, 787-796 (2023)

Mrokon, A.; Kirste, L.; Buse, K.; Breunig, I.

Potassium Tantalate-Niobate for Electro-Optically Driven Adiabatic Frequency Conversion

Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC), doi:10.1109/CLEO/EUROPE-EQEC57999.2023.10231964 (2023)

Pannek, C.

Werkstoffe und Sensoren für die Wasserstoffinfrastruktur

gwf. Gas + Energie 164(2-3), 42-43 (2023)

Pannek, C.; Lambrecht, A.; Wöllenstein, J.; Buse, K.; Keßler, A.; Tschuncky, R.; Jäckel, P.; Quiring, S.; Youssef, S.; Herrmann, H.-G.; Oeckl, S.

Sensors and safety

In: Neugebauer, R. (Hrsg.) Hydrogen Technologies. Springer, Cham. 357-391 (2023)

Placke, M.; Lindner, C.; Kviatkovsky, I.; Chrzanowski, H. M.; Kühnemann, F.; Ramelow, S.

Fourier-transform mid-IR hyperspectral imaging with undetected photons

Conference on Lasers and Electro-Optics, CLEO, AM2N.4 (2023)

Poku-Agyemang, K. N.; Kellner, M.; Schmitt, A.; Reiterer, A.

Creating 3D Models of Bridges Using Different Data Sources and Machine Learning Methods

33rd European Safety and Reliability Conference, ESREL. Proceedings, 3020-3025 (2023)

Poku-Agyemang, K. N.; Reiterer, A.

3D Reconstruction from 2D Plans Exemplified by Bridge Structures

Remote Sensing 15, 677 (2023)

Riexinger, G.; Regina, D. J.; Haar, C.; Schmid-Schirling, T.; Landwehr, I.; Seib, M.; Lips, J.; Fehrenbach, S.; Stübing, J.; Carl, D.; Sauer, A.

Traceability in Battery Production: Cell-Specific Marker-Free Identification of Electrode Segments

Stuttgart Conference on Automotive Production 2022. Proceedings, 344-353 (2023)

Schiller, A.; Fratz, M.; Seyler, T.; Bertz, A.; Carl, D.

Multiwavelength Holography: Absolute Height Measurements Ready for Application in Gear Metrology

Digital Holography and Three-Dimensional Imaging. Proceedings Optica Imaging Congress, HM2C.5 (2023)

- Schipper, J.; Bach, D.; Mönch, S.; Molin, C.; Gebhardt, S.; Wöllenstein, J.; Schäfer-Welsen, O.; Vogel, C.; Langebach, R.; Bartholomé, K.
On the efficiency of caloric materials in direct comparison with exergetic grades of compressors
Journal of Physics: Energy 5, 045002 (2023)
- Schlosser, M.; Tichelmann, S.; Schäffner, D.; Ohl de Mello, D.; Ham-bach, M.; Schütz, J.; Birkel, G.
Scalable Multilayer Architecture of Assembled Single-Atom Qubit Arrays in a Three-Dimensional Talbot Tweezer Lattice
Physical Review Letters 130, 180601 (2023)
- Schmid-Schirling, T.
Im freien Fall
Quality Engineering 2, 44-46 (2023)
- Schmid-Schirling, T.; Saum, N.; Eberz, C.
Marker-Free, Single Item Traceability in Gear Wheel Production Based on Inherent Surface Patterns
VDI Berichte 2422, 1877-1888 (2023)
- Schmieder, L.; Koss, P.; Kühnemann, F.
Magnetic Flow Metering with Optically Pumped Magnetometers (OPM)
SMSI Sensor and Measurement Science International. Proceedings, 69-70 (2023)
- Schmitt, K.; Sendelbach, M.; Weber, C.; Wöllenstein, J.; Strahl, T.
Resonant photoacoustic cells for laser-based methane detection
Journal of Sensors and Sensor Systems 12, 37-44 (2023)
- Schwegler, M.; Müller, C.; Reiterer, A.
Integrated Gradients for Feature Assessment in Point Cloud-Based Data Sets
Algorithms 16, 316 (2023)
- Seyler, T.; Fratz, M.; Schiller, A.; Bertz, A.; Carl, D.; Schmitt-Manderbach, T.; Langer, M.
Digital holography in a machine tool: Measuring large-scale objects with micron accuracy
Optical Measurement Systems for Industrial Inspection. Proceedings of SPIE 12618, 126181U (2023)
- Stiefvater, G.; Hespos, Y.; Wiedenmann, D.; Lambrecht, A.; Brunner, R.; Wöllenstein, J.
A Portable Laser Spectroscopic System for Measuring Nitrous Oxide Emissions on Fertilized Cropland
Sensors 23, 6686 (2023)
- Stober, I.; Jägle, M.; Kohl, T.
Optimizing scenarios of a deep geothermal aquifer storage in the southern Upper Rhine Graben
Geothermal Energy 1, 34 (2023)
- Störk, T.; Seyler, T.; Bertz, A.; Carl, D.
Investigation of Permuted Phase Steps on Multiwavelength Digital Holographic Measurements
Digital Holography and Three-Dimensional Imaging. Proceedings Optica Imaging Congress, HTu2C.5 (2023)
- Strahl, T.; Steinebrunner, J.; Weber, C.; Wöllenstein, J.; Schmitt, K.
Photoacoustic methane detection inside a MEMS microphone
Photoacoustics 29, 100428 (2023)
- Teicht, C.; Winkler, M.
Neue Konzepte zum regelbaren Wärmetransport: Heatpipe-basierte Wärmeschalter für Energiesysteme
BWK Energie 75(5-6), 47-49 (2023)
- Thiemann, K.; Blug, A.; Bertz, A.
Quantum Magnetometry for Material Testing
SMSI Sensor and Measurement Science International. Proceedings, 73-74 (2023)
- Thiemann, K.; Blug, A.; Bertz, A.; Carl, D.
Demonstration of an OPM flux guide scanner for high-resolution magnetic non-destructive testing
Photonics for Quantum. Proceedings of SPIE 12633, 1263309 (2023)
- Unmüßig, S.; Bach, D.; Nouchokgwe Kamgue, Y. D.; Defay, E.; Bartholomé, K.
Phenomenological Material Model for First-Order Electrocaloric Material
Energies 16, 5837 (2023)
- Vierhub-Lorenz, V.; Gangelhoff, J.; Werner, C.; Bett, C. M.; Frenner, K.; Osten, W.; Reiterer, A.
Development of a LiDAR system for low visibility conditions
Optical Measurement Systems for Industrial Inspection. Proceedings of SPIE 12618, 126181A (2023)
- Vierhub-Lorenz, V.; Werner, C.; Olshausen, P. v.; Reiterer, A.
Optischer Hammerschlagtest – neue Technologien für die Tunnel-inspektion
EI – Der Eisenbahningenieur 74(10), 18-21 (2023)
- Vierhub-Lorenz, V.; Werner, C.; Olshausen, P. v.; Reiterer, A.
Towards Automating Tunnel Inspections with Optical Remote Sensing Techniques
AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 130(1-2), 35-41 (2023)
- Vierhub-Lorenz, V.; Werner, C.; Weiher, K.; Heinze, C.; Reiterer, A.
Laser-based measurement system for the detection of delamination in tunnel linings
Optical Measurement Systems for Industrial Inspection. Proceedings of SPIE 12618, 1261824 (2023)

Wang, H.; Laskin, G.; He, W.; Boschker, H.; Yi, M.; Braun, W.; Fenk, B.; Srot, V.; Mannhart, J.; Aken, P. A. van

Lattice Anisotropy, Oxygen Octahedral Rotation and Tunable Magnetic Anisotropy in Patterned SrRuO₃ Quantum Structures

Microscopy and Microanalysis 29(Suppl. 1), 1650 (2023)

Weber, C.; Kapp, J.; Wöllenstein, J.; Schmitt, K.

Novel approach for efficient resonance tracking in photoacoustic gas sensor systems based on a light-induced wall signal

Photoacoustics 31, 100495 (2023)

Weber, P.-K.; Santos, P.; Rentschler, L.; Fuchs, T.; Bauer, M.; Friedrich, F.; Jelen, E.; Drezen, E. L.; Rauch, T.; Jelito, V.; Erdogmus, C.; Humanicka, W.

Digital Twins, Damage Detection and Material Analysis

in: Pollmer, U. (Hrsg.) Fraunhofer Technologies for Heritage Protection in Times of Climate Change and Digitization. IRB Verlag, Stuttgart. 22-63 (2023)

Werner, C.; Frey, S.; Reiterer, A.

Automated visual vegetation detection for weed management on transportation infrastructure

Automated Visual Inspection and Machine Vision. Proceedings of SPIE 12623, 126230G (2023)

Werner, C.; Gangelhoff, J.; Frey, S.; Steiger, D.; Reiterer, A.

Development of a compact pulsed time-of-flight LiDAR platform for underwater measurements

International Hydrographic Review 29, 200-207 (2023)

Winkler, M.; Vergez, M.; Mahlke, A.; Gebauer, M.; Müller, P.; Reising, C.; Bartholomé, K.; Schäfer-Welsen, O.

Flat-Plate PHP with Gravity-Independent Performance and High Maximum Thermal Load

Energies 16, 7463 (2023)

Wolf, S.; Lindner, C.; Trendle, T.; Kießling, J.; Kühnemann, F.

Time-resolved photothermal breath analysis

Quantum Sensing and Nano Electronics and Photonics. Proceedings of SPIE 12430, 124300 (2023)

Wolf, S.; Lindner, C.; Trendle, T.; Kießling, J.; Wöllenstein, J.; Kühnemann, F.

Breath-Resolved Monitoring of Metabolic Trace Gases with Photothermal Spectroscopy

Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC), doi:10.1109/CLEO/Europe-EQEC57999.2023.10231906 (2023)

Wöllenstein, J.; Reindl, L. M.

Themenheft Sensoren und Messsystem 2022

tm – Technisches Messen 90, 353-354 (2023)

Yassine, H.; Weber, C.; Brugger, N.; Wöllenstein, J.; Schmitt, K.

Towards a Miniaturized Photoacoustic Detector for the Infrared Spectroscopic Analysis of SO₂F₂ and Refrigerants

Sensors 23, 180 (2023)

Yassine, H.; Weber, C.; Wöllenstein, J.; Schmitt, K.

Evaluation of Photoacoustic Detectors for Methyl Bromide Sensing

SMSI Sensor and Measurement Science International. Proceedings, 157-158 (2023)

Yurchenko, O.; Pernau, H.-F.; Engel, L.; Wöllenstein, J.

Differential thermal analysis techniques as a tool for preliminary examination of catalyst for combustion

Scientific Reports 13, 9792 (2023)

Berichte 2023

Yurchenko, O.; Bierer, B.; Wöllenstein, J.

MEMS-basierte katalytische Sensoren für brennbare Gase (E! 113779 Mescal); Teilvorhaben: Entwicklung und Herstellung von neuen katalytisch-aktiven Materialien zur Methandetecktion

Schlussbericht; Berichtszeitraum: 01.07.2020 – 31.12.2022

Freiburg/Brsg., 2023, 24 S.

Schmid-Schirling, T.; Eberz, C.

Markierungsfreie Rückverfolgung des gefällten Baumstamms von der Ernte bis ins Sägewerk (DiGeBaSt)

Schlussbericht; Berichtszeitraum 01.04.2021 – 31.03.2023

Freiburg/Brsg., 2023, 29 S.

Fratz, M.; Schiller, A.; Bertz, A.

Dynamisch-holographisches Messverfahren zur Erfassung metallischer Freiformflächen (HoloMotion)

Schlussbericht; Berichtszeitraum: 01.02.2017 – 31.01.2023

Freiburg/Brsg., 2023, 25 S.

Erteilte Patente 2023

Dimopoulos, N.; Höfler, H.; Reiterer, A.; Wölfelschneider, H.

Vorrichtung zum Aufnehmen von überlagerten Distanz- Und Intensitätsbildern

AT525126B1

Bartholomé, K.; Horzella, J.; König, J.; Mahlke, A.; Vergez, M.

Verfahren und Vorrichtung zum Betrieb kreisprozessbasierter Systeme

EP3387337B1

Beckmann, T.; Fratz, M.; Schiller, A.

Vorrichtung und Verfahren zur interferometrischen Vermessung einer Oberfläche eines bewegten Prüflings

EP3581879B1

Brandenburg, A.; Blättermann, A.; Schütz, J.

Verfahren und Vorrichtung zum Klassifizieren einer partikelartigen Verunreinigung auf einer Oberfläche

EP3754324B1

Beckmann, T.; Seyler, T.

Verfahren zum Erzeugen einer Information aus mindestens einem Kamerabild

EP3855390B1

Beckmann, T.; Seyler, T.

Verfahren zum Erzeugen einer Information aus mindestens einem Kamerabild

US11568528B2

Anders, J.; Basler, C.; Bertz, A.; Seyler, T.

Interferometer zum Erzeugen eines digitalen Interferogramms oder eines digitalen Hologramms, mittels eines Umlenkspiegels

EP3855111B1

Herr, S.

Vorrichtung und Verfahren zum Erzeugen einer elektromagnetischen Nutzstrahlung

EP3985808B1

Schmitt, K.; Weber, C.; Wöllenstein, J.; Bittner, A.; Dehe, A.

Photoakustische Spektroskopie an Gasgemischen über abstimmbares Fabry-Perot-Interferometer

EP3919890B1

Kießling, J.; Kühnemann, F.; Trendle, T.; Wolf, S.

Verfahren und Sensor zum photothermischen Bestimmen einer Absorption einer elektromagnetischen Anregungsstrahlung in einer Probe

EP4080197B1

Doktorarbeiten 2023

Bachmann, N.; Koch, T. [Erstgutachter]

Steigerung der Systemperformance eines elastokalorischen Kühlsystems

[Karlsruhe, TU., Diss., 2023]

Berlin, Logos Verlag. Forschungsberichte aus dem Institut für Kolbenmaschinen 1/2024 (2024)

Gassner, S.; Wöllenstein, J. [Erstgutachter]

Miniaturisierter CO₂-Sensor mit wafer-gebondetem photoakustischen MEMS-Detektor

[Freiburg, Univ., Diss., 2023]

Aachen, Shaker-Verlag. Gas Sensors 16 (2024)

Minet, Y.; Buse, K. [Erstgutachter]

Elektro-optisch abstimmbare Lichtquellen mittels Lithiumniobat-Flüstergalerieresonatoren

[Freiburg, Univ., Diss., 2023]

Zschiesche, K. E.; Reiterer, A. [Erstgutachter]

Methods and algorithms of an imaging total station

[Freiburg, Univ., Diss., 2023]

Freiburg, FreiDoc plus, urn:nbn:de:bsz:25-freidok-2407627

Großprojekte Öffentliche Forschungsvorhaben 2023

Zwölf öffentlich geförderte Forschungsprojekte mit einem finanziellen Volumen von mehr als einer Million Euro für Fraunhofer IPM haben unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über das Jahr 2023 bearbeitet.

HOLOMOTION Dynamisch-holographisches Messverfahren zur Erfassung metallischer Freiformflächen, Teilvorhaben: Erforschung eines Verfahrens zur interferometrischen Vermessung in Bewegung - Dynamische Holographie
 Laufzeit: 01.02.2017 – 31.03.2023
 Förderung: BMBF; Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH

MultiVIS Fachhochschulkooperation mit der Hochschule Furtwangen HFU
 Laufzeit: 01.07.2018 – 31.12.2023
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Kooperationsprogramm Fachhochschulen)

QMag Entwicklung zweier komplementärer Quantenmagnetometer, um kleinste Magnetfelder mit hoher Auflösung und hoher Empfindlichkeit bei Raumtemperatur zu messen
 Laufzeit: 21.03.2019 – 31.12.2023
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

LaserBeat Hammerschlagtest mit Licht – berührungslose und flächenhafte Inspektion von Tunneln auf Basis laserinduzierten Körperschalls
 Laufzeit: 01.04.2019 – 31.12.2023
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (WISA)

EIKaWe Elektrokalarische Wärmepumpe
 Laufzeit: 01.10.2019 – 31.12.2024
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

HochPerForm Hochkompakte, schnelle Aktorik auf Basis von Formgedächtnislegierungen
 Laufzeit: 01.03.2020 – 31.12.2023
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (PREPARE)

MIAME Mikrometer auf Meter: Laserlicht für sub-Mikrometergenaue 3D-Messung auf Meterskalen
 Laufzeit: 01.04.2020 – 31.09.2023
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (PREPARE)

QTWP QT-Wellenleiter-Plus: Labor-Upgrade für LNOI-Technologie und Wellenleitercharakterisierung
 Laufzeit: 01.09.2021 – 31.08.2023
 Förderung: BMBF; Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH

FMD-QNC Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) – Modul Quanten- und neuromorphes Computing (QNC)
 Laufzeit: 01.11.2022 – 31.12.2025
 Förderung: BMBF, Projektträger VDI/VDE-IT

Bau-DNS Ganzheitliches Verfahren für eine nachhaltige, modulare und zirkuläre Gebäudesanierung
 Laufzeit: 01.01.2023 – 31.12.2026
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

CoLiBri Collaborative LiDAR to monitor infrastructure in the water and at the shoreline
 Laufzeit: 01.06.2023 – 30.11.2024
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (IMPULS)

MultiLambdaChip Integriert-optisches Mehrwellenlängen-Lasersystem für die holographische 3D-Oberflächenmesstechnik in der industriellen Qualitätssicherung
 Laufzeit: 01.10.2023 – 30.09.2026
 Förderung: BMBF, Projektträger VDI-Technologiezentrum GmbH

Netzwerk Unsere Partner

Wir engagieren uns in Verbänden, Fachorganisationen und Netzwerken – innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft, deutschlandweit und international.

Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces

Der Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces bündelt die wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen der Fraunhofer-Gesellschaft in den Themenfeldern Optik, Photonik, Laser- und Oberflächentechnik. In den Instituten des Verbunds forschen über 1300 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf exzellentem wissenschaftlichem Niveau, um komplexe technologische Fragen aus Industrie und Wirtschaft mit Blick auf die konkrete Anwendung zu lösen. Für die Industrie sind die Institute nicht nur Innovationspartner, sondern in Kooperation mit Universitäten auch eine Quelle für den wissenschaftlich-technischen Nachwuchs und damit eine Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.

Vorsitzender des Verbunds ist Prof. Dr. Karsten Buse, die Geschäftsstelle leitet Dr. Heinrich Stülpnagel.

light-and-surfaces.fraunhofer.de

Fraunhofer-Gesellschaft

- Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces
- Fraunhofer-Allianz BAU
- Fraunhofer-Allianz Ernährungswirtschaft
- Fraunhofer-Allianz Verkehr
- Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung
- Fraunhofer-Geschäftsbereich Vision

Deutschland

- AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.
- Arbeitskreis Prozessanalytik der GDCh und DECHEMA
- Cluster Brennstoffzelle BW
- CNA Center für Transportation & Logistics Neuer Adler e.V., Cluster Bahntechnik
- Competence Center for Applied Security Technology e.V. (CAST)
- Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V. (DFO)
- Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V. (DGPF)
- Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V. (DHYG)
- Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (DPG)

- Deutsche Thermoelektrik Gesellschaft e.V. (DTG)
- Deutscher Hochschulverband (DHV)
- Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V. (DKV)
- Draht-Welt Südwestfalen – netzwerkdraht e.V.
- Forum Angew. Informatik und Mikrosystemtechnik e.V. (FAIM)
- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh)
- Green City Cluster Freiburg
- Maritimes Cluster Norddeutschland e.V.
- microTEC Südwest e.V.
- Nano-Zentrum Euregio Bodensee e.V. (NEB)
- Photonics BW e.V. – Innovations-Cluster für Optische Technologien in Baden-Württemberg
- Strategische Partner – Klimaschutz am Oberrhein e.V.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)
- VDSI – Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e.V.
- Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik e.V.

International

- European Thermoelectric Society (ETS)
- International Thermoelectric Society (ITS)
- Optica (ehemals OSA)

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Als wichtige Kundengruppe nutzen insbesondere mittelständische Unternehmen die Expertise und Ressourcen von Fraunhofer, um neue Technologien zu entwickeln und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verstetigen. Seit Jahren zählt Fraunhofer zu den aktivsten Patentanmeldern in Deutschland und Europa. Dazu entwickelt die Forschungsorganisation ein umfangreiches, internationales Patentportfolio in verschiedenen Technologiebereichen, vor allem als Grundlage für den Transfer von Technologien durch Forschungsprojekte, Ausgründungen und Lizenzierung. Fraunhofer-Fachkräfte begleiten die Industriepartner dabei von der Idee bis zur Markteinführung. Darüber hinaus adressiert Fraunhofer gesamtgesellschaftliche Ziele in wichtigen Technologiebereichen durch interdisziplinäre und internationale Kooperationen im konkreten Marktumfeld. Zudem fördert Fraunhofer gesamtgesellschaftliche Missionen in Schlüsseltechnologien durch themenspezifische, interdisziplinäre und internationale Zusammenarbeit, die sich an den Bedürfnissen des Marktes orientiert. Beispiele sind Technologien für den Umbau von Energiesystemen, für die Cybersicherheit oder für Grundlagenmodelle der generativen Künstlichen Intelligenz. Für öffentlich-private Partnerschaften ist Fraunhofer ein attraktiver und etablierter Akteur. Darüber hinaus trägt die Fraunhofer-Gesellschaft maßgeblich zur Stärkung und Zukunftsfähigkeit des Innovationsstandorts Deutschland bei. Durch ihre Aktivitäten entstehen Arbeitsplätze in Deutschland, es erhöhen sich Investitionseffekte in der Wirtschaft und es steigt die gesellschaftliche Akzeptanz moderner Technik. 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. Die gegenwärtig knapp 32 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung, der sich in drei Finanzierungssäulen gliedert: Einen Anteil davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und aus Lizenz-erträgen, die sich auf insgesamt 836 Mio. € belaufen. Der hohe Anteil an Wirtschaftserträgen ist das Fraunhofer-Alleinstellungsmerkmal in der deutschen Forschungslandschaft. Die zentrale Bedeutung, die dadurch der direkten Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Industrie zukommt, garantiert den stetigen Innovationspush in die Wirtschaft und stärkt die deutsche und europäische Wettbewerbsfähigkeit. Ein weiterer Teil aus dem Bereich Vertragsforschung stammt aus öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Bund und Länder komplettieren die Vertragsforschung durch die Grundfinanzierung. Damit ermöglichen die Zuwendungsgeber, dass die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft relevant werden.

Hoch motivierte Mitarbeitende stellen für Fraunhofer den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Daher öffnet die Wissenschaftsorganisation Raum für selbstständiges, gestaltendes und zielorientiertes Arbeiten. Fraunhofer fördert die fachliche und persönliche Entwicklung, um Aufstiegschancen für ihre Mitarbeitenden in Wirtschaft und Gesellschaft zu unterstützen.

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.

[fraunhofer.de](https://www.fraunhofer.de)



Impressum

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für
Physikalische Messtechnik IPM
Kommunikation und Medien
Georges-Köhler-Allee 301
79110 Freiburg

Telefon + 49 761 8857-0
Fax + 49 761 8857-224
info@ipm.fraunhofer.de

Verantwortlicher Redakteur

Holger Kock (holger.kock@ipm.fraunhofer.de)

Redaktion

Holger Kock, Miriam Laufer, Anja Strobel

Layout und Gestaltung

Hanna Schweizer

eISSN 2943-680X

© Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM,
Freiburg, Institut der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V., München

Bei Abdruck oder Übersetzung ist die Einwilligung der
Redaktion erforderlich.

Erscheinungsdatum 14. Juni 2024

Dieser Bericht wird ausschließlich digital veröffentlicht.

Bildquellen

S. 2: Kai-Uwe Wudtke
S. 7: Joachim Grothus
S. 19: Markus Jürgens /Fraunhofer
S. 24: Plasmatrete GmbH
S. 25: Plasmatrete GmbH
S. 30: Minton/Shutterstock
S. 31: thyssenkrupp
S. 61: Kai-Uwe Wudtke

Alle anderen Bilder und Grafiken: Fraunhofer IPM

Bleiben Sie in Kontakt – wir freuen uns auf Sie!

Besuchen Sie unsere Homepage:

ipm.fraunhofer.de

Melden Sie sich für unseren Newsletter an:

ipm.fraunhofer.de/info

Folgen Sie uns auf:

in  **YouTube**

