



<< **Titelbild** *Unser neues Gebäude auf dem Campus der Technischen Universität bietet neben einer modernen Arbeitsumgebung exzellente technische Voraussetzungen für unsere Forschung (mehr dazu auf ab S. 10).*

MESSEN · KONTROLLIEREN · OPTIMIEREN

UNSERE GESCHÄFTSFELDER

PRODUKTIONSKONTROLLE

OBJEKT- UND FORMERFASSUNG

GAS- UND PROZESSTECHNOLOGIE

THERMISCHE ENERGIEWANDLER



INFRASTRUKTUR UND NACHHALTIGKEIT



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

der Bezug unseres Neubaus auf dem Campus der Technischen Fakultät der Universität Freiburg ist für unser Institut der größte Entwicklungsschritt seit der Gründung und dem Bezug des ersten eigenen Institutsgebäudes in der Heidenhofstraße im Jahr 1973. Dem Land Baden-Württemberg, dem Bund und der Europäischen Union, die den Bau mit Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) fördert, sind wir sehr dankbar für diesen sichtbaren Beweis des Vertrauens und der Wertschätzung! Besonders verbunden sind wir zudem der Universität Freiburg für die täglich gelebte Partnerschaft und für die Erfüllung unseres Wunsches, auf dem Campus als integraler Bestandteil des Wissenschaftsstandorts Freiburg bauen zu dürfen.

Bei unserem Neubau haben wir auf die Verwendung langlebiger Materialien mit geringem CO₂-Fußabdruck geachtet. Industrielle Abwärme zum Heizen und Grundwasser zum Kühlen, besonders aber auch die Gebäudeautomation und Betriebstechnik, sorgen beim Betrieb für hohe Effizienz, sogar über unser eigenes Gebäude hinaus: Geht das neu errichtete Stadion des SC Freiburg im Winter unter Vollast, so steuert unsere Haustechnik bei Bedarf ein halbes Megawatt an Wärme bei. (Lesen Sie mehr zum Thema Nachhaltigkeit am Neubau und zur technischen Ausstattung auf den Seiten 10 bis 12)

Infrastruktur planen und überwachen – Messtechnik lohnt sich

Bauten und die allgemeine Infrastruktur beschäftigen uns auch als Forschungsthema: Hier gibt es vielfältige Aufgaben für Messtechnik – mit großen Rol-Chancen für die Betreiber und die Umwelt! Planung, Bau und Erhalt von Schienen-, Straßen-

und Wasserwegen, von Strom-, Gas-, Wärme- und Wasser- netzen oder von See- und Flughäfen erfordern gigantische Investitionssummen: Marktstudien gehen davon aus, dass in den nächsten 20 Jahren weltweit 80 000 Mrd. US-Dollar in den Ausbau der öffentlichen Infrastruktur investiert werden. Diese Summe übersteigt das Bruttoinlandsprodukt Deutschlands im gleichen Zeitraum. Der CO₂-Fußabdruck dieser Investitionen ist erheblich. Umso wichtiger sind die optimale Planung, die effiziente Errichtung und ein langer und zuverlässiger Betrieb. In der ganzen Welt sind unsere Messsysteme im Einsatz, um diesen Anspruch zu erfüllen: Die automatisierte Trassenplanung für den Glasfaserausbau, die Überwachung von Baustellen und die Zustandserfassung von Schienen und Straßen sind dazu passende Themen unserer Abteilung Objekt- und Formerfassung. Sensoren zur Früherkennung von Bränden und zur Überwachung von Gas-Pipelines, die in der Abteilung Gas- und Prozesstechnologie entwickelt werden, passen ebenfalls in diesen Kontext, ebenso die kalorischen Wärmepumpen aus unserer Abteilung Thermische Energiewandler, die Gebäude nachhaltig mit Wärme versorgen sollen. Und in der Abteilung Produktionskontrolle kümmern wir uns unter anderem um Geradheitsmessungen von Stangenwaren, die zu den elementaren Baumaterialien gehören.

Der Neubau versetzt uns in die Lage, auf all unseren Tätigkeitsfeldern noch mehr Leistungen zu erbringen. Wir freuen uns darauf, unser Wissen und die erweiterten technischen Möglichkeiten am neuen Standort auch für Ihr Forschungs- und Entwicklungsprojekt einzusetzen.

Viel Freude beim Stöbern und Entdecken in unserem Jahresbericht wünscht Ihnen

Ihr *Karsten Buse*

Prof. Dr. Karsten Buse, Institutleiter



16



20



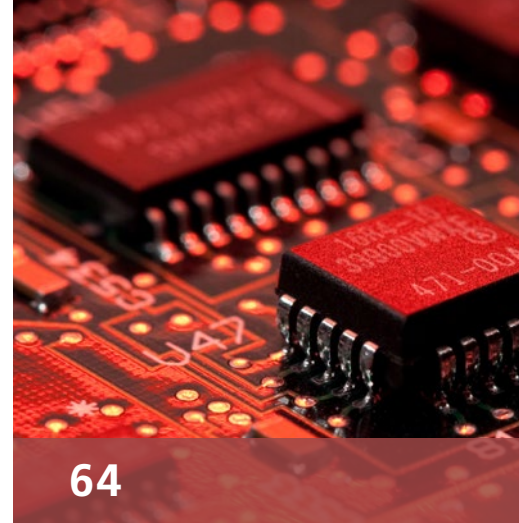
26

INHALT

- 3 EDITORIAL
- 6 ORGANISATION
- 8 DAS INSTITUT IN ZAHLEN | MITARBEITENDEN-BEFRAGUNG
- 10 NEUBAU SPEZIAL
- 13 INTERN
- 14 PROFESSUREN | KURATORIUM
- 16 MAGAZIN
- 24 KUNDENINTERVIEW

- 26 PRODUKTIONSKONTROLLE**
- 28 OPTISCHE OBERFLÄCHENANALYTIK
- 30 INLINE VISION SYSTEME
- 32 GEOMETRISCHE INLINE-MESSSYSTEME
- 34 Im Fokus: **NEUE ANTRIEBE – NEUE QUALITÄTSSICHERUNG**

- 36 OBJEKT- UND FORMERFASSUNG**
- 38 MOBILES TERRESTRISCHES SCANNING
- 40 AIRBORNE- UND UNTERWASSER-SCANNING
- 42 SMARTE DATENVISUALISIERUNG
- 44 Im Fokus: **MULTISPEKTRALER LASERSCANNER ERKENNT FEUCHTE IM TUNNEL**



46 GAS- UND PROZESSTECHNOLOGIE

48 INTEGRIERTE SENSORSYSTEME

50 SPEKTROSKOPIE UND PROZESSANALYTIK

52 THERMISCHE MESSTECHNIK UND SYSTEME

54 NICHTLINEARE OPTIK UND QUANTENSENSORIK

56 Im Fokus: **MIKROPELLISTOREN – NEUE SENSOREN FÜR BRENNBARE GASE**

58 THERMISCHE ENERGIEWANDLER

60 THERMOELEKTRISCHE SYSTEME

62 KALORISCHE SYSTEME

64 Im Fokus: **WÄRME EFFEKTIV LEITEN UND SCHALTEN**

66 MESSEN

68 VERANSTALTUNGEN | WORKSHOPS

69 PARTNER | NETZWERKE

70 PUBLIKATIONEN

73 DOKTORARBEITEN | PATENTE

74 FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

76 IMPRESSUM

ORGANISATION

INSTITUTSLEITUNG



Institutsleiter

Prof. Dr. Karsten Buse



Stellv. Institutsleiter

Dr. Daniel Carl

REFERENTEN UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT



Leiter Kommunikation und Medien

Holger Kock



Forschung

Dr. Rosita Sowade



Organisationsentwicklung

Dr. Heinrich Stülpnagel

VERWALTUNG UND IT



Verwaltungsleiter

Wolfgang Oesterling



Verwaltung

Sabine Gabele



Informations- und Telekommunikationstechnik

Gerd Kühner



Personal

Anneliese Zwölfer

TECHNISCHE DIENSTE



Technischer Leiter

Clemens Faller



Mechanik und Konstruktion

Thomas Hinrichs



Gebäude und Technik

Clemens Faller

PRODUKTIONSKONTROLLE ▶ Seite 26



Abteilungsleiter

Dr. Daniel Carl



Optische
Oberflächenanalytik

PD Dr.-Ing.
Albrecht Brandenburg



Inline Vision
Systeme

Dr. Tobias Schmid-Schirling



Geometrische
Inline-Messsysteme

Dr. Alexander Bertz

OBJEKT- UND FORMERFASSUNG ▶ Seite 36



Abteilungsleiter

Prof. Dr. Alexander Reiterer



Airborne- und Unter-
wasser-Scanning

Simon Stemmler



Smarte
Datenvisualisierung

Prof. Christoph Müller



Mobiles terrestrisches
Scanning

Prof. Dr. Alexander Reiterer

GAS- UND PROZESSTECHNOLOGIE ▶ Seite 46



Abteilungsleiter

Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein



Integrierte
Sensorsysteme

Dr. Marie-Luise Bauersfeld



Spektroskopie und
Prozessanalytik

Dr. Raimund Brunner



Thermische Mess-
technik und Systeme

Martin Jägler



Nichtlineare Optik
und Quantensensorik

PD Dr. Frank Kühnemann

THERMISCHE ENERGIEWANDLER ▶ Seite 58



Abteilungsleiter

Dr. Olaf Schäfer-Welsen



Kalorische Systeme

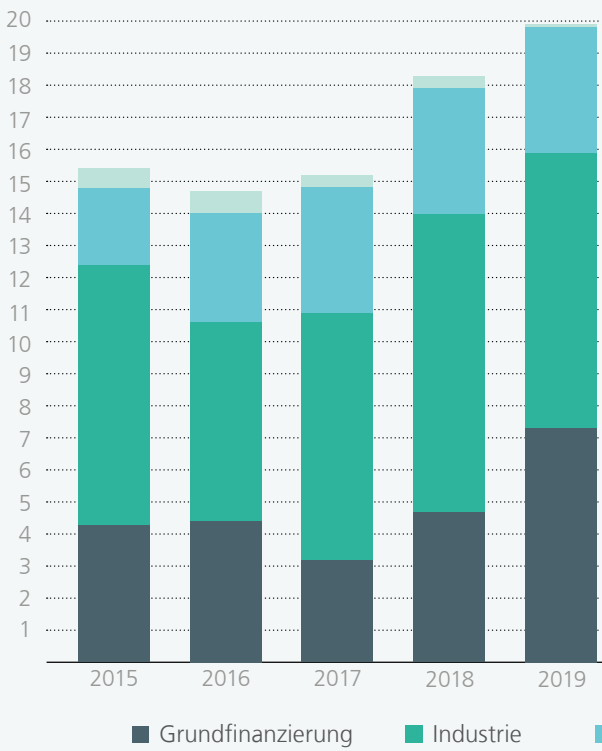
Dr. Kilian Bartholomé



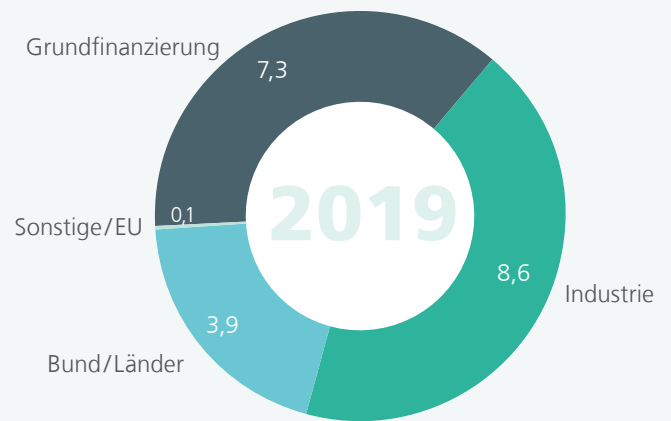
Thermoelektrische
Systeme

Dr. Olaf Schäfer-Welsen

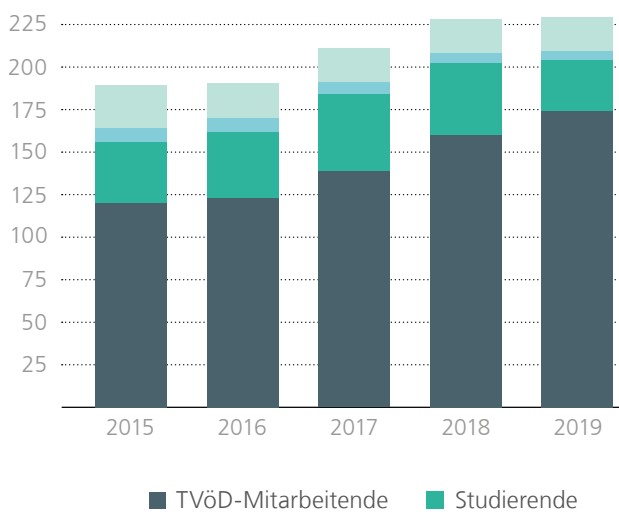
Betriebshaushalt in Mio. Euro



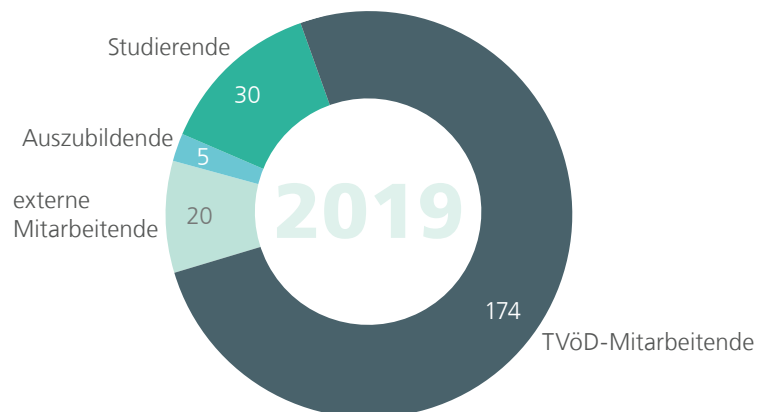
€ **19,9 Mio.**
Betriebshaushalt



Personal



 **229**
Mitarbeitende



EXZELLENTES NIVEAU GEHALTEN

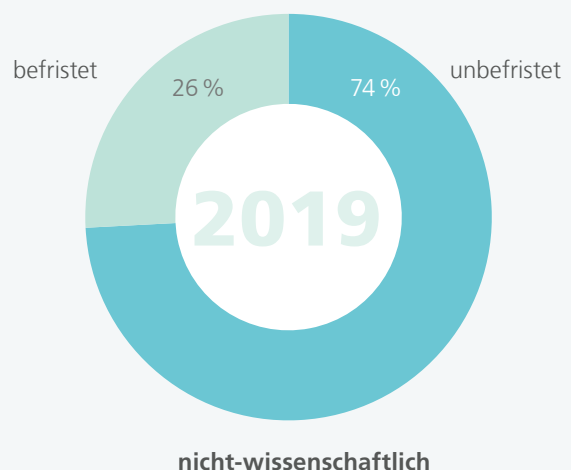
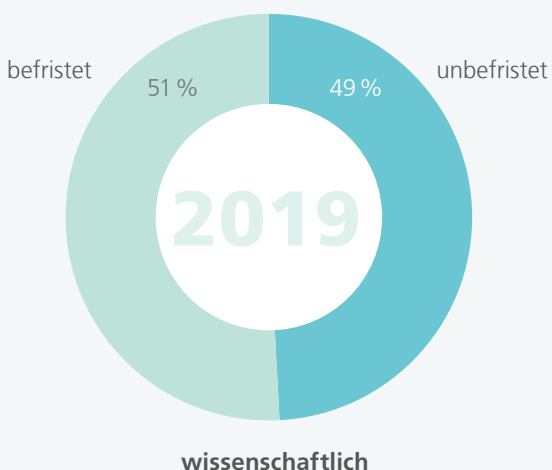
Eine Umfrage unter Institutsmitarbeiterinnen und -mitarbeitern zeigte zum zweiten Mal in Folge das außerordentlich hohe Niveau der Arbeitszufriedenheit am Institut.

Die Firma LOGIT Effectory, die die Befragung durchführte, bescheinigte dem Institut hervorragende Werte in allen Bereichen der strategischen Fitness: Das nachhaltige Engagement der Mitarbeitenden ist im Vergleich zu 2015 nochmals leicht gestiegen, die Einsatzbereitschaft herausragend. Sagenhafte 99 Prozent der Belegschaft sind bereit, für den Erfolg des Instituts ihr Bestes zu geben, 97 Prozent würden Fraunhofer IPM als guten Arbeitgeber empfehlen, 95 Prozent stehen hinter den Zielen des Instituts und 90 Prozent der Belegschaft haben Vertrauen in die Führungskräfte. Auch bei allen weiteren Fragen liegen die Werte von Fraunhofer IPM weit über den Werten externer Benchmarks.

Die hohe Beteiligungsquote von 94 Prozent (160 MA) und die mehr als 500 offenen Kommentare belegen das hohe Maß an Identifikation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Verbesserungspotenzial sehen die Mitarbeitenden vor allem bei der zum Teil sehr hohen Arbeitsbelastung sowie bei der Projektplanung.

Bereits 2015 hatte eine fraunhoferweite Befragung stattgefunden. Institutsleiter Karsten Buse hatte beschlossen, den ursprünglich geplanten Vierjahresrhythmus beizubehalten und die Umfrage 2019 aus eigener Initiative durchzuführen.

Beschäftigte nach TVÖD: Anteil befristeter/unbefristeter Verträge



NACHHALTIGKEIT AM NEUBAU

Das Thema Nachhaltigkeit nimmt in unserem neuen Gebäude eine zentrale Rolle ein – von der Materialwahl bis zum Energieverbrauch haben wir eine möglichst klimafreundliche und energieeffiziente Gestaltung priorisiert.

Das Ergebnis ist ein modernes Gebäude mit innovativen technischen Installationen, das in vielen Punkten über den gängigen Standard an Nachhaltigkeit hinausgeht.



INDUSTRIEABWÄRME INTELLIGENT NUTZEN

Über ein Niedrigtemperatursystem nutzt das Institut Fernwärme aus einem benachbarten Industriebetrieb zum Heizen. In der Regel reicht Fernwärme für den normalen Heizbetrieb aus, stößt in bestimmten Situationen aber an Grenzen – beispielsweise morgens zu Dienstbeginn nach einer kalten Winternacht, wenn alle Heizungen aufgedreht werden.



Fernwärme-Abnahmestelle mit 500 kW Leistung

Um solche Spitzenlasten auszugleichen, bietet die badenovaWÄRME-PLUS ihren Kunden ein intelligentes Lastenmanagement an, an dem Fraunhofer IPM als einer der ersten Fernwärmeabnehmer teilnimmt: Zu weniger belasteten Zeiten, z. B. nachts, wird das Gebäude als Wärmespeicher verwendet, indem mit der vorhandenen Fernwärme langsam vorgeheizt wird. So wird der Wärmefluss optimiert und die Infrastruktur entlastet.

INNOVATIVE LÜFTUNGSANLAGE

Adiabatische Kühlung ist leistungsstark und energieeffizient. Soviel ist bereits bekannt. Doch gerade dort, wo belastete oder korrosive Abluft entstehen kann – wie in unseren Forschungslaboren – ist Vorsicht geboten: Korrosionsschäden führen zur Undichtigkeit der Materialien, die als Wärmetauschflächen eingesetzt werden, z. B. Aluminium. Im neuen Gebäude wurden daher sieben Lüftungsanlagen mit Gegenstromplatten-Wärmetauschern aus korrosionsbeständigem Material eingebaut.

Der große Gerätequerschnitt führt zu einer geringen Strömungsgeschwindigkeit der Luft und ermöglicht so einen effizienten Wärmeübertrag. Auch bei der adiabatischen Kälteerzeugung steht innovative Technik im Mittelpunkt: Im Gegensatz zu herkömmlichen Verdunstungskühlern mit nachgeschaltetem Wärmeübertrag wird bei diesen Anlagen das Verdunstungswasser direkt auf die Wärmetauscher aufgesprüht. Dadurch wird eine besonders effektive Wärmeaufnahme gewährleistet.

MATERIALWAHL

- Stahlfenster und Kalksandsteinwände zur Reduktion von Aluminium und Beton, die in der Herstellung einen hohen Energiebedarf haben
- Außenfassade aus langlebiger Keramik
- polymerfreie Wärmedämmung
- extensive Begrünung: Dachgarten für »Urban Gardening«, Begrünung von Dach und Fassade auf mehr als 3 000 m², reichliche Pflanzung von Bäumen
- ca. 13 000 m² Bodenbeläge aus natürlichen Rohstoffen (Holz und Kautschuk)

BELEUCHTUNG

- tageslichtdurchlässige Türen und Oberlichter bedeuten weniger künstliche Beleuchtung
- Fenster mit Oberlichtern zur individuellen Nachtauskühlung
- künstliche Beleuchtung durch energieeffiziente LED-Leuchten mit Präsenzsteuerung

ENERGIE, HEIZEN UND KÜHLEN

- Fenster mit Dreifachverglasung und Sonnenschutzbeschichtung
- Gebäude- und Prozesskühlung über Grundwasser per Betonkernaktivierung ermöglicht 380 kW CO₂-freie Kühlleistung
- Photovoltaik-Anlage mit 30 kWp
- zehn Ladepunkte für E-Mobilität

TECHNISCHE AUSSTATTUNG

Auf einer Nutzfläche von rund 7500 Quadratmetern schafft der Neubau nicht nur ein angenehmes und modernes Arbeitsumfeld, sondern vor allem exzellente bauliche und technische Voraussetzungen für unsere Forschung.



- zwei Technika mit je neun Metern Raumhöhe
- Werkstatt auf 500 m²
- zwei hochmoderne Gasmesslabore
- Sauberlabor auf 400 m² mit reinraumähnlicher Arbeitsumgebung: geringerer Energie- und Kostenbedarf u. a. durch geringere Luftmengen und Verzicht auf abgehängte Decken
- exzellente technische Ressourcen in der Laborausstattung: hohe Wirtschaftlichkeit und Effizienz durch gut kontrollierte Arbeitsumgebung in Bezug auf Temperatur, Reinheit und Versorgung
- großzügiger Veranstaltungsbereich mit Raum für bis zu 250 Personen

Beispiele für neue Großgeräte

- Koordinatenmessmaschine
- Mikro-CT
- Magnetisch geschirmter Raum (MSR)

GROSSPROJEKTE 2019

Dreizehn Forschungsprojekte, an denen das Institut mit jeweils mehr als einer Million Euro beteiligt ist, bearbeiteten unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Jahreszeitraum 2019. Mit EIKaWe übernahm Fraunhofer IPM erstmalig die Koordination eines Fraunhofer-Leitprojekts.

MagCon Magnetokalorik: Entwicklung kältemittelfreier, hocheffizienter Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen
 Laufzeit: 01.02.2016 – 31.12.2019
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (MAVO)

Freifall 100-Prozent Qualitätsprüfung für Halbzeuge durch Geometrie- und Oberflächenanalyse im freien Fall
 Laufzeit: 01.04.2017 – 30.09.2020
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (WISA)

TOXIG Farbwechselbasierte Sensoren zur Detektion toxischer Gase
 Laufzeit: 01.03.2017 – 31.08.2020
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (MAVO)

MagMed Entwicklung einer kältemittelfreien und effizienten Kühltechnik, Teilvorhaben: Systementwicklung und Messtechnik
 Laufzeit: 01.06.2017 – 31.05.2020
 Förderung: BMWi, Projektträger Forschungszentrum Jülich GmbH

eHarsh Sensorsysteme für extrem raue Umgebungen
 Laufzeit: 01.07.2017 – 30.06.2021
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

QUILT Quantum methods for advanced imaging solutions
 Laufzeit: 01.09.2017 – 30.06.2021
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

FLuMEMS MEMS-basierte katalytisch-thermische Sensoren für Gase und Flüssigkeiten
 Laufzeit: 01.04.2018 – 31.03.2021
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (MAVO)

MultiVIS Visualisierung multidimensionaler Daten
 Fachhochschulkooperation Hochschule Furtwangen HFU
 Laufzeit: 01.07.2018 – 31.12.2023
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Kooperationsprogramm Fachhochschulen)

Elasto-Cool Entwicklung hocheffizienter elastokalorischer Wärmepumpen ohne schädliche Kältemittel zum Heizen und Kühlen
 Laufzeit: 01.08.2018 – 01.07.2021
 Förderung: BMBF, Projektträger VDI/VDE Innovation und Technik GmbH

ISLAS Intracavity-Laserspektroskopie für den hochempfindlichen Nachweis von Spurengasen
 Laufzeit: 01.03.2019 – 28.02.2022
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (MAVO)

QMag Entwicklung zweier komplementärer Quantenmagnetometer, um kleinste Magnetfelder mit hoher Auflösung und hoher Empfindlichkeit bei Raumtemperatur zu messen
 Laufzeit: 21.03.2019 – 31.03.2024
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

LaserBeat Hammerschlagtest mit Licht – berührungslose und flächenhafte Inspektion von Tunneln auf Basis laser-induzierten Körperschalls
 Laufzeit: 01.04.2019 – 31.03.2022
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (WISA)

EIKaWe Elektrokaloische Wärmepumpe
 Laufzeit: 01.10.2019 – 30.09.2023
 Förderung: Fraunhofer-Gesellschaft (Leitprojekt)

> Die Mitglieder des Kuratoriums geben dem Institut nicht nur im Rahmen der jährlichen Kuratoriumssitzung strategische Impulse, sondern sie begleiten uns auch tagtäglich mit wertvollen Hinweisen.

PROFESSUREN AN UNIVERSITÄTEN UND HOCHSCHULEN

Fraunhofer IPM ist mit drei Professuren und drei Privatdozenturen an der Universität Freiburg vertreten. Durch die enge Universitätsanbindung können wir in unserer Projektarbeit auf neueste Ergebnisse aus der Grundlagenforschung aufbauen. Seit 2019 kooperiert das Institut im Rahmen des Fraunhofer-Hochschul-Kooperationsprogramms zudem mit der Hochschule Furtwangen (HFU).

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG



Institut für Mikrosystemtechnik – IMTEK

Professur für Optische Systeme

Prof. Dr. Karsten Buse

www.imtek.de/professuren/optische-systeme



Forschungsschwerpunkte

- nichtlinear-optische Materialien
- optische Flüstergalerieresonatoren
- miniaturisierte Festkörperlaser
- optische Frequenzkonverter (optisch-parametrische Oszillatoren, OPOs)

- Frequenzkämme
- schnelles Durchstimmen von Laserfrequenzen
- integrierte Optik

Professur für Gassensoren

Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein

www.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

www.inatech.de/alexander-reiterer



Forschungsschwerpunkte

- Inspektion und Überwachung künstlicher und natürlicher Objekte
- 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



»Sie legen jedes Jahr noch eine Schippe drauf. Hier zu sein ist ein Highlight des Jahres und ein tolles Erlebnis.«
Gerhard Kleinpeter

HOCHSCHULE FURTWANGEN



Fakultät Digitale Medien

Professur für Computergrafik

Prof. Christoph Müller

www.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

UNSER KURATORIUM

Ein hochkarätig besetztes Kuratorium berät und unterstützt das Institut bei der strategischen Ausrichtung und bei Weichenstellungen für die Zukunft.

Vorsitzender

Dr. Manfred Jagiella

Endress + Hauser Conducta GmbH & Co. KG

Dr. Bernd Dallmann

Internationale Studien- und Berufsakademie Freiburg, ISBA gGmbH

Prof. Dr. Gunther Neuhaus

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Mitglieder

Dr. Lutz Aschke

TRUMPF Photonic Components GmbH

Dr. Jürgen Gieshoff

Umicore AG & Co. KG

Prof. Dr. Andreas Nüchter

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Hanna Böhme

FWTM Freiburg Wirtschaft Touristik und Messe GmbH & Co. KG

Dr. Mathias Jonas

Internationale Hydrographische Organisation

Dr. Volker Nussbaumer

Volkswagen AG, Group Charging GmbH

Prof. Dr. Frank Boochs

Hochschule Mainz, Fachbereich Geoinformatik & Vermessung

Gerhard Kleinpeter

BMW AG

Dr. Stefan Raible

AMS Business Line Environmental Sensors

Stephanie Busse

DB Netz AG

Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert

Leibniz Universität Hannover, Institut für Baumanagement und Digitales Bauen

Prof. Dr. Michael Totzeck

Carl Zeiss AG

Claus Mayer

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg

Prof. Dr. Ulrike Wallrabe

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK

Laserstrahlen über der Stadt: Im Vorfeld der Veranstaltung weckten drei Laserstrahlen im Freiburger Nachthimmel die Neugierde der Bürgerinnen und Bürger.

FREIBURG FEIERT 70 JAHRE FRAUNHOFER

Ein ganz besonderes Fest organisierten die fünf Freiburger Fraunhofer-Institute am 28. September in der Freiburger Innenstadt zum 70. Geburtstag der Fraunhofer-Gesellschaft.

Bereits eine Woche vor der Veranstaltung erleuchteten drei Laserstrahlen den Freiburger Nachthimmel, um die Geburtstagsfeier der Fraunhofer-Gesellschaft anzukündigen. Am Festtag selbst wurde der Innenhof der Uni-

versität zum zentralen Schauplatz des Fests, zu dem Mitarbeitende der Institute sowie die breite Öffentlichkeit geladen waren. Mehr als 5000 Menschen kamen, um ein spannendes und vielfältiges Programm zu erleben – mit Vorträgen, Mitmach-Experimenten, Live-Musik, Laser-Show und einem Escape-Game.

Auf der Bühne nahm der Schauspieler Rainer G. Mannich die Zuschauer in Gestalt von Joseph von Fraunhofer

mit auf eine Zeitreise durch die Geschichte der Fraunhofer-Forschung. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der Freiburger Fraunhofer-Institute erläuterten publikumsnah ihre Forschungsthemen – von der Crashforschung mit Röntgentechnologie über kalorische Kühlsysteme und optimierte Leistungselektronik bis hin zu Innovationen in der Photovoltaik-Beschichtung.



Knobel dich raus: Im Escape-Game suchten Studierende gemeinsam nach einem Ausweg.



»Als einer der größten Arbeitgeber unserer Stadt bringt die Fraunhofer-Gesellschaft Forschung auf Weltniveau nach Freiburg«, betonte Oberbürgermeister Martin Horn bei der Eröffnung der Veranstaltung.



Historischer Auftakt: Der Schauspieler Rainer G. Mannich als Joseph von Fraunhofer führte das Publikum durch die Geschichte der Fraunhofer-Idee.

In verschiedenen Themen-Zelten konnten Interessierte sich anhand von Exponaten zu den Themenbereichen »Sensoren und Daten«, »Materialien und Funktionen«, »Licht und Weltraum« und »Mobilität und Nachhaltigkeit« informieren. Kindern wurde ein abwechslungsreiches Programm mit Mitmachexperimenten, Bastelaktionen und Kinderschminken geboten. Viel Zulauf fand auch das Angebot eines Escape-Games für Studierende, in

dem Mitknobeln und Teamarbeit gefragt waren.

Der Ausklang des Fests wurde mit einer spektakulären Lasershow gestaltet. Anschließend feierten die Gäste noch bis spät in die Nacht mit Cocktails, DJ und Bands. Das Fest war eine der bundesweit größten Veranstaltungen zum Jubiläum der Fraunhofer-Gesellschaft und fand großen Anklang bei der Freiburger Bevölkerung.



Fraunhofer beweist täglich, dass es doch geht: Eine Plakatserie, angelehnt an das Fraunhofer-Motto, kündigte die Themen der einzelnen Freiburger Institute an.



Partystimmung auf dem Platz der Weißen Rose – DJ und Bands, zum Teil besetzt mit Fraunhofer-Musikerinnen und -Musikern, sorgten für die abendliche Unterhaltung.



Mehr als 5 000 Menschen kamen zum Freiburger Fraunhofer-Fest und feierten bis spät in die Nacht.



KICK-OFF FÜR ZWEI FRAUNHOFER-LEITPROJEKTE

Mit ElKaWe und QMag gingen 2019 gleich zwei Leitprojekte an den Start, an denen Fraunhofer IPM beteiligt ist.

Im Projekt »Quantenmagnetometrie« (QMag) entwickeln sechs Fraunhofer-Institute Quantenmagnetometer für industrielle Anwendungen. Sie sollen winzige Magnetfelder mit einer nie dagewesenen räumlichen Auflösung und Sensitivität bei Raumtemperatur bildgebend darstellen können. Im Zentrum der Forschung stehen zwei komplementäre Systeme: Ein Rastersonden-Quantenmagnetometer zielt auf Anwendungen in der Nanoelektronik. Schwerpunkt der Arbeiten am Fraunhofer IPM sind neue Anwendungen für optisch gepumpte

Magnetometer (OPM). Diese extrem empfindlichen Sensoren sollen im Bereich der Niederfeld-NMR (»nuclear magnetic resonance«) für die chemische Prozessanalytik und für Materialprüfungen eingesetzt werden. Das vom Fraunhofer IAF koordinierte Projekt QMag umfasst ein Volumen von zehn Millionen Euro und endet 2024.

Eine Alternative zu kompressorbasierten Wärmepumpen zu entwickeln, ist das Ziel des mit acht Millionen Euro geförderten Projekts »Elektrokalarische Wärmepumpen« (ElKaWe) unter der Leitung von Fraunhofer IPM. Sechs Fraunhofer-Institute entwickeln im Rahmen von ElKaWe innerhalb von vier Jahren den Prototyp einer elektrokalarischen Wärmepumpe. Im Zentrum

der Arbeiten steht der Material- und Systemaufbau, der auf einem neuartigen, von Fraunhofer IPM patentierten Systemansatz basiert. Dieser sieht vor, den Wärmeübertrag durch eine Kombination aus Verdampfen und Kondensieren eines unschädlichen Fluids in Heatpipes mit einer thermischen Diode zu realisieren. Entwickelt werden zudem elektrokalarische Polymer-Materialien, Beschichtungen und eine spezielle elektrische Ansteuerung. Die hocheffizienten elektrokalarischen Wärmepumpen sollen sowohl zum Heizen als auch zur Warmwasserbereitung in Gebäuden sowie in der industriellen Kühltechnik, zur Fahrzeugklimatisierung, zur Server- und Schaltschrankkühlung und in Laborkühlschränken eingesetzt werden.



^ Im Leitprojekt ElKaWe arbeiten sechs Fraunhofer-Institute unter der Leitung von Fraunhofer IPM am Aufbau elektrokalarischer Wärmepumpen.
www.elkawe.org

< Fraunhofer IPM erforscht im Leitprojekt QMag neue Anwendungen für hochempfindliche optisch gepumpte Magnetometer.
www.qmag.fraunhofer.de

Internationales Treffen der Quantenphysik: Mehr als 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Deutschland, weiteren europäischen Ländern, den USA und Singapur kamen zur Fachtagung »Sensing with Quantum Light« ins Physizentrum der Deutschen Physikalischen Gesellschaft nach Bad Honnef.

INTERNATIONALE FACHTAGUNG ZUR QUANTENSENSORIK

Im September 2019 organisierte Fraunhofer IPM gemeinsam mit Fraunhofer IOF den Workshop »Sensing with Quantum Light«.

Die Veranstaltung im Physizentrum Bad Honnef brachte renommierte sowie junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf dem Gebiet der Quantensensorik zusammen. Rund um die Leitfrage »Wie lassen sich photonische Quantenzustände nutzen, um die

Grenzen herkömmlicher Messtechnik in Bildgebung, Spektroskopie und Analytik zu erweitern?« reichte die Bandbreite der Beiträge von den physikalischen Grundlagen bis zur Technologie-Einschätzung seitens der Industrie.

Einen Schwerpunkt bildete das Thema Infrarot-Messtechnik mit nichtlinearen Interferometern – mit Beiträgen aus Berlin, Singapur und aus dem Konsortium des Fraunhofer-Leitprojekts »Quan-

tum Methods for Advanced Imaging Solutions« (QUILT). Zu den Highlights gehörte hier neben dem Bericht über die erste Realisierung eines Terahertz-Interferometers auch das von Fraunhofer IPM entwickelte Quanten-FTIR. Die Veranstaltung wurde durch die Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen von QUILT finanziell unterstützt. Im Projekt QUILT forschen sechs Fraunhofer-Institute seit 2017 an neuen Methoden der Quantensensorik und des Quantenimaging.

VERNETZUNG HOCH DREI: WORKSHOPS 2019

Mit drei teils international besetzten Workshops zu den Themen Thermoelektrik, Kalorik und Gassensorik war Fraunhofer IPM 2019 einmal mehr ein bedeutendes Forum für Vernetzung, Wissenstransfer und Innovation.

Jeweils zwischen 60 und 70 Interessenten aus Wissenschaft und Industrie fanden sich zu den drei Fachworkshops ein, um sich über den Stand der Technik und die Potenziale in den einzelnen Fachgebieten zu informieren.

Den Auftakt machte im März der in Kooperation mit der Deutschen Thermoelektrik-Gesellschaft erstmalig organisierte Industrieworkshop Thermoelektrik. In Fachvorträgen und einer Ausstellung wur-

den Materialien und Systeme der Thermoelektrik diskutiert. Darüber hinaus wurden Weiterentwicklungen der Peltiertechnik und der thermoelektrischen Generatorik vorgestellt. Im Zentrum der Diskussionen stand die Erschließung neuer Anwendungen – u. a. in den Bereichen industrielle Abwärmenutzung und Energy Harvesting.

Nur wenige Tage später trafen sich Fachleute der Kalorik zum Informationsaustausch über festkörperbasierte Systeme zum Kühlen oder Heizen. Der in Kooperation mit dem Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Verein (DKV) und dem ZIM-Netzwerk Magnetokalorik organisierte Workshop fand zum zweiten Mal statt. Vorträge zur Magnetokalorik, Elastokalorik und Elektrokolorik deckten das gesamte Spektrum kalorischer Tech-

nologien ab. Die begleitende Ausstellung zeigte erstmalig vier funktionsfähige kalorische Systeme und verdeutlichte so das hohe disruptive Potenzial der Technologie.

Im Oktober fand abschließend der Gassensor-Workshop statt: Bereits zum achten Mal in Folge trafen sich Fachleute auf dem Gebiet der Gasmesstechnik zum gemeinsamen Austausch in Fachvorträgen und einer Fachaustellung. Im Fokus standen hier u. a. die Umweltmesstechnik sowie die Gasdetektion im industriellen Umfeld. Fraunhofer IPM präsentierte das Projekt »GAS-O-CHROM«, in dem optische Gassensoren für die Brandgasfrüherkennung entwickelt werden.

Alle drei Workshops finden in zweijährigem Turnus statt.

Prof. Dr. Alexander Reiterer (2.v.l.), Dr. Katharina Wäschle (M.) und Dominik Störk (2.v.r.) erhielten den Fraunhofer-Preis von Jurymitglied Prof. Dr. Gerd Müller (l.) und Fraunhofer-Präsident Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer (r.).



JOSEPH-VON-FRAUNHOFER-PREIS 2019

Zum vierten Mal innerhalb von sieben Jahren erhielt Fraunhofer IPM den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Ausgezeichnet wurde ein Software-Tool zur Erstellung digitaler Planungsdaten für die Trassenplanung beim Glasfaserausbau. Die Deutsche Telekom nutzt das Tool als erstes Unternehmen, um den Planungsprozess deutlich effizienter zu gestalten: Für die Trassenplanung einer Kleinstadt sind in Zukunft nur noch wenige Tage statt wie bisher mehrere Wochen nötig. Eigens erfasste digitale

2D- und 3D-Messdaten ersetzen zukünftig die bisher zur Planung genutzten Katasterpläne, Luftbilder und manuell erhobenen Daten. Die Datenauswertung erfolgt vollautomatisch mithilfe eines Algorithmus, der auf Machine-Learning-Verfahren basiert: Das Team trainierte ein neuronales Netz für die selbstständige Erkennung von 30 unterschiedlichen Objektklassen wie zum Beispiel Fahrzeuge, Bordsteine, Kanaldeckel, Schilder, Bäume oder Hecken. Der dazu eigens aufgebaute Trainingsdatensatz umfasst rund

ehunderttausend repräsentative Aufnahmen und deckt neben unterschiedlichen Objekten auch Jahreszeiten sowie unterschiedliche Witterungsverhältnisse und Beleuchtungssituationen ab. Das Tool ist Teil einer am Institut entwickelten Prozesskette, die die Generierung von Geo-Mapping-Daten mithilfe optischer Messtechnik, die Datenaufbereitung sowie die vollautomatisierte Dateninterpretation umfasst.

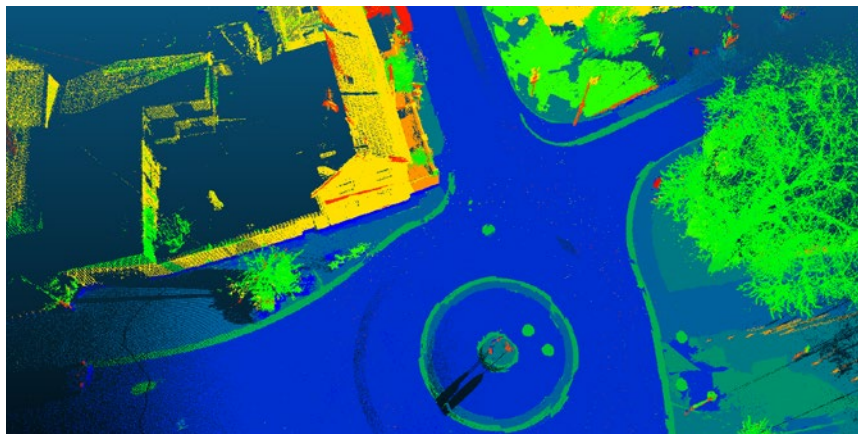
KUNDENAUFTRAG IN MILLIONENHÖHE

Mit einem Industrieauftrag in Höhe von 1,2 Millionen Euro gelang es dem Forschungsteam um Prof. Dr. Alexander Reiterer im November erneut, die Auszeichnung »Kundenakquise des Monats« innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft zu gewinnen.

Das Team von Fraunhofer IPM war bereits in den vergangenen Jahren besonders erfolgreich bei der Akquise großer Industrieaufträge. Diesmal kam der Zuschlag von der DeTeFleetServices GmbH, einer Tochtergesellschaft der Deutsche Telekom: Beauftragt wurde die Entwicklung zweier voll ausgestatteter Mobile-Urban-Mapping-Fahrzeuge. Mittels eines 3D-Laserscanners und je vier Kameras dokumentieren die Fahrzeuge den gesamten Straßenraum

und liefern so die Datengrundlage für die Durchführung von Bauplanungen für den Glasfaserausbau. »Die beste Kundenakquise« ist ein Fraunhofer-

internes Ranking zur monatlichen Erfassung des höchsten eingeworbenen Auftrags aus der Wirtschaft.



Mittels optischer Messtechnik liefern die Messfahrzeuge Daten in Form von 3D-Punktwolken als Grundlage für eine effiziente Trassenplanung.



Gut gelaunt auf dem Weg zum Institutsneubau auf dem Campus der Technischen Fakultät der Universität Freiburg.

AUF DEM RAD MIT OB MARTIN HORN

Am 12. Juni 2019 besuchte Freiburgs Oberbürgermeister Martin Horn auf einer gemeinsamen Radtour alle fünf Fraunhofer-Institute in Freiburg.

Bei herrlichem Sommerwetter fuhr der Oberbürgermeister gemeinsam mit den Institutsleitern auf dem Rad quer durch die Stadt, um Einblick in die Forschung an einem der deutschlandweit größten

Fraunhofer-Standorte zu gewinnen. Start der Tour war das Fraunhofer EMI, wo die Radfahrer mit Radflaschenhaltern aus dem 3D-Drucklabor und mit Lupineneis – einer Fraunhofer-Erfindung – versorgt wurden. Frisch gestärkt machte sich die Gruppe dann auf den Weg zu den anderen Instituten. Im Neubau des Fraunhofer IPM besichtigte

Horn den Baufortschritt und verschiedene Messsysteme, die eigens zu diesem Anlass dorthin verlegt wurden. Martin Horn zeigte sich beeindruckt. Die Fraunhofer-Institute seien für Freiburg als Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort »ein wichtiger Motor der Entwicklung für eine ambitionierte Nachhaltigkeitspolitik«.

KARSTEN BUSE LEITET FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

Zum 1. Oktober 2019 ernannte der Fraunhofer-Senat Prof. Karsten Buse zum Vorsitzenden des Fraunhofer-Verbunds Light & Surfaces.

Zuvor wurde er einstimmig von den Verbund-Mitgliedern für diese Position

gewählt. Er übernahm den Vorsitz von Prof. Reinhart Poprawe, Institutsleiter des Fraunhofer ILT. Mit der Ernennung verbunden ist die Berufung ins zwölfköpfige Fraunhofer-Präsidium. Der Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces

bündelt die Kompetenzen von sechs Fraunhofer-Instituten auf den Gebieten Laser-, Optik-, Mess- und Beschichtungstechnik.

STUDIE: SCHLÜSSELTECHNOLOGIE PHOTONIK

Eine Studie zum Thema »Green Photonics«, an der auch Fraunhofer IPM beteiligt war, zeigt die Bedeutung optischer Technologien für das Erreichen der Klimaschutzziele.

Unter dem Titel »Licht als Schlüssel zur globalen ökologischen Nachhaltigkeit« stellt die einhundert Seiten umfassende Studie die Rolle der Photonik zum Schutz von Umwelt und Ressourcen dar. Mehr als eine Milliarde Tonnen CO₂-Einsparungen gehen der Studie zufolge schon heute auf das Konto der Photonik; bis zum Jahr 2030 sollen es drei Milliarden Tonnen sein. Die

Publikation präsentiert zahlreiche Beispiele, die das enorme Klimaschutzpotenzial der Technologie demonstrieren. Fraunhofer IPM stellt im Rahmen der Studie 3D-Laserscanner zum Erhalt von Infrastruktur, Laserspektroskopie zur Abgasmesstechnik sowie digitale Holographie für die Qualitätskontrolle in der Industrieproduktion vor. Herausgeber ist der Industrieverband Spectaris in Kooperation mit der Messe München, Fraunhofer ILT und dem Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces.

www.spectaris.de/verband/themen/greenphotonics/





BESUCH DER TECHNIK- UND KLIMA-DETEKTIVE

Gleich zweimal waren Schülerinnen und Schüler der ANGELL-Akademie dieses Jahr zu Besuch bei Fraunhofer IPM.

Eine siebte Klasse der Schule bekam im April im Rahmen einer Exkursion die Gelegenheit, in den Forschungsalltag am Institut einzutauchen. Die Schülerinnen und Schüler bestaunten Laserscanner zur Vermessung von Bahngleisen, Bildverarbeitungssysteme für die Produktionskontrolle und innovative Kühlsysteme ohne schädliche Kältemittel. Dabei durften sie

einzelne Teile und Systeme selbst bedienen und deren Funktionsweise erforschen. Zu einem zweiten Besuch fanden sich umweltinteressierte Schülerinnen und Schüler der 10. bis 12. Klassen im Rahmen des »Green Campus Day« am 15. November am Institut ein. Der Tag war von der ANGELL-Stiftung ausgerufen worden, um Jugendlichen das Thema Nachhaltigkeit nahezubringen. Eine Schülergruppe besuchte Fraunhofer IPM, um sich über Technologien und Ideen im Kampf gegen den Klimawandel zu

informieren. Im Fokus stand dabei vor allem der Institutsneubau, wo die Gäste anhand einer Führung einen Eindruck von nachhaltigen Materialien und Bautechniken bekamen und sich im Abschätzen von CO₂-Einsparungen üben konnten.

TALENTA

Vier Wissenschaftlerinnen am Institut nehmen am Fraunhofer-Karriereprogramm TALENTA teil.

Die Doktorandinnen Nora Bachmann, Laura Engel, Chiara Lindner und Lena Maria Maier werden im Rahmen von TALENTA *start* unterstützt. Das Programm fördert besonders talentierte Mitarbeiterinnen in der frühen Phase ihrer Karriere. Neben Qualifizierungsangeboten soll das Programm mit der »Karrierezeit« den nötigen zeitlichen Freiraum für die Promotion oder die fachliche Weiterentwicklung ermöglichen. Jährlich werden rund 30 TALENTA *start*-Plätze vergeben.

AUSGEZEICHNETE MASTERARBEIT

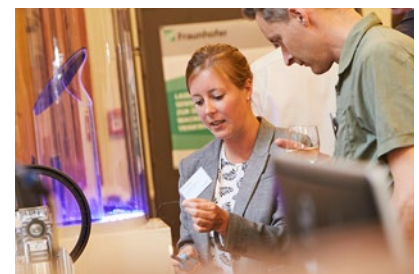
Für das Poster zu ihrer Abschlussarbeit erhielt Denise Becker, ehemalige Masterstudentin bei Fraunhofer IPM, den ÖbVI-Petersen-Preis.

Bis September 2019 war Denise Becker als Masterstudentin bei Fraunhofer IPM tätig. In ihrer Abschlussarbeit evalu-

ierte sie ein am Institut entwickeltes UAV-gestütztes Multisensorsystem zur Erfassung von Objekten aus der Luft. Im Rahmen des Seminars »Terrestrisches Laserscanning« der DWW e.V. Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement im Dezember 2019 wurde Becker mit dem ÖbVI-Petersen-Preis ausgezeichnet, der jährlich verliehen wird. Der Öffentlich bestellte Vermessungsingenieur (ÖbVI) ist ein Organ des öffentlichen Vermessungswesens bzw. Träger eines öffentlichen Amtes in Deutschland. Denise Beckers Arbeit wurde von Prof. Dr.-Ing. Jörg Klonowski von der Hochschule Mainz und Prof. Dr. Alexander Reiterer von Fraunhofer IPM gemeinsam betreut.



Denise Becker wurde für ihre Masterarbeit mit dem ÖbVI-Petersen-Preis ausgezeichnet.



Lena Maria Maier forscht in ihrer Doktorarbeit an kalorischen Systemen. »Dank TALENTA konnte ich einige Fortbildungen zusätzlich besuchen und stehe nun in regelmäßigem Austausch mit anderen Doktorandinnen.«

< Bahngleise mit Licht vermessen?
Die Schülerinnen und Schüler ge-
wannen Einblick in das Innenleben
eines Laserscanners.

DREI FRAGEN AN... CLEMENS FALLER

Clemens Faller leitet seit 2014 die Abteilung Technische Dienste am Fraunhofer IPM. Die insgesamt 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Abteilung, zu der auch die mechanische Werkstatt gehört, sorgen für einen reibungslosen Betriebsablauf. Faller hat mehr als 30 Jahre Erfahrung mit der Errichtung und dem Betrieb von Forschungseinrichtungen, zuletzt als technischer Leiter am Fraunhofer ISE.



Clemens Faller bei der Grundsteinlegung für das neue Institutsgebäude 2017. Als technischer Leiter sorgt Clemens Faller dafür, dass die technische Unterstützung reibungslos funktioniert – im Gebäude, in den Laboren und in der Werkstatt. Die Planung und die Erstellung des Institutsneubaus hat er ganz wesentlich mitgestaltet und gesteuert.

Herr Faller, unter Ihrer Regie entsteht der Institutsneubau mit einem Investitionsvolumen von rund 45 Millionen Euro. Welches waren die größten Herausforderungen? Gab es Momente der Verzweiflung?

Die größte Herausforderung war es, den Bedarf für die notwendige Funktionalität der Labore herauszufinden. Dazu musste ich die Bedürfnisse der Kolleginnen und Kollegen sehr genau erfassen. Nur so können wir eine Gebäude-Infrastruktur bereitstellen, die am Ende genau so funktioniert, wie wir sie brauchen. Schlimme Momente beim Bau sind immer die, wenn man feststellt, dass man in der Planung nicht alles bedacht hat oder wenn geforderte Funktionalitäten und Bedingungen im Planungsprozess nicht berücksichtigt wurden. Ein großer Wasserschaden hat uns finanziell und

zeitlich enorm nach hinten geworfen. Einigen Firmen mussten wir kündigen, einfach weil ihre Leistungen mangelhaft waren. Und es gab auch eine Firmeninsolvenz, und zwar zu einem Zeitpunkt, als wir deren Leistung dringend benötigt hätten.

Welche besonderen Anforderungen an die Gebäudetechnik stellt eine wissenschaftliche Institution?

Die Gebäudetechnik eines Forschungsinstituts muss unglaublich viel leisten: Sie muss sämtliche Betriebspunkte in den Laboren erfüllen können. Mein persönlicher Ansporn und auch das Ziel des Instituts war es, genau das zu erreichen – aber zusätzlich noch mit einem begrenzten

Investitionsvolumen und mit einem geringen ökologischen Impact, sprich mit sehr guten Wirkungsgraden.

Sie haben jahrzehntelange Erfahrung im technischen Gebäudemanagement: Welche Konstanten gibt es, wo herrscht die größte Dynamik?

Die Gebäudetechnik hat in den letzten Jahren eine enorme Entwicklung mitgemacht. Es gibt auch hier – nicht ganz überraschend – einen großen Schritt hin zur Digitalisierung. Das ist ein Prozess, der schon seit zehn Jahren zu beobachten ist, der aber erst jetzt bis ins Detail wirklich durchkommt: Die Technik fürs Gebäudemanagement wird intelligenter und sie wird stärker vernetzt.

> Die Boehringer Ingelheim microParts GmbH fertigt am Standort Dortmund.

>> Dr. Bastian Knabe (links) leitet dort die Abteilung Engineering Standard, Services and Innovations. Sein Mitarbeiter Dr. Manuel Kemmler (rechts) ist Senior Project Manager.



»Es ging ans Eingemachte«

Mit dem Inhalationsgerät RESPIMAT® ist dem Pharmaunternehmen Boehringer Ingelheim microParts GmbH vor einigen Jahren eine technische Innovation gelungen: Es arbeitet ohne Treibgas. Kernstück ist eine spezielle Mikro-Düse zur Zerstäubung des Medikaments. Um die Qualität dieses mikrofluidischen Bauteils bereits während der Fertigung exakt kontrollieren zu können, wurde Fraunhofer IPM beauftragt, ein optisches Inline-Prüfsystem zu entwickeln. Details dazu erzählen Dr. Bastian Knabe und Dr. Manuel Kemmler, die das Projekt bei der Boehringer Ingelheim microParts GmbH verantworten.

Wie kam es zur Zusammenarbeit mit Fraunhofer IPM?

Kemmler: Anfang des Jahres 2011 platzierten wir eine allgemeine Anfrage bei der Fraunhofer-Allianz VISION. Es ging um die Qualitätsprüfung eines mikrofluidischen Bauteils direkt in der Fertigung. Fraunhofer IPM hat uns dafür eine überzeugende Lösung vorgeschlagen.

Wie ging es dann weiter?

Kemmler: Nach der ersten Machbarkeitsstudie zur Detektion von Silikon per Autofluoreszenz ging es in den

Folgeprojekten ans Eingemachte: Wir wollten auch andere Materialien des Bauteils detektieren, verschiedene Kunststoffe, Glas und Silizium. Dafür gab es nichts am Markt. Fraunhofer IPM entwickelte für uns dann Systeme, die heute im Drei-Schicht-Betrieb bei uns Kontrollen machen.

Knabe: Wir haben inzwischen sehr viele Projekte miteinander gemacht. Inhaltlich ein Parforceritt durch unsere gesamte Wertschöpfung. Ich glaube, Fraunhofer IPM kennt die inzwischen fast vollständig.

Was muss ein Entwicklungspartner mitbringen?

Knabe: Wenn wir bei komplexen Problemen, die eine Sonderlösung brauchen, noch einmal eine Schippe drauflegen – das ist die Nische, in der wir Fraunhofer IPM einbinden. Bei der Herstellung von Medizinprodukten ist regulativ gefordert, dass Prüfsysteme auf Herz und Nieren geprüft werden, bevor sie produktiv gehen dürfen. Um das nachzuweisen, verwenden wir letztendlich wissenschaftliche Methoden: Hypothesen, Tests, Statistik. Und gerade dort sehe ich Vorteile bei der Zusammenarbeit mit Fraunhofer IPM: Wenn man vom Prinzip her wissenschaftliche Methoden anwenden muss und auf der anderen Seite auch Wissenschaftler sitzen, kommt man relativ schnell zusammen und kann relativ schnell notwendige Tests formulieren.



Das Inhalationsgerät RESPIMAT®: Die Boehringer Ingelheim microParts GmbH nutzt Messsysteme von Fraunhofer IPM zur automatisierten Qualitätsprüfung von Schlüsselkomponenten.



Die **Boehringer Ingelheim microParts GmbH** fertigt in Dortmund das RESPIMAT®-Produktportfolio. Der RESPIMAT® ist ein treibgasfreier Tascheninhalator, der seit 2019 zusätzlich in einer wiederverwendbaren Variante erhältlich ist. Mit einer Produktionskapazität von 45 Millionen Geräten stellen die rund 650 Mitarbeitenden in Dortmund exklusiv für Boehringer Ingelheim die Versorgung des Weltmarkts sicher. Die Hauptarbeitsschritte in der Herstellung sind dabei das Spritzgießen der Kunststoffteile, das Ätzen und Vereinzeln der Düsen sowie die Endmontage der Gerätevarianten inklusive Qualitätskontrolle.

Was entscheidet, ob ein Projekt zum Erfolg wird?

Knabe: Am wichtigsten ist, dass der Projektpartner ein echtes Interesse an den Problemen und an der Lösung hat. Man muss die Entwicklungsaufgabe, gerade wenn sie so schwierig ist, wirklich ernst nehmen und sich reinhängen – und sich am Ende auch für das Ergebnis verantwortlich fühlen. Nur dann ist ein Erfolg möglich.

Gibt es etwas, was die Zusammenarbeit mit Fraunhofer IPM für Sie besonders macht?

Kemmler: Für die Sonder- von der Sonderlösung, gerade in der Bildaufnahme und -verarbeitung, gibt es zu Fraunhofer IPM wenig vergleichbare Partner.

Knabe: Da wir im ständigen Kontakt miteinander sind, bekommen wir über die Messtechnik Berührungspunkte zu anderen Industriebranchen! Aus gemeinsamen Meetings nehmen wir relativ viel Gedankenfutter mit. Das ist etwas, was wir zwar nicht quantifizieren können, aber so woanders auf diesem hohen Niveau nicht erleben.

Inwiefern rechnen sich Investitionen in Messtechnik?

Kemmler: Man könnte meinen, neue Produkte setzen sich nur dann durch, wenn sie günstiger sind als das, was gerade auf dem Markt ist. Aber das ist nur bedingt richtig. Wir fertigen ein Medizinprodukt, und da spielt die Qualität eine herausragende Rolle. Generell ist es so: Wenn man ein Produkt qualitativ hochwertiger herstellt, kostet das normalerweise auch mehr Geld.

Knabe: Amortisation ist eine wichtige Größe; aber nicht die einzige. Es gibt auch Projekte, die ohne Amortisation gemacht wurden. Aber: Bei den Projekten, die wir zuletzt mit Fraunhofer IPM gemacht haben, traf beides zu – Amortisation und Qualitätssteigerung.

Vor welchen technologischen Herausforderungen steht die Pharma- und Medtech-Branche?

Knabe: Als wichtigstes Thema sehe ich die Nachhaltigkeit. Ich glaube, Nachhaltigkeit wird die Industrie in Zukunft noch sehr beschäftigen. Und ich glaube auch: Der Markt wird ein gutes Vorgehen von Firmen belohnen. Wir haben z.B. jetzt aktuell eine neue Version unseres Inhalators herausgebracht, der genau das zum Ziel hat – nachhaltiger zu sein: Er kann mehrfach verwendet werden und reduziert den CO₂-Footprint massiv. Für andere Hersteller wird die Frage nach Hygiene größer werden. Hier wird die Messtechnik auch ihren Beitrag leisten: Wie lässt sich Sterilität mit einfachen Mitteln sehr schnell feststellen?

Kemmler: Ein weiterer Trend ist, dass Software in der Messtechnik immer mehr an Bedeutung gewinnt. Heutzutage kommt da immer häufiger auch Künstliche Intelligenz mit ins Spiel. Die große Frage dabei ist: Wie validiert man solche Software im regulierten Umfeld? Die Art und Weise, wie bisher die Funktion von Software validiert wird, setzt immer darauf, dass ein Quellcode existiert, den man sichten kann. In der Welt der neuronalen Netze gibt es das aber nicht mehr. Hier muss eine andere Lösung gefunden werden.

GESCHÄFTSFELD PRODUKTIONSKONTROLLE



»Wir entwickeln maßgeschneiderte Mess- und Prüfsysteme für eine sich wandelnde Produktion.«

Für die Produktionskontrolle entwickelt Fraunhofer IPM optische Systeme und bildgebende Verfahren, mit denen sich Oberflächen prüfen und komplexe 3D-Strukturen in der laufenden Produktion präzise vermessen lassen, sodass Prozesse geregelt werden können. Die Systeme messen so schnell und so genau, dass kleine Defekte oder Verunreinigungen auch bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten erkannt und in Echtzeit klassifiziert werden. In Kombination mit (markierungsfreier) Einzelteilverfolgung wird eine 100-Prozent-Echtzeitkontrolle und die direkte Rückkopplung in die Produktion im Sinne von Industrie 4.0 möglich.

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.

Gruppe **Optische Oberflächenanalytik**

- ▶ Detektion und Klassifikation partikulärer Verunreinigungen
- ▶ Analyse filmischer Beschichtungen und Verunreinigungen
- ▶ Elementanalyse komplexer Mehrschichtsysteme

Gruppe **Geometrische Inline-Messsysteme**

- ▶ präzise Vermessung von Funktionsflächen im Produktionstakt
- ▶ optische Verzahnungsmessung
- ▶ dynamische Verformungsmessung



Dr. Daniel Carl

Abteilungsleiter

T +49 761 8857 - 549

daniel.carl@ipm.fraunhofer.de

Gruppe **Inline Vision Systeme**

- ▶ Oberflächeninspektion und Maßhaltigkeitsprüfung von Halbzeugen und Bauteilen
- ▶ Inspektion von Langprodukten
- ▶ markierungsfreie Bauteilidentifikation

< Mithilfe optischer Messtechnik lassen sich selbst sehr kleine Defekte auf Bauteiloberflächen zuverlässig detektieren.

GRUPPE OPTISCHE OBERFLÄCHENANALYTIK

PD Dr.-Ing. Albrecht Brandenburg, T +49 761 8857 - 306, albrecht.brandenburg@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkt der Gruppe ist die Entwicklung schlüsselfertiger Geräte für die Prüfung von Oberflächen. Wir nutzen verschiedene Eigenentwicklungen auf Basis von Fluoreszenzmesstechnik für die Reinheitsprüfung von Oberflächen und die Prüfung von Beschichtungen und Ölaufügen. Wir prüfen Bandwaren sowie komplex geformte Bauteile in der Produktion. Oberflächen beliebig geformter Bauteile werden ohne weiteres Handling im freien Fall des Bauteils mit einer bildgebenden Fluoreszenzmesstechnik vollständig erfasst. Zur berührungslosen geometrischen Vermessung und Analyse der Zusammensetzung nicht transparenter Schichten setzen wir auf Laserinduzierte Plasmaspektroskopie, die auch zur Überwachung von Laserbearbeitungsverfahren eingesetzt wird. Mit der Shortwave-Infrared-Analyse nutzen wir die spektrale Abhängigkeit von Absorptions- und Streueigenschaften zur Materialanalyse. Unsere Inline-Mikroskopie-Systeme prüfen Geometrie und Oberflächen von Mikrobauanteilen im Produktionstakt mit sehr hoher Genauigkeit, zum Beispiel für Medizinprodukte. Unsere langjährige Erfahrung bei der Systementwicklung umfasst optische Einheiten, Bilderfassung und Bildverarbeitung.



Gruppenleiter: PD Dr.-Ing. Albrecht Brandenburg

FLUORESZENZANALYSE FÜR DIE REINHEITSKONTROLLE UND BESCHICHTUNGSPRÜFUNG

- ▶ Auswertung von Position, Form und Menge filmischer Verunreinigungen im Produktionstakt
- ▶ bildgebende Messung von Prozesshilfsstoffen wie Ölen, Fetten oder Reinigungsmitteln (Nachweisgrenze bei Standardölen: 0,01 g/m²) sowie dünnen Beschichtungen.
- ▶ F-Camera: Sichtfeld einige cm², Auflösung 20 µm
- ▶ F-Scanner: Sichtfeld einige m², Auflösung 500 µm
- ▶ F-360°: Freifall-System, Auflösung 100 µm

INLINE-MIKROSKOPIE FÜR HOCHAUFLÖSENDE CHARAKTERISIERUNG KLEINER BAUTEILE

- ▶ Charakterisierung komplexer 3D-Mikrostrukturen
- ▶ Strukturfehler, Verunreinigungen, fehlerhafte Außenabmessungen oder Kratzer erkennen
- ▶ Wiederholgenauigkeit der Abstandsmessung im Submikrometerbereich
- ▶ Messmittelfähigkeit bei der Bestimmung von Bauteilabmessungen
- ▶ Taktrate rund eine Sekunde

LASERINDUZIERTE PLASMASPEKTROSKOPIE FÜR DIE ANALYSE VON BESCHICHTUNGEN

- ▶ berührungslose Materialanalyse an Oberflächen
- ▶ Dickenmessung mikrometerdünner funktionaler Schichten
- ▶ Überwachung von Laserstrukturierungs- und Laserreinigungsverfahren
- ▶ Nachweis von Beschichtungsbestandteilen bis in den ppm-Bereich



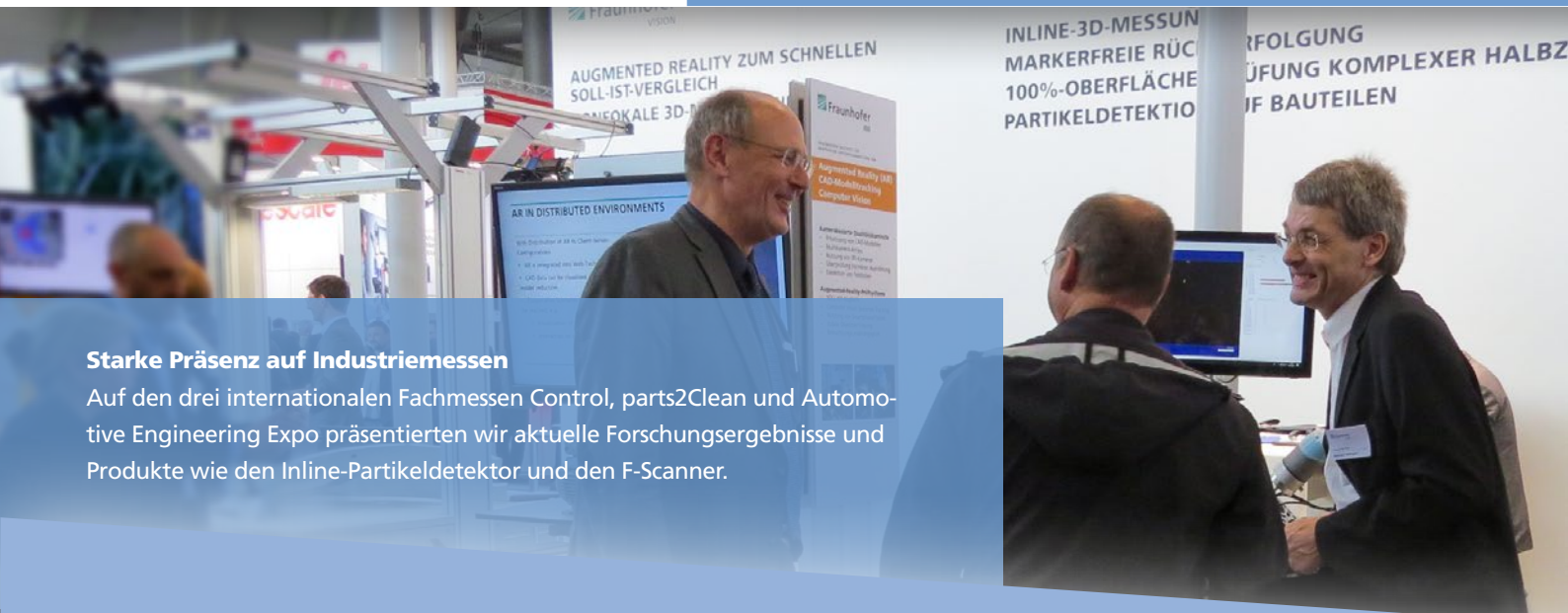
Prüfung der Oberflächenbeschichtung medizinischer Implantate

Ein besonders sensitives Sensorsystem ermöglicht jetzt die Prüfung von Beschichtungen medizinischer Implantate, die einer besonders exakten und zuverlässigen Prüfung bedürfen.



Sensor unterscheidet metallische und nichtmetallische Partikel

Für die Inline-Partikeldetektion wurde in Kooperation mit einem Industriepartner ein neuartiger Sensor entwickelt, der eine innovative Bildauswertung ermöglicht: Der Glanz metallischer Partikel wird zur Unterscheidung der Partikel genutzt. Der kompakte Sensor kann direkt auf Oberflächen aufgesetzt werden und kommuniziert drahtlos mit dem Steuergerät.



Starke Präsenz auf Industriemessen

Auf den drei internationalen Fachmessen Control, parts2Clean und Automotive Engineering Expo präsentierten wir aktuelle Forschungsergebnisse und Produkte wie den Inline-Partikeldetektor und den F-Scanner.

GRUPPE INLINE VISION SYSTEME

Dr. Tobias Schmid-Schirling, T +49 761 8857-281, tobias.schmid-schirling@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkt der Gruppe sind kundenspezifische Prüfsysteme, die Bauteiloberflächen während der Produktion mikrometergenau inspizieren. Die Multikamera-Systeme prüfen Qualitätsmerkmale der Bauteile mithilfe von schneller, hardwarenaher Bildverarbeitung auf Basis modernster Algorithmen. Unsere Inline-Systeme zur Qualitätsüberwachung von Bahnwaren und Langprodukten erkennen Produktionsfehler bei hohen Vorschubgeschwindigkeiten. Mit einem von uns entwickelten Freifall-Inspektionssystem sind wir in der Lage, komplex geformte Bauteile im Sekundentakt ohne weiteres Handling vollständig zu prüfen. Die hochgenauen Bilddaten zur Oberflächenstruktur nutzen wir gleichzeitig, um einen digitalen Fingerabdruck für jedes einzelne Bauteil zu erzeugen, der sich zur Rückverfolgung nutzen lässt. Ein solches markierungsfreies Track & Trace-Verfahren macht durch die Kombination mit individuellen Prüfdaten den Weg frei für die vollständige Digitalisierung von Produktionsprozessen im Sinne der Industrie 4.0.



Gruppenleiter: Dr. Tobias Schmid-Schirling

KONTINUIERLICHE 100-PROZENT-KONTROLLE

- ▶ Oberflächenkontrolle von Drähten, Kabeln, Bändern oder auch Rohren, Stangen und Profilen
- ▶ in Echtzeit bis 30 m/s
- ▶ Defekterkennung bis 50 µm in der Linie
- ▶ automatische Erkennung, Klassifizierung und Dokumentation der Fehler

INSPECT 360°: BAUTEILPRÜFUNG IM FREIEN FALL

- ▶ 100-Prozent-Prüfung der Bauteiloberfläche auf Geometriefehler und Oberflächendefekte
- ▶ Inspektion unterschiedlicher Bauteile in der Linie ohne spezifisches Handling und Umrüstaufwand
- ▶ Fehler größer als 100 µm im Sekundentakt detektierbar

TRACK & TRACE FINGERPRINT: MARKIERUNGSFREIE BAUTEILRÜCKVERFOLGUNG

- ▶ sichere bildbasierte Rückverfolgung von Massenbauteilen in Chargen von vielen Millionen Teilen
- ▶ robust gegenüber lokalen Oberflächenbeschädigungen und -verunreinigungen
- ▶ kleine Signaturen (wenige kB) ermöglichen schnelle Identifikation im Produktionstakt



Sensorsystem erlaubt markierungsfreie Rückverfolgung im Automobilbereich

Mit Pilotinstallationen für die individuelle Rückverfolgung von Bauteilen per Track & Trace Fingerprint ermöglichen wir verschiedenen Kunden in der Automobilindustrie den Abgleich von jeweils bis zu mehreren hunderttausend Bauteilen im Produktionsumfeld.



Detektion von Mikrodefekten in Feinstdraht

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Gruppe entwickelten ein Feinstdraht-Inspektionssystem für die Überprüfung von Drähten mit einem Durchmesser zwischen 10 und 100 μm . Solche ultrafeinen Drähte kommen u. a. in Elektronik- und Filteranwendungen zum Einsatz.



Prüfung komplexer Bauteile im freien Fall

Im Rahmen einer Studie an additiv gefertigten Bauteilen für BMW gelang es dem Team, die Einsatzfähigkeit eines eigens zur Prüfung komplexer Bauteile entwickelten Systems zu demonstrieren. Das Multi-Kamerasystem ermöglicht die kontaktlose 100-Prozent-Prüfung von Textur und Geometrie der Bauteile im freien Fall.

GRUPPE GEOMETRISCHE INLINE-MESSSYSTEME

🗨 Dr. Alexander Bertz, T +49 761 8857-362, alexander.bertz@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkt der Gruppe ist die Entwicklung von Messsystemen, die sowohl Geometrie- als auch 3D-Oberflächenstrukturdaten komplexer Bauteile in der Produktionslinie in Echtzeit bereitstellen können – und zwar berührungslos und hochgenau gemessen. Dazu kombinieren wir modernste optische Messtechniken wie die Digitale Holographie oder die Speckle-Korrelation mit extrem schnellen Auswerteverfahren. So entstehen optische Systeme, die es erstmals ermöglichen, z. B. Formabweichung in Verzahnungsgeometrien flächig binnen weniger Sekunden zu erfassen, Werkstücke hochgenau in der Werkzeugmaschine zu vermessen oder kleinste Bauteilverformungen und Rissbildungen an Bauteilen unter Belastung zu erkennen.



Gruppenleiter: Dr. Alexander Bertz

INLINE-BAUTEILPRÜFUNG

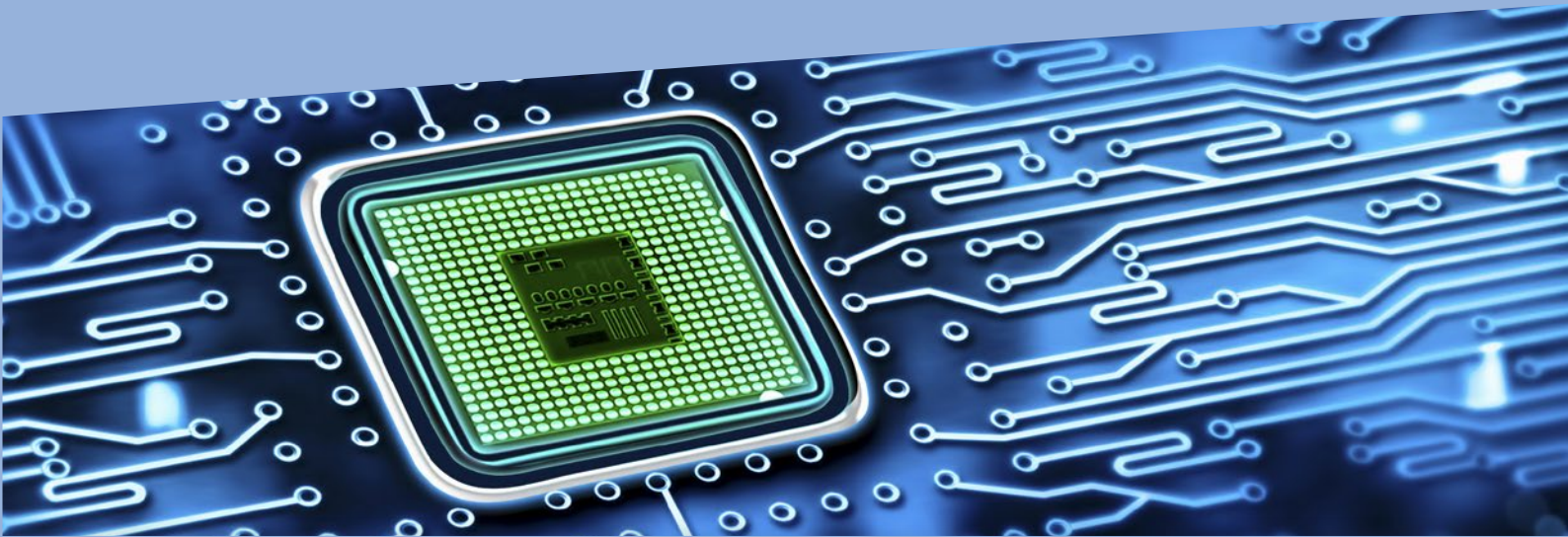
- ▶ Topographiemessung von Präzisionsbauteilen
- ▶ Messfeldgröße applikationsspezifisch skalierbar (15 × 15 mm² bis 190 × 150 mm² aktuell verfügbar)
- ▶ Messgenauigkeit axial unter 0,2 µm, lateral abhängig von Bildfeldgröße und Kameraoption 3 µm bis 30 µm
- ▶ Messzeit unter 0,1 s bis zum 3D-Bild mit 10 Mio. Punkten
- ▶ Arbeitsabstand flexibel bis ca. 300 mm, mechanisches Fokussieren entfällt

VERZÄHNUNGSMESSUNG

- ▶ 100-Prozent-Kontrolle der gesamten Verzahnung in wenigen Minuten
- ▶ Einzelpunkt-Messgenauigkeit kleiner als 1 µm
- ▶ Gerad- und Schrägverzahnungen möglich
- ▶ aktive Unterdrückung von Mehrfachreflexionen an den Zahnflanken
- ▶ berührungslose Messung auch an bewegten Objekten

DYNAMISCHE VERFORMUNGSMESSUNG

- ▶ zeitaufgelöste bildgebende Messung mit bis zu 1 kHz Bildrate
- ▶ Bildfeld von 10 × 10 mm²
- ▶ Messgenauigkeit kleiner als 0,5 µm
- ▶ berührungs- und markierungsfrei bis 1000 °C
- ▶ dehnungsgeregelte Belastungsmessung und Rissverhalten
- ▶ Ermüdungsversuche nach Norm in nur einer Stunde Messzeit
- ▶ Elektronische Speckle-Interferometrie (ESPI) und Digital Image Correlation (DIC)



Höchste Präzision und Geschwindigkeit bei der Vermessung von Microbumps

Ein holographischer Flächensensor vermisst elektronische Microbump-Strukturen erstmalig mit einer Höhengenaugigkeit von unter $0,2 \mu\text{m}$ (3σ) und einer lateralen Abtastung von unter $3 \mu\text{m}$. Die Datenrate von 150 Millionen 3D-Punkten pro Sekunde ermöglicht sehr hohe Taktraten.



Digital-holographischer Sensor prüft Hochstromplatinen

Mit einem in der Gruppe entwickelten, neuartigen digital-holographischen Sensor können komplette Platinen bis zu einer Größe von $190 \times 150 \text{ mm}^2$ in einer einzigen Messung vollflächig und mit Sub-Mikrometer-Genauigkeit geprüft werden. Ein typisches Beispiel sind Hochstromplatinen, die in Windkraftanlagen zum Einsatz kommen.



Internationale wissenschaftliche Anerkennung

Auf der Tagung »Digital Holography« der Optical Society (OSA) in Bordeaux präsentierte Fraunhofer IPM im Rahmen einer Invited Speech erstmals Ergebnisse zur Langzeitstabilität eines linienintegrierten Holographie-Sensors. Das zugehörige Tagungspaper »Inline application of digital holography« stieß international auf große Aufmerksamkeit.



Neue Antriebe – neue Qualitätssicherung

Fast alle deutschen Automobilhersteller verkaufen inzwischen Serienfahrzeuge mit elektrischen bzw. hybriden Antrieben. Dieser tiefgreifende Wandel in der Fahrzeugproduktion verändert nicht nur Wertschöpfungs- und Produktionsstrukturen, sondern stellt auch neue Anforderungen an die Qualitätssicherung. Fraunhofer IPM entwickelt dafür die passenden optischen Inspektionssysteme.

Der tiefgreifende Wandel in der Mobilität führt bei Automobilherstellern zu kurzen Entwicklungszyklen und kleinen Losgrößen. Das stellt die Qualitätssicherung in der Automobilbranche vor große Herausforderungen. Die deutsche Automobilindustrie geht den Wandel in der Produktion inzwischen beherzt an – stellvertretend für andere Branchen, in denen ähnliche Umwälzungen bevorstehen. Schon seit Jahren befasst sich Fraunhofer IPM intensiv mit besonders anspruchsvollen Inspektionsaufgaben im Automotive-Bereich – vor allem für die Zuliefererindustrie. Bei den Projekten geht es um die Qualitätssicherung von Leistungselektronikbauteilen, Verbindungselementen sowie von Elektromotoren und deren Gehäusen.

Leistungselektronik im Auto – sehr spezifisch und trotzdem robust

Im Elektrofahrzeug sorgt Leistungselektronik dafür, dass Batterie, Motor, Steuergeräte, Wandler und Hilfsaggregate miteinander verbunden sind. Fällt diese zentrale Komponente aus, geht beim Elektrofahrzeug gar nichts mehr. Qualitätskriterien wie Robustheit, Lebensdauer oder Leistungsdichte rücken daher in den Vordergrund. Denn um Gewicht und Bauraum zu sparen, wird Leistungselektronik z. B. ins Gehäuse des Elektromotors integriert. Ein denkbar ungünstiger Platz für Elektronik: Dort wirken starke Vibrationen und große Hitze auf die Bauteile ein. Das muss die Elektronik aushalten – ein Autoleben lang.

Fraunhofer IPM entwickelt zur Qualitätssicherung von Leistungselektronik die passenden Inspektionssysteme. So detektiert z. B. das HoloTop-Sensorsystem bei DBC-Bauteilen (DBC, direct bonded copper) nicht nur mögliche Ablösungen der leitfähigen Schicht, sondern auch Partikel, Punktdefekte oder Risse – submikrometergenau direkt in der Linie. Der optische 3D-Sensor inspiziert und klassifiziert eine Fläche von $200 \times 150 \text{ mm}^2$ in unter einer halben Sekunde mithilfe der digitalen Mehrwellenlängen-Holographie. Neben rein geometrischen Fehlern sind es oft aber auch kleinste Verunreinigungen, die in der Elektronik Probleme bereiten, wie z. B. winzige Schmutzpartikel oder filmische Schichten auf Kupferfolie. Fluoreszenz-Messsysteme von Fraunhofer IPM wie F-Scanner oder F-Camera erkennen solche qualitätsmindernden Verschmutzungen direkt in der Produktion – schnell und berührungslos.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Leistungselektronik ist die Passgenauigkeit der Gehäuse. Wärme, die bei Leistungselektronik stets anfällt, wird typischerweise über thermisch-kontaktierte Gehäuseflächen an Kühlkörper abgeführt. Fraunhofer IPM prüft solche Kontaktflächen auf Oberflächenbeschädigungen per Bilderfassung im freien Fall: Das Freifall-Inspektionssystem Inspect 360° erkennt Spanrückstände, Pins, Löcher oder Riefen, die für den optimalen

< HoloCut in der Werkzeugmaschine: Der 3D-Sensor wird wie ein Werkzeug von der Spindel gegriffen und zur Messung einfach an das Werkstück herangeführt.

2D- UND 3D-INSPEKTIONSSYSTEME von Fraunhofer IPM werden für harte Produktionsbedingungen entwickelt. Die Systeme liefern unseren Industriepartnern hochpräzise Messdaten in Echtzeit – zum Beispiel zur Regelung neuer, noch nicht eingefahrener Herstellungsprozesse, wie sie durch den Wandel in der Automobilbranche immer häufiger vorkommen. Diese Eigenschaften erreichen wir durch die gezielte Entwicklung optischer Messtechniken für verschiedenste Anwendungen in der Produktion und durch die Kombination mit extrem schnellen Auswerteverfahren, sodass selbst kürzeste Produktionszyklen 100-Prozent geprüft werden können. Bei der Systementwicklung stützen wir uns auf langjährige Erfahrung in der Optik, Elektronik, Bildfassung und Datenverarbeitung. So entstehen schlüsselfertige Inspektionssysteme für die Produktion.

thermischen Kontakt problematisch sind, zuverlässig in der Fertigungslinie – und zwar ganz ohne aufwändiges Handling.

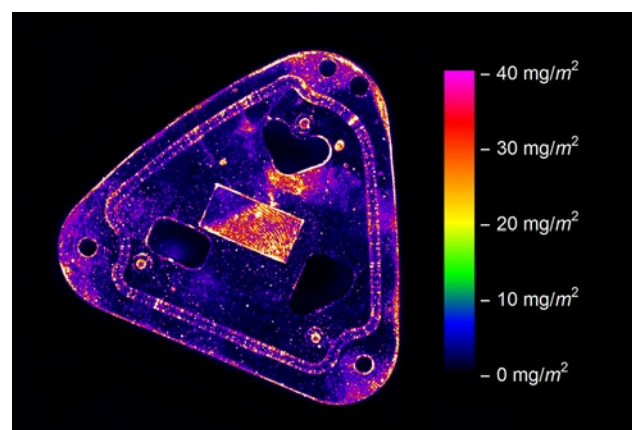
Einfache Verbindungselemente – hochspezialisierte Massenbauteile

Ähnlich hohe Anforderungen in puncto Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit werden oft auch an kostengünstige Massenbauteile gestellt. Das mag zunächst überraschen, denn solche Kleinteile haben meist nur einen geringen Wert. Trotzdem sind es hochspezialisierte Bauteile. Gerade Verbindungselemente haben mitunter sehr kleine Toleranzen. Auch Low-Cost-Bauteile erfüllen im Fahrzeug wichtige Funktionen und müssen daher kostengünstig auf Maßhaltigkeit und Oberflächendefekte geprüft werden. Bei diesen Inspektionaufgaben können Freifall-Inspektionssysteme von Fraunhofer IPM, wie z. B. Inspect 360°, ihren Vorteil gegenüber herkömmlichen Bildverarbeitungslösungen ausspielen: Sie kommen ohne teure Handling-Systeme aus.

Auch das muss passen – Gehäuse, Verzahnungen, Bohrungen, Dichtflächen

Elektrofahrzeuge sind viel leiser als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Schon kleinste Oberflächenfehler, z. B. bei Verzahnungen, führen daher zu hörbaren Störgeräuschen, die früher gar nicht aufgefallen wären. Auch hier kann die digitale Mehrwellenlängen-Holographie die notwendige Exaktheit von Geometrie und Oberfläche überprüfen. Speziell an die Appli-

kation angepasste kompakte Sensorköpfe erfassen die Qualität von Dichtflächen, Bohrungen oder auch Verzahnungen direkt im Bearbeitungszentrum. So ist ein eventuelles Nacharbeiten ohne erneutes Einspannen des Werkstücks möglich. Der Sensor wird wie ein Werkzeug von der Spindel gegriffen und zur Messung einfach an das Werkstück herangeführt. Eine weitere typische Aufgabenstellung, z. B. bei Batteriegehäusen, ist die Detektion von Partikeln oder filmischen Verunreinigungen. Letztere verschlechtern u. a. die thermische Anbindung zum Batteriestack. F-Scanner und F-Camera erfassen zuverlässig die Reinheit solcher Oberflächen und können so diesen störenden Effekt verhindern.



F-Scanner und F-Camera: Bildgebende Fluoreszenz-Messsysteme detektieren filmische und partikuläre Restverschmutzung quantitativ. Die Falschfarbendarstellung ermöglicht eine schnelle Analyse der Bauteiloberfläche.



GESCHÄFTSFELD
OBJEKT- UND FORMERFASSUNG

»Wir entwickeln optische Messsysteme für ein effizientes Infrastruktur-Monitoring.«

Im Geschäftsfeld »Objekt- und Formerfassung« bedienen wir die gesamte Prozesskette für die Erfassung, Referenzierung und Visualisierung der Form und Lage von Infrastruktur-Objekten. Dazu entwickeln wir Laserscanner und maßgeschneiderte Beleuchtungs- und Kamerasysteme. Unsere Systeme messen mit hoher Geschwindigkeit und Präzision insbesondere von bewegten Plattformen aus. Speziell entwickelte Software wertet die Messdaten vollautomatisiert aus und interpretiert sie. Dazu nutzen wir Techniken aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) wie beispielsweise »Deep Learning«. Anwendungsspezifisch aufbereitete und visualisierte Daten liefern Experten eine solide Entscheidungsgrundlage – zum Beispiel, wenn es um die Planung von Infrastrukturmaßnahmen geht.

Besonderes Augenmerk liegt auf der Geschwindigkeit, Robustheit und langen Lebensdauer der Systeme. Objekte und Formen werden über einen weiten Größenbereich dreidimensional erfasst: von wenigen Zentimetern bis in den 100-Meter-Bereich. Die Messsysteme sind weltweit im Einsatz – zur Überwachung von Bahninfrastruktur ebenso wie zur Vermessung von Straßenoberflächen. Neue Anwendungsbereiche sind die mobile Datenerfassung aus der Luft und unter Wasser.



Prof. Dr. Alexander Reiterer
Abteilungsleiter

T +49 761 8857 - 183

alexander.reiterer@ipm.fraunhofer.de

Gruppe **Mobiles terrestrisches Scanning**

- ▶ Systeme für die Bahn
- ▶ Systeme für die Straße
- ▶ Systeme für meteorologische Anwendungen (u. a. Wind-LiDAR)
- ▶ schnelle und robuste Komplettsysteme
- ▶ Software für die Datenauswertung

Gruppe **Airborne- und Unterwasser-Scanning**

- ▶ Systeme für autonome Flugplattformen
- ▶ Systeme für Unterwasseranwendungen
- ▶ Miniaturisierung von Messsystemen
- ▶ Systeme auf der Basis von Low-Cost- und Consumer-Produkten (u. a. Smartphones)
- ▶ Software für die Datenauswertung

Gruppe **Smarte Datenvisualisierung**

- ▶ Echtzeit-Visualisierung räumlicher Daten
- ▶ Erstellung synthetischer Messdaten (u. a. für das maschinelle Lernen)
- ▶ flexible Funktionsbibliotheken
- ▶ plattformunabhängige Systeme

GRUPPE MOBILES TERRESTRISCHES SCANNING

Prof. Dr. Alexander Reiterer, T +49 761 8857 - 183, alexander.reiterer@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkt der Gruppe ist die Entwicklung optischer Messsysteme basierend auf Lichtlaufzeitmessung für den mobilen Einsatz auf Schienen- und Straßenfahrzeugen. Die Systeme bestimmen Abstände zu Objekten schnell und submillimetergenau. Kombiniert mit einer Scaneinheit erfassen sie dreidimensionale Objekt-Geometrien. Zur präzisen Positions- und Lageerkennung des Messsystems entwickeln wir spezielle kamerabasierte Verfahren, die – eigenständig oder in Kombination mit konventioneller Inertialsensorik – eine Zuordnung der Messdaten zu einem festen lokalen oder globalen Koordinatensystem ermöglichen. Unsere robusten Messsysteme sind auf Straßen- und Schienenmessfahrzeugen oder mobilen Robotersystemen installiert. Sie vermessen und prüfen Bahninfrastruktur, erfassen Straßenoberflächen und inspizieren Tunnelbauten mit hoher Präzision. Zur vollautomatisierten Analyse und Klassifizierung der 2D- und 3D-Messdaten entwickeln wir selbstlernende Algorithmen u. a. auf der Basis von »Deep Learning«.



Gruppenleiter: Prof. Dr. Alexander Reiterer

SYSTEME FÜR DIE BAHN

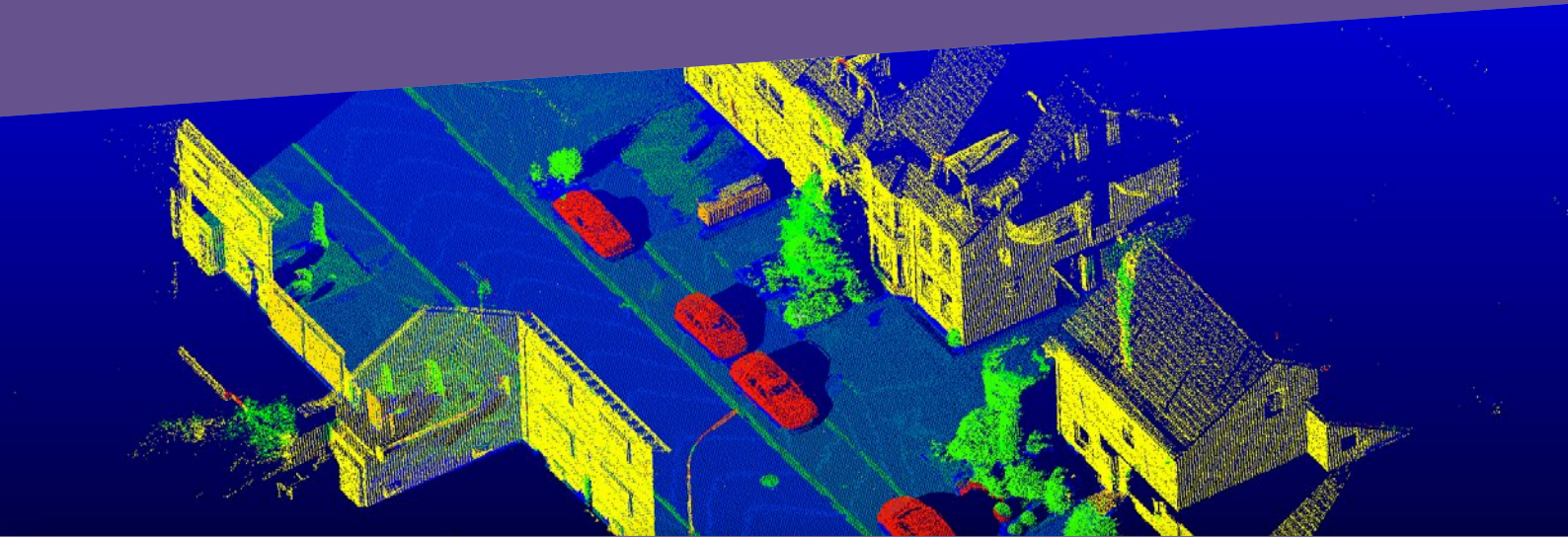
- ▶ Erfassen von Bahnoberleitungen bei bis zu 250 km/h
- ▶ Lichtraumüberwachung von Bahnstrecken mit einer Präzision von 3 mm
- ▶ Abtasten der Umgebung mit bis zu 800 Profilen pro Sekunde
- ▶ Messung des Schienenprofils mit einer Präzision von 0,3 mm
- ▶ Tunnelinspektion: 360°-3D-Geometrieerfassung, Rissdetektion im Millimeterbereich, Feuchtedetektion

SYSTEME FÜR DIE STRASSE

- ▶ Messung der Querebenheit mit einer Präzision von 0,3 mm
- ▶ Aufnahme von zwei Millionen Messpunkten pro Sekunde
- ▶ Erfassung von Straßenkorridoren bis 300 m Breite mit einer Präzision von 3 mm
- ▶ Rissdetektion in Straßenoberflächen bei Fahrgeschwindigkeiten von 80 km/h mit einer Auflösung von 1 mm

AUTOMATISIERTE DATENINTERPRETATION

- ▶ vollautomatische Interpretation von 2D- und 3D-Messdaten, u. a. durch »Deep Learning«
- ▶ Implementierung von cloudbasierten Lösungen für die Datenverarbeitung
- ▶ Aufbau umfangreicher Trainingsdatensätze für das automatisierte Anlernen von Algorithmen



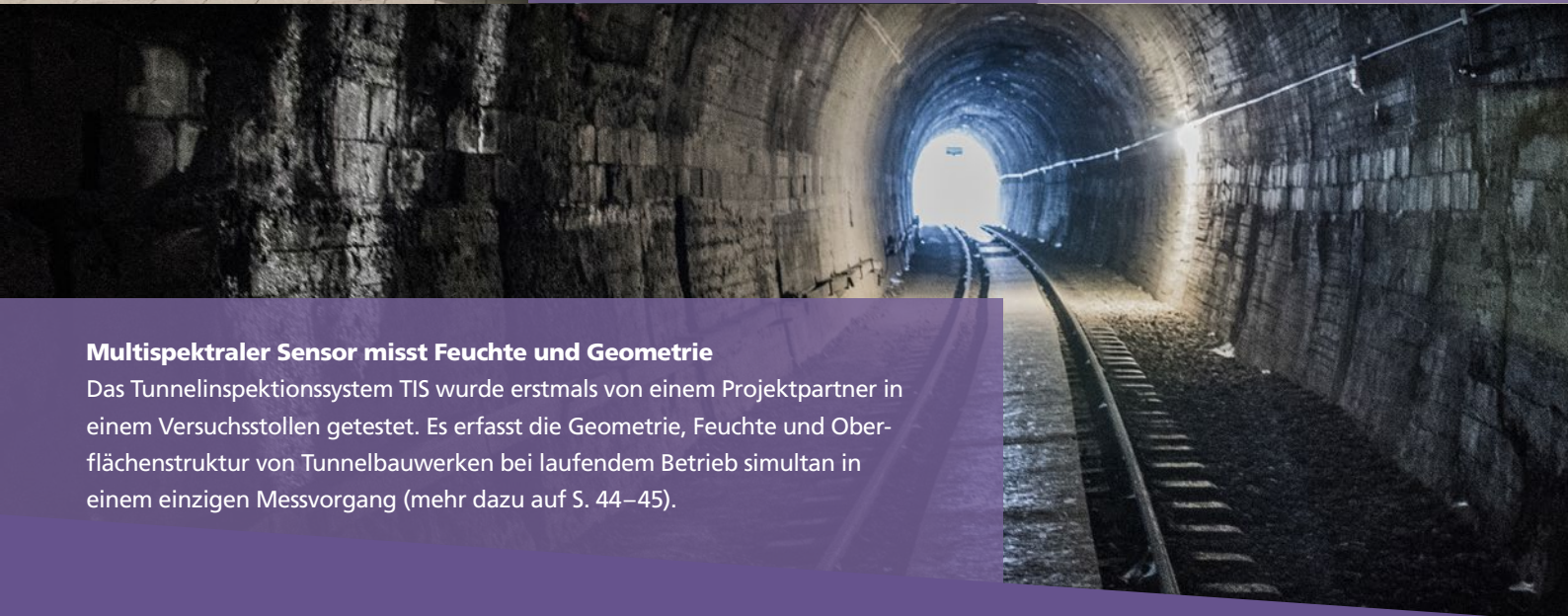
Vollautomatisierte Klassifizierung von 3D-Messdaten

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Gruppe erhielten den Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2019 für die 3D-AI-Software mit einer einzigartigen Prozesskette zur automatischen Klassifizierung von 3D-Messdaten. Das System wird u. a. von der Deutschen Telekom und STRABAG eingesetzt (mehr dazu auf S. 20).



Auslieferung eines Mobile-Mapping-Fahrzeugs

Im Auftrag der Geotechnik GmbH baute Fraunhofer IPM ein Mobile-Mapping-Fahrzeug auf, das bei Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 100 km/h digitale 3D-Daten der Straßentopologie und -topographie für die Planung von Infrastruktur erzeugt.



Multispektraler Sensor misst Feuchte und Geometrie

Das Tunnelinspektionssystem TIS wurde erstmals von einem Projektpartner in einem Versuchsstollen getestet. Es erfasst die Geometrie, Feuchte und Oberflächenstruktur von Tunnelbauwerken bei laufendem Betrieb simultan in einem einzigen Messvorgang (mehr dazu auf S. 44–45).

GRUPPE AIRBORNE- UND UNTERWASSER-SCANNING

Simon Stemmler, T +49 761 8857-211, simon.stemmler@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkte der Gruppe sind die Entwicklung besonders leichter Messsysteme für den Einsatz auf Drohnen (UAV) sowie die Anpassung von LiDAR-Messverfahren für die 3D-Vermessung großer Strukturen unter Wasser. Unsere UAV-Scanner-Systeme nutzen Lichtlaufzeitverfahren, um mit hoher Genauigkeit Abstände zu Objekten zu messen und in Kombination mit Kameras dreidimensionale Strukturdaten zu generieren. Damit eignen sie sich für das Zustandsmonitoring von Baustellen, Gebäuden, Brücken oder Vegetationsflächen. Installiert auf Unterwasser-Robotern (Remotely Operated Vehicle, ROV) werden unsere LiDAR-Systeme in Zukunft Unterwasser-Bauwerke wie zum Beispiel Offshore-Windkraftanlagen oder Pipeline-Fundamente überwachen. Weitere Arbeiten der Forschungsgruppe zielen auf die Entwicklung schlanker 3D-Messtechniklösungen auf Basis von Low-Cost- und Consumer-Produkten wie z. B. Smartphones.



Gruppenleiter: Simon Stemmler

SYSTEME FÜR DIE LUFT

- ▶ Messsysteme (Laserscanner und Kameras) mit einem Gesamtgewicht von unter 2,5 kg
- ▶ Messpräzision von 1 cm
- ▶ typische Messdistanzen bis 100 m
- ▶ Messfrequenzen bis 60 kHz
- ▶ Positionsbestimmung mittels visueller Odometrie, Positionierungs- und Orientierungssystemen

SYSTEME FÜR DIE VERMESSUNG UNTER WASSER

- ▶ 3D-Vermessung mit Subzentimeterauflösung auch in trübem Wasser
- ▶ beleuchtungs- und tiefenunabhängige Messungen
- ▶ Messfrequenz bis 40 kHz
- ▶ Scanfrequenz 800 Hz
- ▶ Messdistanz bis zu 40 m (abhängig von Trübung des Wassers)
- ▶ stationäre und mobile Vermessung

DATENAUFBEREITUNG

- ▶ Fusion von 3D- und 2D-Daten samt Positionierung und Texturierung
- ▶ Ableitung von Metadaten aus texturierten 3D-Daten
- ▶ automatisierte Datenauswertung, u. a. durch »Deep Learning«
- ▶ Automatisierung von Vermessungsaufgaben



Kameras erfassen Pflanzenzustand für die Landwirtschaft

Im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts »Cognitive Agriculture« (COGNAC) wurde ein Kamerasystem zur schnellen und hochauflösenden Multispektralaufnahme aufgebaut. Die Kameras sollen den Zustand von Feldpflanzen erfassen. In der Vegetationsperiode 2020 können erste Tests erfolgen.



Geopositionierung und Digitalisierung der Infrastruktur am Bau

Für die Digitalisierung von Infrastruktur (z. B. bei der Erfassung von Bauelementen) entwickelte die Gruppe eine Anwendung für mobile Geräte, die eine 3D-Echtzeit-Rekonstruktion aus Stereokamerabildern und – basierend auf »Deep Learning« – eine automatisierte Datenanalyse ermöglicht.



Detektion explosiver Kampfmittelrückstände in Gewässern

Im Eurostars-Projekt LUXOR arbeitet das Team seit Ende 2019 an der Weiterentwicklung des Unterwasser-Laserscannersystems ULI für die Detektion explosiver Kampfmittelrückstände. Der Scanner soll zukünftig aus sicherer Entfernung 3D-Bilder von Minen, Bomben oder Torpedos am Boden der Gewässer generieren.

GRUPPE SMARTE DATEN-VISUALISIERUNG

Prof. Christoph Müller, T +49 761 8857-236, christoph.mueller@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkt der Gruppe ist die maßgeschneiderte Visualisierung räumlicher Messdaten. Smarte Datenvisualisierung schafft die Voraussetzung, komplexe Messergebnisse schnell zu erfassen und daraus ziel-sicher Handlungen abzuleiten. Dazu entwickeln wir interaktive Applikationen zur Navigation in aufbereiteten Messdaten, die komplexe Analysen und Entscheidungsprozesse visuell unterstützen. Je nach Anwendungsfall bedarf es unterschiedlichster Visualisierungsvarianten und geeigneter Plattformen. Überall dort, wo Prozesse interaktiv nachgeregelt werden sollen, müssen Messergebnisse in Echtzeit visualisiert werden. Für das optimierte Handling umfangreicher Messdaten entwickeln wir daher Algorithmen und Methoden zur smarten Datenkonzentration. Damit schaffen wir die Voraussetzung für den Einsatz etablierter und zukünftiger Messtechnik auf neuen Gebieten.

Insbesondere für mobile Geräte mit limitierter Rechenleistung müssen Messdaten bereits während der Erfassung reduziert werden, um sie auswerten und anschließend visualisieren zu können. Die Möglichkeit, Messdaten auf mobilen Geräten zu visualisieren, schafft die Voraussetzung dafür, Qualitäts- und Vollständigkeitskontrollen bereits während der Datenaufnahme durchzuführen. Profundes Wissen rund um die zugrundeliegenden Daten und die Bildgenerierung aus 3D-Modellen nutzen wir darüber hinaus, um synthetische Trainingsdaten zu erstellen – beispielsweise für eine KI-basierte Objekterkennung. Damit wiederum legen wir gleichzeitig die Grundlage für eine iterative Optimierung der Messtechnik im Hinblick auf eine spätere maschinelle Dateninterpretation.



Gruppenleiter: Prof. Christoph Müller

VISUALISIERUNG

- ▶ Darstellung massiver Punktwolken
- ▶ Echtzeit-Rendering mit mehr als 20 Frames pro Sekunde
- ▶ diverse Visualisierungstechniken zur intuitiven Darstellung komplexer Sachverhalte, wie z. B.
 - Beleuchtungsberechnung auf visuell in Echtzeit rekonstruierter Oberfläche zur Erkennung von Strukturen
 - Kanten-Färbung zur visuellen Trennung von Entitäten in der Punktwolke
 - Falschfarben-Darstellung weiterer Datenkanäle der Messung (Intensität, Hit-Count) oder in Echtzeit abgeleiteter Sachverhalte (Entfernung, Höhe, Zerklüftung der Oberfläche)

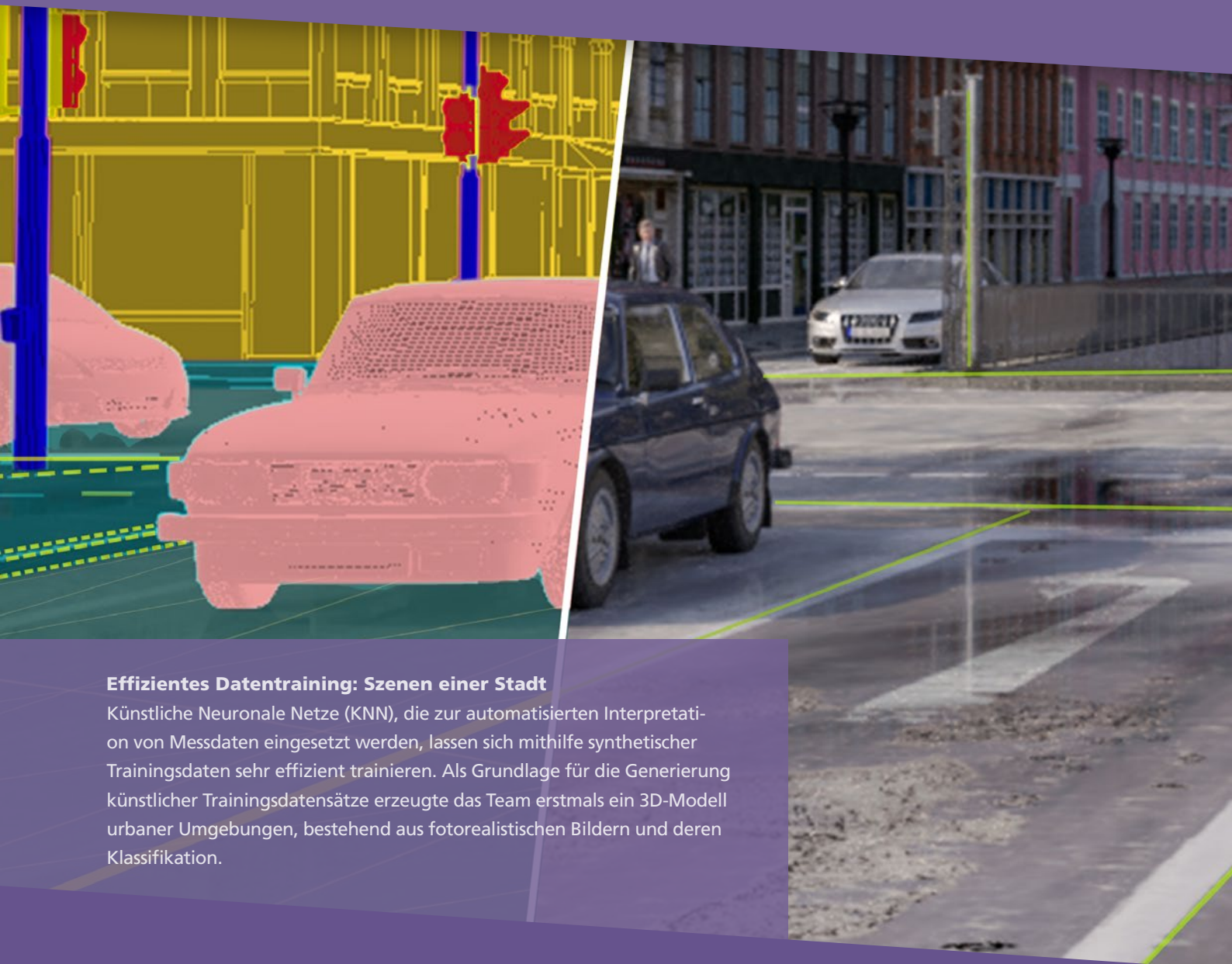
SYNTHETISCHE TRAININGSDATEN

- ▶ Erstellung von 3D-Szenen inkl. Materialeigenschaften, Beleuchtungssituationen, Wetterphänomenen, dynamischen Eigenschaften
- ▶ algorithmische Erzeugung von 3D-Modellen aus parametrisierbaren Bausteinen
- ▶ Erstellung simulierter Messdaten: fotorealistische Bilder, 3D-Punktwolken



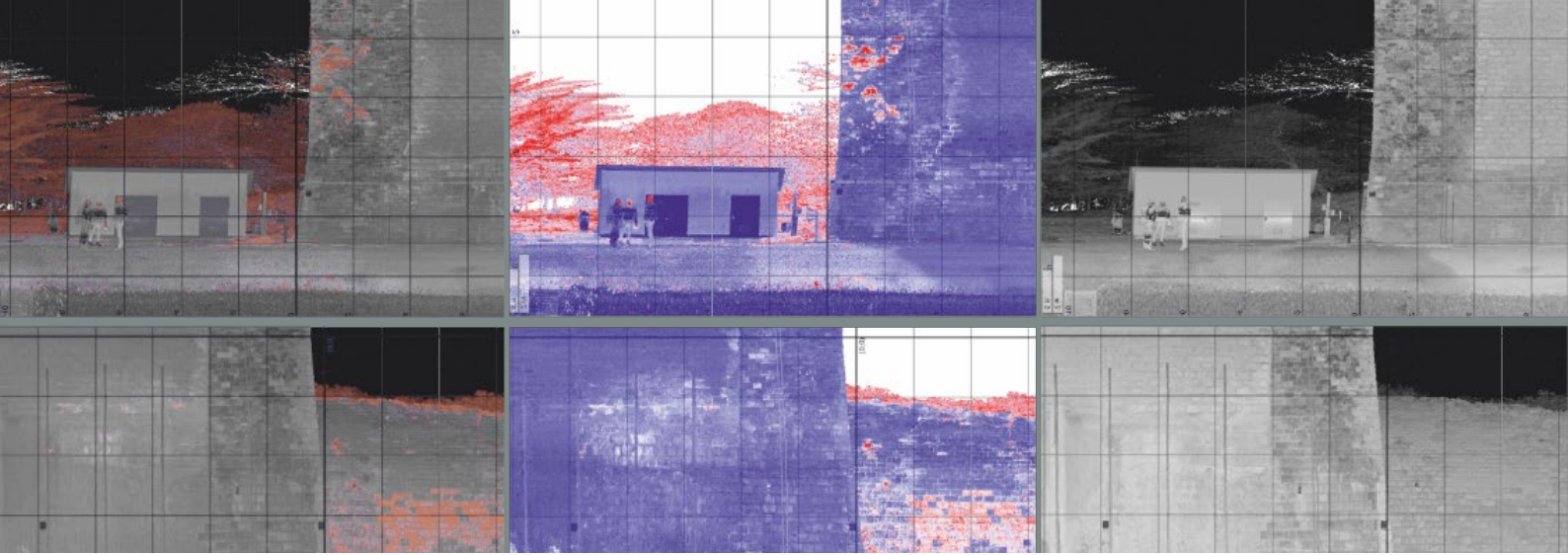
Interaktive Darstellung von 3D-Punktwolken

Im Projekt MultiVis wurde eine Software zur interaktiven Darstellung unstrukturierter Punktwolken entwickelt, die mit mehr als 20 Frames pro Sekunde eine hohe Darstellungsqualität erzielt. Unterschiedliche Arten der Visualisierung sind möglich.



Effizientes Datentraining: Szenen einer Stadt

Künstliche Neuronale Netze (KNN), die zur automatisierten Interpretation von Messdaten eingesetzt werden, lassen sich mithilfe synthetischer Trainingsdaten sehr effizient trainieren. Als Grundlage für die Generierung künstlicher Trainingsdatensätze erzeugte das Team erstmals ein 3D-Modell urbaner Umgebungen, bestehend aus fotorealistischen Bildern und deren Klassifikation.



Multispektraler Laserscanner erkennt Feuchte im Tunnel

Feuchte ist neben Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit ein wichtiger Parameter bei der Zustandsüberwachung von Tunnelbauwerken. Fraunhofer IPM hat seinen Clearance Profile Scanner CPS, der zur millimetergenauen Vermessung von Bahnstrecken eingesetzt wird, nun zusätzlich mit einem multispektralen Phasenscanner ausgerüstet. Der CPS² misst nun zusätzlich zur Geometrie auch die Feuchte der erfassten Objekte.

Allein in Deutschland müssen über vierhundert Straßen-, Eisenbahn- und U-Bahn-Tunnel regelmäßig überprüft werden – einige davon sind viele Jahrzehnte alt. Die Kosten für Wartung und Instandhaltung der Tunnel reichen Jahr für Jahr an die Milliardengrenze. Umso erstaunlicher ist es, dass die Zustandserfassung der Bauwerke heute noch immer weitgehend manuell erfolgt und eine Vollsperrung des Bauwerks erfordert. Die gemessenen Daten sind aufgrund der verschiedenen Messmethoden heterogen und liegen nicht immer digital vor. Heute zum Teil schon eingesetzte mobile Laserscanner versprechen Abhilfe, denn sie haben zahlreiche Vorteile gegenüber den traditionellen Messverfahren: Sie sind schnell, präzise, beleuchtungsunabhängig und liefern digitale, ortsreferenzierte Messdaten.

Erster multispektraler Phasenscanner

Während für die grobmaschige Erfassung von Objekten in der Regel LiDAR-Lösungen (Light Detection and Ranging) auf Basis des Pulslaufzeitverfahrens (Time of Flight, ToF) verwendet werden, setzt Fraunhofer IPM beim CPS auf das Phasenvergleichsverfahren. Mit einer relativen Messgenauigkeit von 1 bis 5 mm bei einer Messrate von 2 MHz erweist es sich als deutlich leistungsfähiger als ToF-basierte Systeme und eignet sich somit für die Erstellung präziser digitaler Repräsentati-

onen von Bauwerken oder deren Umgebung. Laserscanner, die mit mehreren unterschiedlichen Wellenlängen messen, werden bisher ausschließlich als ToF-Systeme von einigen wenigen Herstellern am Markt angeboten und vorwiegend in luftgestützten Anwendungen eingesetzt. Dazu zählen die Bathymetrie oder das Kartographieren von Vegetation. Die Systeme sind mit Abmessungen von zirka einem Kubikmeter und einem Gewicht von mehr als 70 kg sperrig und schwer. Neben der im Vergleich zu Phasenlaufzeitverfahren geringen Auflösung und Messrate erweist sich die fehlende Augensicherheit (Laserklasse 4) als nachteilig in der praktischen Anwendung. Mit dem CPS² hat das Team erstmalig einen multispektralen Phasenscanner entwickelt, der schnelles, präzises und multispektrales Laserscanning von mobilen Plattformen aus ermöglicht. Das handliche System mit Abmessungen von etwa 30 cm × 30 cm × 30 cm arbeitet mit einem augensicheren Laserscanner der Klasse 1.

Für die geometrische Messung nutzt der CPS in seiner ursprünglichen Version einen Laser mit einer Wellenlänge im nahen Infrarot von 1500 nm. Für die Feuchtemessung wurde nun beim CPS² die Wellenlänge auf 1450 nm reduziert – dort liegt der spektrale Fingerabdruck von Wasser. Zusätzlich wurde ein Laser mit 1320 nm Wellenlänge in das System inte-

< Zur automatisierten Messung von Feuchte in Tunneln setzt Fraunhofer IPM erstmals auf multispektrales Laserscanning. Feuchte Stellen am Tunneleingang (obere Reihe) und an einer Tunnelwand (untere Reihe) sind anhand von Absorptionsinformationen (hier rot) gut erkennbar.

Im CPS² kommt die **DIFFERENZIELLE OPTISCHE ABSORPTIONSSPEKTROSKOPIE (DOAS)** zum Einsatz. DOAS ist gängige Praxis beispielsweise zur Feuchtigkeitsbestimmung in Lebensmitteln. Zwei kollinear ausgesendete Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge tasten die Objektoberfläche ab. Die Strahlen werden sehr spezifisch von Wasser absorbiert. Mit 1450 nm Wellenlänge ist der Messstrahl entsprechend der Absorptionsbande von Wasser gewählt. Der zweite Laser mit 1320 nm Wellenlänge liegt außerhalb dieser Absorptionsbande und dient als Intensitätsreferenz. Der Feuchtwert ergibt sich aus der Intensitätsanalyse der beiden Signale. Die aufgezeichneten Intensitätswerte beider Wellenlängen werden auf die Soll-Intensitäten eines idealen trockenen Ziels mit einem lambertianischen Streuverhalten und einem Reflexionsvermögen von ca. 90 Prozent normiert. Dadurch wird es möglich, auch zwischen verschiedenen Feuchtwerten (z. B. stark, mittel, schwach) sehr präzise zu differenzieren und die Verringerung der Gesamtintensität durch Materialveränderungen, Farbe, Schmutz usw. zu berücksichtigen.

griert. Hier weist Wasser keine Absorption auf, sodass dieser Laser als Referenz dient. Eine Vergleichsmessung der beiden Wellenlängen, also auf und direkt neben der Absorptionslinie von Wasser, zeigt, ob Wasser an der Oberfläche des Messobjekts vorhanden ist. Die Geometriemessung kann wiederum mit beiden Lasern gleichzeitig stattfinden.

Auf die Schiene gesetzt: Tests demonstrieren Einsatztauglichkeit des Systems

Gemeinsam mit Firmen aus dem Bereich der Tunnelinspektion aber auch mit Bahnunternehmen wurden im Laufe des Jahres 2019 Testmessungen an mehreren Standorten in Europa durchgeführt. Hierzu wurde der CPS² mit Positionierungssensorik ausgestattet und – montiert auf einem handgeschobenen, gleisgebundenen Wagen – durch den Tunnel gefahren. In der verwendeten Konfiguration lag die Messrate für beide Wellenlängen bei 2 MHz. Bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 5 km/h wurde die Tunnelwand mit einer lateralen Auflösung von etwa $3 \times 7 \text{ mm}^2$ aufgenommen. Hochaufgelöste Testmessungen an einem Tunneleingang und einer Tunnelwand zeigen, dass die Feuchte an der Oberfläche des Bauwerks (Bild Mitte) zuverlässig detektiert wird. Zusätzlich zu Feuchte werden auch Geometrie und Oberfläche der Tunnel-

wände millimetergenau erfasst, sodass Verformungen, Risse und Abplatzer bestimmt werden können. Mit dem CPS²-System konnten so erstmalig Wassereinbrüche, Oberflächendefekte und Geometrie gleichzeitig digital und ortsreferenziert bei nur einer Durchfahrt durch den Tunnel aufgenommen werden. Zudem erkennt das System Vegetation eindeutig (siehe Bild obere Reihe), da auch diese viel Wasser enthält und somit im Infrarot einen spektralen Fingerabdruck aufweist. Der CPS² kann somit auch zur Vegetationsdetektion zum Beispiel entlang von Gleisen genutzt werden.

Neuartige Ablenkeinheit für höhere Geschwindigkeit

Gemeinsam mit europäischen Firmen arbeitet Fraunhofer IPM derzeit im Eurostars-Projekt OpOrTunlty am Tunnelinspektionssystem TIS, einer erweiterten Version des CPS². Eine neuartige Ablenkeinheit soll in Zukunft die Kombination mehrerer Laser ermöglichen. Ziel ist es, die Messgeschwindigkeit weiter zu erhöhen, um Wassereinbrüche, Oberflächendefekte und Geometrie gleichzeitig mit lateraler Auflösung im Millimeterbereich bei einer Durchfahrtsgeschwindigkeit von 80 km/h aufzunehmen. So wäre zur Zustandserfassung keine Sperrung des Tunnels mehr nötig.

GESCHÄFTSFELD GAS- UND PROZESSTECHNOLOGIE



»Mit unserem Know-how schaffen wir neue Möglichkeiten für die Gas- und Prozessmesstechnik.«

Im Geschäftsfeld »Gas- und Prozesstechnologie« entwickelt und fertigt Fraunhofer IPM Mess- und Regelsysteme nach kundenspezifischen Anforderungen. Kurze Messzeiten, hohe Präzision und Zuverlässigkeit zeichnen diese Systeme aus – auch unter extremen Bedingungen.

Zu unseren Kompetenzen gehören unter anderem laserspektroskopische Verfahren für die Gasanalytik, energieeffiziente Gassensoren, Partikelmesstechnik, thermische Sensoren und Systeme sowie die nichtlineare Optik und seit Neuestem die Quantensensorik. Die Bandbreite der Anwendungen ist groß: Sie reicht von der Abgasanalyse über die Transportüberwachung von Lebensmitteln bis hin zu Sensoren und Systemen zur Messung kleinster Temperaturunterschiede.



Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein
Abteilungsleiter

T +49 761 8857 - 134

juergen.woellenstein@ipm.fraunhofer.de

Gruppe **Integrierte Sensorsysteme**

- ▶ gassensitive Materialien
- ▶ mikrooptische Komponenten
- ▶ miniaturisierte Gassensorsysteme

Gruppe **Spektroskopie und Prozessanalytik**

- ▶ spektroskopische Analytik
- ▶ optische Systeme
- ▶ Auswerteverfahren

Gruppe **Thermische Messtechnik und Systeme**

- ▶ maßgeschneiderte Mikrostrukturen
- ▶ thermische Messsysteme
- ▶ Simulation physikalischer Prozesse

Gruppe **Nichtlineare Optik und Quantensensorik**

- ▶ nichtlineare Optik
- ▶ Laser-Absorptionsspektroskopie
- ▶ Quantensensorik

< Gassensoren für die Prozessindustrie müssen extremen Umgebungsbedingungen standhalten. Wir entwickeln und testen robuste Messsysteme für den industriellen Einsatz.

GRUPPE INTEGRIERTE SENSORSYSTEME

🗨 Dr. Marie-Luise Bauersfeld, T +49 761 8857 - 290, marie-luise.bauersfeld@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkt der Gruppe ist die Entwicklung funktionaler, gassensitiver Materialien und Oberflächen sowie miniaturisierter Gassensorsysteme. Bei der Synthese und Verarbeitung gassensitiver Materialien und Oberflächen haben wir stets die spezifische Anwendung im Blick. Für den Aufbau miniaturisierter Gassensorsysteme integrieren wir Sensortechnologie und Elektronik in kompakten und kostengünstigen Mikrosystemen. Ein Beispiel sind mikrostrukturierte Infrarot(IR)-Strahler, die als Lichtquellen in mikrooptische Sensoren (MOEMS) integriert werden. Für die Einbettung in drahtlose Sensornetze oder mobile Endgeräte entwickeln wir besonders kleine, preiswerte und energieeffiziente Gassensoren. Sie finden Anwendung in der Lüftungstechnik, zur Detektion toxischer Gase, bei der Qualitätskontrolle von Lebensmitteln im Lager oder auf dem Transportweg sowie in »smarten« Anwendungen wie beispielsweise im »Smart Home«.



Gruppenleiterin: Dr. Marie-Luise Bauersfeld

GASSENSITIVE MATERIALIEN

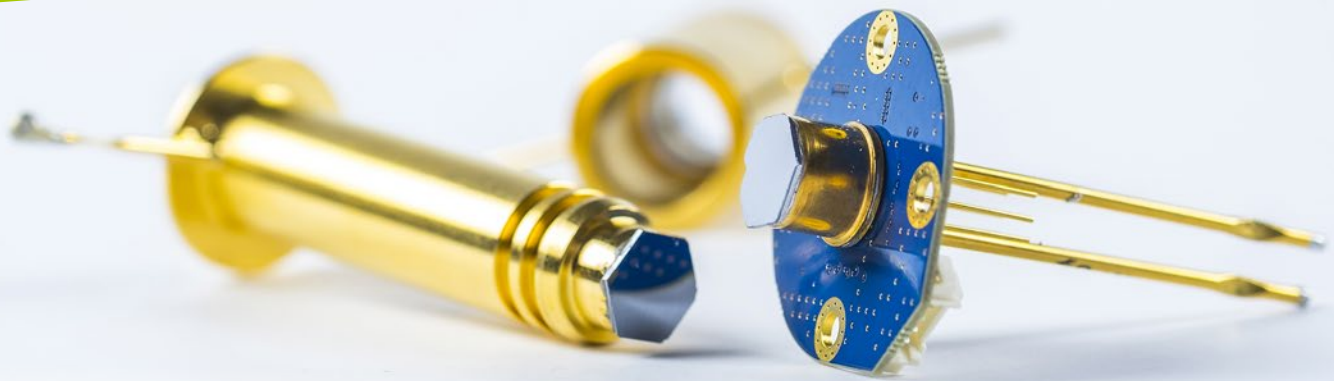
- ▶ Materialsynthese und -verarbeitung: Schichtdicken von wenigen nm bis mehreren μm , Beschichtung auf mikrostrukturierten Substraten (MEMS)
- ▶ Halbleiter-Gassensoren: Metalloxidschichten wie SnO_2 , WO_3 oder $\text{Cr}_{2-x}\text{Ti}_x\text{O}_{3+z}$ mit katalytischen Zusätzen
- ▶ kolorimetrische Gassensoren: u. a. Farbumschlagmaterialien für CO , NO_2 , NH_3 , H_2S und flüchtige organische Verbindungen (VOC)

MIKROOPTISCHE KOMPONENTEN

- ▶ IR-Strahler für einen Wellenlängenbereich von 5 bis 12 μm , z. B. modulierbar
- ▶ IR-Detektoren für einen Wellenlängenbereich von 3 bis 5 μm , z. B. aus PbSe
- ▶ diffraktive Optiken, z. B. Fresnel-Linsen aus Silizium oder Komponenten für IR-Emitter

MINIATURISIERTE GASSENSORSYSTEME

- ▶ je nach Messprinzip sind Gaskonzentrationen von ppb bis Prozent messbar; modulare Systeme durch Kombination verschiedener Sensorprinzipien
- ▶ Sensorik für energieautarke Systeme mit drahtloser Kommunikation
- ▶ photoakustische Systeme, Filterphotometer und miniaturisierte Gaschromatographie-Systeme



Gassensor bestimmt Reinheitsgrad von Kältemitteln

Im BMBF-Projekt CONTECT-R haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Gruppe einen photoakustischen Gassensor zur Detektion fluorhaltiger Kältemittel entwickelt. Der Sensor ist Teil eines Analysesystems zur Reinheitsprüfung von umweltfreundlichen Kältemitteln, das gemeinsam mit Forschungspartnern entwickelt wurde.



 **GASSENSOR
WORKSHOP**

8. Gassensor-Workshop

Beim achten Gassensor-Workshop am 24. Oktober 2019 tauschten sich über 70 Expertinnen und Experten bei Fraunhofer IPM zur Gasmess-technik aus. Der neunte Gassensor-Workshop ist für 2021 geplant.
www.gassensoren.fraunhofer.de

Gassensitive QR-Codes zum Nachweis toxischer Gase

Im Eurostars-Projekt SnapGas wurde ein Smartphone-basiertes Sensorsystem zur Detektion toxischer Gase entwickelt. Es bestimmt Gase kolorimetrisch – und misst schnell und selektiv. Der Sensor wird per InkJet-Druckverfahren als gassensitive Etikett aufgebaut. Das Auslesen der gasabhängigen Farbänderung erfolgt per Smartphone-Kamera.



GRUPPE SPEKTROSKOPIE UND PROZESSANALYTIK

🗨 Dr. Raimund Brunner, T +49 761 8857-310, raimund.brunner@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkt der Gruppe ist die Entwicklung spektroskopischer Systeme zur Detektion und Analyse von Gasen und Flüssigkeiten. Zum Einsatz kommen Methoden wie Raman-, FTIR-, ATR- oder Laserspektroskopie. Für die Entwicklung optischer Komponenten und Elektronikmodule und deren Charakterisierung, beispielsweise die Untersuchung von Degradation und Stabilität, nutzen wir neben Simulationstools auch geeignete Analysemethoden wie z. B. Fourier- oder Röntgenspektroskopie. Die Gruppe verfügt über langjährige Erfahrung in der Abgasmesstechnik und Brennwertanalytik. Dazu zählen schnelle Gasanalysatoren für Abgasprüfstände bei der Motorenentwicklung und Systeme zur Brennwertkontrolle in Erdgasleitungssystemen. Unsere Systeme zur Gasferndetektion orten Leckagen mithilfe von Laserspektroskopie und bildgebender Infrarot-Messtechnik. Dies ermöglicht die Sicherheitsüberwachung von Industrieanlagen oder Gasleitungen aus der Distanz. Im Bereich der Flüssigkeitsanalyse entwickeln wir ATR-Prozessspektrometer zur Qualitätskontrolle bei der Getränkeherstellung oder in Fermenterprozessen.



Gruppenleiter: Dr. Raimund Brunner

SPEKTROSKOPISCHE ANALYTIK

- ▶ optische Spurengasanalytoren auf Basis von Laserspektroskopie: Empfindlichkeit im ppb-Bereich bei N_2O oder NH_3 und im ppm-Bereich bei O_2
- ▶ Raman-Spektroskopie: Analyse von Flüssigkeiten, biologischen Proben, Festkörpern oder Gasen
- ▶ ATR-Spektroskopie: Messen von gelösten Stoffen in Flüssigkeiten bis in den ppm-Bereich
- ▶ photoakustische Messmethoden, individuelle Anpassung von akustischen Resonatoren

OPTISCHE SYSTEME

- ▶ Simulationen: Optik, Mechanik, Strömung, Elektronik
- ▶ Detektion optischer Rückstreuung
- ▶ laserspektroskopische Systeme im NIR und MIR mit Spiegeloptiken
- ▶ Spezialoptiken: Langweg-Absorptionszellen, EUV-Gitteroptiken, Laserpackage inkl. Kollimation, Referenzsysteme
- ▶ In-situ-Messmethoden

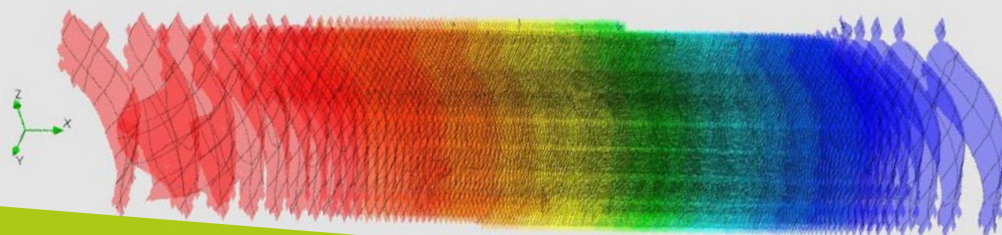
AUSWERTEVERFAHREN

- ▶ chemometrische Methoden zur Analyse von Messdaten
- ▶ Bestimmung von Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit von Gasensoren und Lasersystemen unter verschiedenen Bedingungen
- ▶ Modellbildung als Grundlage für eine Linearisierung und kalibrationsfreie Spektroskopie



Bodensensor für Lachgas: erste Feldmessungen erfolgreich durchgeführt

Im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts COGNAC (Cognitive Agriculture) entwickelt die Gruppe einen kompakten Bodensensor zur hochauflösenden Messung von klimarelevanten Gasen. Ein Laborsystem eines Lachgassensors auf Basis von Laserspektroskopie wurde aufgebaut; erste Messkampagnen im Feld wurden erfolgreich durchgeführt.



Bewährter Quantenkaskadenlaser (QCL)-Analysator weiterentwickelt

Das im Auftrag der AVL Emission Test Systems GmbH entwickelte Abgasmesssystem detektiert dank neuem Laser und Hochtemperatur-Messzelle nun auch Ammoniak. Interbandkaskadenlaser (ICL) sorgen für eine noch bessere Performance. Ein neues kompaktes Einkanalssystem wird dank innovativer Herstellungsmethoden einzelner Komponenten nun besonders effizient gefertigt.



Automatisierte Reinigung von ATR-Elementen im Prozess

Erstmalig gelang es dem Team, angepasste Saphir-Hohlzylinder als ATR-Elemente in Varivent®-Prozessflansche zu integrieren. Damit schufen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Voraussetzung für eine automatisierte Reinigung von ATR-Elementen im Prozess. Erste Tests lassen eine Nachweisgrenze von unter 50 ppm Toluoldiisocyanat in Monochlorbenzol erwarten. Isocyanate werden bei der Herstellung von Polyurethanen, Lacken, Klebstoffen und Schäumen benötigt.

GRUPPE THERMISCHE MESSTECHNIK UND SYSTEME

🗨 Martin Jäggle, T +49 761 8857-345, martin.jaeggle@ipm.fraunhofer.de

Die Gruppe entwickelt thermische Sensoren aus unterschiedlichen Materialien und Systeme zur temperaturabhängigen Materialcharakterisierung. Flexible Substrate ermöglichen die Messung kleinster Temperaturunterschiede mithilfe sogenannter Kalorimeterchips oder die Bestimmung unterschiedlicher Materialparameter, wie etwa die thermische und elektrische Leitfähigkeit, mittels aufpressbarer Messstrukturen. Mikrostrukturen und Mikrosysteme zur temperaturabhängigen Bestimmung von Materialparametern – wie z. B. Thermopiles – entwickeln wir exakt zugeschnitten auf die jeweilige Anwendung. Unsere Fluidsensoren auf Polymersubstraten werden beispielsweise zur Überwachung der Ölqualität eingesetzt.

In der Gruppe entwickelte Fouling-Sensoren erfassen die Belagsbildung in Industrieanlagen quantitativ. Zur thermischen Impedanzanalyse nutzen wir gekoppelte thermisch-elektrische Finite-Elemente-Simulationen. Des Weiteren verfügt die Gruppe über Kompetenzen in der Modellierung und Validierung gekoppelter thermisch-elektrisch-mechanischer Effekte in Mikrosystemen ebenso wie in größeren Systemen wie z. B. in Energiespeichern für geothermische Anwendungen.



Gruppenleiter: Martin Jäggle

MASSGESCHNEIDERTE MIKROSTRUKTUREN

- ▶ Mikrostrukturen für organische Elektronik, Heizer und Mikrofluidik mit Strukturgrößen von typischerweise 1 μm
- ▶ Thermopile-Sensoren, Fouling-Sensoren, kalorimetrische Sensoren
- ▶ thermische Sensoren zur Bestimmung von Materialparametern, insbesondere Wärmeleitfähigkeit
- ▶ elektronische Zungen

THERMISCHE MESSSYSTEME

- ▶ Messsysteme zur Bestimmung elektrischer Leitfähigkeit, Ladungsträgerkonzentration, Seebeck-Koeffizient und Majoritätsladungsträgern, z. B. mittels Hall-Messungen an Halbleitern im Bereich von -200 bis 800 $^{\circ}\text{C}$
- ▶ Systeme zur Messung thermischer Eigenschaften von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen, z. B. mittels elektrischer und thermischer Impedanz (3-Omega-Methode)

SIMULATION PHYSIKALISCHER PROZESSE

- ▶ gekoppelte Finite-Elemente-Simulationen (FEM)
- ▶ Strömungssimulationen (CFD) gekoppelt mit thermischer Analyse
- ▶ Simulationen zu geothermischen Vorgängen und Konzeption von Energiespeichern
- ▶ thermisches Management zur Validierung von Systemen



Labor zur Charakterisierung thermophysikalischer Materialeigenschaften

An unseren Messplätzen bestimmen wir eine Vielzahl temperaturabhängiger Parameter funktionaler Materialien. Neben Hall- und Seebeck-Leistungsmessungen sind seit neuestem auch simultan-thermische Analysen (STA-Messungen) möglich. Die Gruppe entwickelt eigene Messsysteme und führt im Kundenauftrag Messungen durch – für Forschungsanwendungen ebenso wie zur industriellen Qualitätssicherung.



HE-Lab: Messen am Limit

In unserem »Harsh Environment Laboratory« testen wir Sensoren bei Temperaturen bis 200 °C und Drücken bis 2000 bar. Der erste Teststand wurde 2019 in Betrieb genommen. Für das neue Gebäude sind maßgeschneiderte Teststände sowohl für kleine Elektronik-Komponenten als auch für Systeme mit mehreren Litern Volumen vorgesehen.

GRUPPE NICHTLINEARE OPTIK UND QUANTENSENSORIK

PD Dr. Frank Kühnemann, T +49 761 8857-457, frank.kuehnemann@ipm.fraunhofer.de

Neuartige Messtechniken bilden das zentrale Forschungsthema der Gruppe: Welche Art von Sensorik werden wir morgen nutzen? Und welche Möglichkeiten werden sich dadurch eröffnen? Zusammen mit Partnern aus der Grundlagenforschung arbeiten wir an innovativen laserbasierten Messprinzipien und -verfahren für die Spektroskopie. Entwickelt werden auch die dafür nötigen Werkzeuge, vor allem auf Basis nichtlinear-optischer Frequenzkonversion: Dazu gehören Dauerstrich- (cw-) Laserlichtquellen mit maßgeschneiderten Wellenlängen für die Spektroskopie, bei denen die Gruppe weltweit führend ist, sowie Wellenlängen-Konverter für eine effiziente Infrarot-Detektion. Sie erweitern die Möglichkeiten der Messtechnik, z. B. bei der Gasspektroskopie zur Untersuchung von Verbrennungsprozessen, bei der Charakterisierung von Komponenten für Hochleistungslaser, in der Quantenoptik-Forschung und in der interferometrischen Holographie. Ein anderes Beispiel nichtlinear-optischer Lichtquellen sind Frequenzkämme, auf deren Basis neue Verfahren der Infrarot-Spektroskopie entwickelt werden.

Ein weiteres Forschungsfeld der Gruppe ist die Quantensensorik: So bilden Paare aus Photonen verschiedener Wellenlängen, die in ihren Eigenschaften »verschränkt« sind, die Grundlage des Quanten-Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometers, mit dem besonders empfindliche Messungen möglich werden sollen. Alkali-Atome in speziell präparierten Spin-Quantenzuständen eignen sich zum Beispiel als hochempfindliche Magnetfeld-Sensoren, für die das Team neue Einsatzfelder in der industriellen Prozessmesstechnik erkundet.



Gruppenleiter: PD Dr. Frank Kühnemann

NICHTLINEARE OPTIK

- ▶ optisch-parametrische Oszillatoren: von 450 nm bis 5 μ m durchstimbar, Ausgangsleistungen 10 mW bis viele Watt (wellenlängenabhängig), Linienbreiten kleiner als 1 MHz
- ▶ Frequenzverdopplung: über 50 Prozent Konversionseffizienz
- ▶ MIR-NIR-Konversion: Aufnahme von MIR-Prozessdaten mit mehr als 5000 Spektren pro Sekunde
- ▶ spontane parametrische Fluoreszenz für die Quantensensorik

NEUE SPEKTROSKOPISCHE MESSVERFAHREN

- ▶ photothermische Verfahren für die hochempfindliche Absorptionsspektroskopie in Feststoffen und Gasen
- ▶ Doppelkamm-Infrarot-Gasspektroskopie
- ▶ Spektroskopie in VIS, NIR und MIR
- ▶ Spektroskopie von Restabsorptionen in Materialien bis 1 ppm

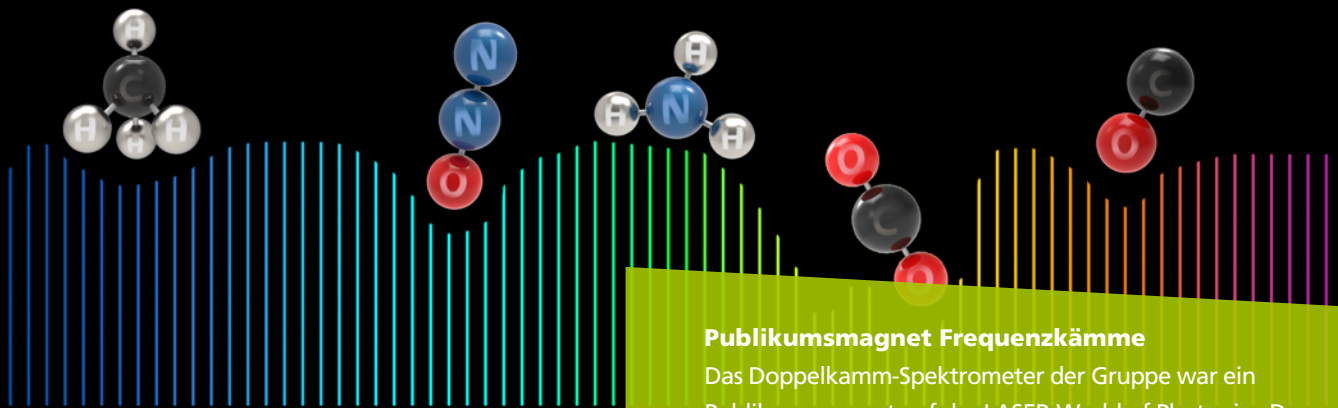
QUANTENSENSORIK

- ▶ Spektroskopie mit verschränkten Photonenpaaren: Quanten-Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometer
- ▶ Magnetfeld-Sensorik mit optisch gepumpten Magnetometern: NMR bei kleinsten Magnetfeldern



Erstmalig präsentiert: Quanten-FTIR

Fraunhofer IPM war Mitorganisator des wissenschaftlichen Workshops »Sensing with Quantum Light« im September im Physikzentrum Bad Honnef, an dem mehr als 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Deutschland, Europa, den USA und Singapur teilnahmen. Dort wurde erstmals unser Quanten-FTIR der wissenschaftlichen Öffentlichkeit vorgestellt.



Publikumsmagnet Frequenzkämme

Das Doppelkamm-Spektrometer der Gruppe war ein Publikumsmagnet auf der LASER-World of Photonics. Das Konzept kombiniert eine weite spektrale Abdeckung im MIR mit hoher Auflösung und soll vor allem für die Analyse komplexer Gasmischungen zum Einsatz kommen.



Projekt IsoNova: Fortschritte bei der Absorptionscharakterisierung

In dem BMBF-Projekt entstehen neue optische Materialien speziell für Hochleistungslaser. Unser Team entwickelt Messtechnik zur Absorptionscharakterisierung. Ersten Chargen neuer Kristalle aus dem Konsortium konnten wir damit sehr gute Absorptionseigenschaften bestätigen.



Mikropellistoren – neue Sensoren für brennbare Gase

Ist eine Gasatmosphäre explosiv oder nicht? Diese Frage ist typisch für die industrielle Prozessmesstechnik, z. B. für sicheren Betrieb von Prozessanlagen. Zur Erkennung brennbarer Gase und explosiver Gasgemische werden gerne katalytische Verbrennungssensoren eingesetzt, sogenannte Pellistoren. Basierend auf neuen Materialien hat Fraunhofer IPM neuartige Mikropellistoren entwickelt, die brennbare Gase besonders zuverlässig, energieeffizient und kostengünstig detektieren können.

Woran erkennt man brennbare Gase? Richtig, sie brennen! Was auf den ersten Blick so naheliegend und einfach für die Detektion erscheint, gestaltet sich in der Praxis komplizierter. Denn die Sensorsysteme sollen die Brennbarkeit eines Gases erkennen können, ohne dass sie selbst einen Brand oder eine Explosion hervorrufen. Sichere Sensoren sind beispielsweise Pellistoren. Sie detektieren brennbare Gase wie Methan, Propan oder Wasserstoff, indem sie das brennbare Gas an der Oberfläche eines Katalysators adsorbieren, wo es in einer kontrollierten Reaktion oxidiert. Die bei dieser katalytischen Oxidation des Gases entstehende Wärme misst der Pellistor, indem er die durch die Temperaturänderung induzierte Widerstandsänderung eines Platin-basierten Heizers misst. Aus diesem Signal lässt sich in einer definierten Applikation die Anwesenheit und die grobe Konzentration des brennbaren Gases ermitteln.

Katalytische Sensoren – günstig und zuverlässig, aber nicht ohne Nachteile

Die Hauptvorteile katalytischer Sensoren sind das einfache Funktionsprinzip, die leichte Installation und die zuverlässige Kalibrierung. Doch auch moderne Pellistoren haben einige Nachteile, wie zum Beispiel hohe Betriebstemperaturen von über 400 °C, eine hohe Leistungsaufnahme und eine hohe Anfälligkeit für Katalysatorgifte. Der hohe Stromverbrauch

schränkt den Einsatz von Pellistoren in mobilen Anwendungen aufgrund der kurzen Batteriebensdauer ein. Ziel der Entwicklung von Fraunhofer IPM war daher nicht nur die Miniaturisierung, sondern vor allem auch die Senkung der Betriebstemperatur, denn mit ihr sinkt auch der Stromverbrauch. Das primäre Gaserkennungselement eines Pellistors ist die katalytische Schicht. Um die Betriebstemperatur senken zu können, sind daher hochaktive Katalysatoren erforderlich. Insbesondere zur Detektion von Methan, einem der inertesten brennbaren Gase, sind Katalysatoren mit hoher Aktivität oder besonders hohen Arbeitstemperaturen erforderlich (über 450 °C). Diese hohe Betriebstemperatur macht den zuverlässigen Nachweis von Methan so schwierig.

Neue Materialien für neue Sensoren

Um die Betriebstemperatur von Pellistoren zu senken, müssen neue katalytische Materialien gefunden werden – insbesondere für den Nachweis von Methan: Erst innovative Katalysator-Materialien mit höherer Aktivität würden bei gleichzeitig hoher Stabilität die Entwicklung neuer, besonders energieeffizienter Pellistoren erlauben. Doch die Entwicklung solcher Katalysatoren ist gleich aus drei Gründen alles andere als einfach: Erstens sind Katalysatoren, die in Sensoren verwendet werden, komplexe Systeme, die aus

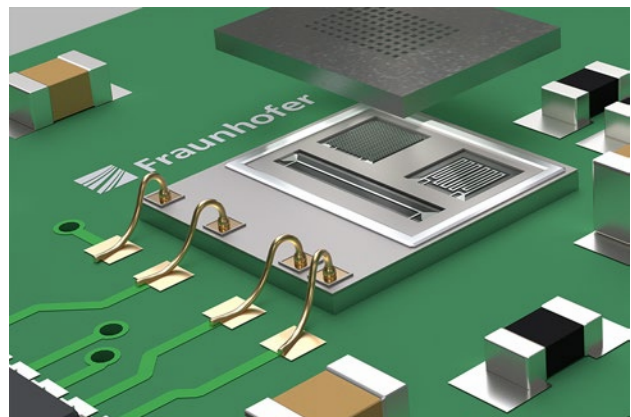
< Sensoren zur Detektion brennbarer Gasgemische, z. B. in der Prozessindustrie, arbeiten traditionell bei hohen Betriebstemperaturen. Für den Einsatz in neuen Märkten wie der Sicherheitsüberwachung in hochtechnisierten Gebäuden, in Elektrofahrzeugen oder in der Wasserstofftechnik sind dezentrale Low-Power-Sensoren gefragt.

Mit einem **SIMULTAN-THERMOGRAVIMETRIE-DIFFERENTIALTHERMOANALYSE-SYSTEM** lassen sich neue katalytische Materialien charakterisieren. Dabei wird mittels Thermogravimetrie die Massenänderung des Materials während eines bekannten Heiz- oder Abkühlvorgangs beobachtet. Simultan zu dieser Messung wird eine Differentialthermoanalyse gemacht. Bei diesem Verfahren wird die von einem Material bei Aufheizung oder Abkühlung abgegebene bzw. aufgenommene Wärmemenge gemessen.

Katalysatormaterial und verschiedenen Additiven bestehen, die erst die Integration in den Sensor ermöglichen und die mechanische Stabilität der Schicht erzeugen. Diese Additive können sowohl die Katalysatoraktivität als auch die -stabilität beeinflussen. Hinzu kommt, dass ihre Wirkung durch die Gassensorcharakterisierung schwer zu identifizieren ist. Zweitens ist die von einem Sensor erfasste Reaktion ebenfalls eine komplexe Reaktion, die durch das gesamte Sensorsystem bestimmt wird. Und drittens ist der Präparationsprozess einzelner Sensoren recht umfangreich.

Zuverlässige Messmethoden zur Untersuchung katalytischer Materialien

Zur Überwindung dieser Einschränkungen, die bei der Entwicklung von Pellistor-Gassensoren bestehen, setzt Fraunhofer IPM auf ein Simultan-Thermogravimetrie-Differentialthermoanalyse-System in Verbindung mit einem Quadrupol-Massenspektrometer. Damit konnte der Einfluss der Partikelgrößenverteilung und Morphologie von Co_3O_4 auf seine katalytische Aktivität für die Methanoxidation und seine thermische Stabilität systematisch untersucht werden. Die mit dieser Messtechnik erzielten Ergebnisse zeigen die Zuverlässigkeit der Methode zur Vorauswahl von Katalysatoren für die Anwendung in katalytischen Gassensoren. Insbesondere Metalloxide mit Spinellstrukturen wie Co_3O_4 , $\text{Ni}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$, $\text{Co}_{3-x}\text{Cu}_x\text{O}_4$, $\text{Co}_{3-x}\text{Zn}_x\text{O}_4$ eignen sich zur katalytischen Verbrennung von Methan und können somit die Temperatur für die katalytische Reaktion in neuartigen Mikropellistoren erheblich senken.



So soll es einmal aussehen: Zoom-In auf den Mikropellistor eines Low-Power-Warnsystems zur Detektion brennbarer Gase.

Vielversprechende Anwendungen

Mit den neuen Methoden für das Design katalytischer Materialien schafft Fraunhofer IPM die Voraussetzung für Mikropellistoren der nächsten Generation, die bei Betriebstemperaturen von unter $350\text{ }^\circ\text{C}$ arbeiten. Dies erlaubt die Konzeption besonders energieeffizienter Sensoren, die mit einer elektrischen Leistung von weniger als 100 mW auskommen. Kleine Abmessungen (unter 3 mm^2) und die Möglichkeit zur kostengünstigen Serienproduktion eröffnen einen hervorragenden Marktzugang in klassische Märkte wie Bergbau, Gas-, und Treibstofflager sowie die petrochemische Industrie. Aber auch die Perspektiven in Wachstumsmärkten wie z. B. Smart Home- und Consumer-Anwendungen, Elektromobilität und Wasserstofftechnik sowie beim Schutz von Infrastruktur sind vielversprechend.

A close-up, macro photograph of a golden-colored metal component, likely a heat exchanger or turbine part, showing a series of parallel, slightly curved blades or fins. The lighting is dramatic, highlighting the metallic texture and the sharp edges of the components. A semi-transparent red rectangular box is overlaid in the upper left quadrant, containing white text.

GESCHÄFTSFELD
THERMISCHE ENERGIEWANDLER

»Wir pumpen, wandeln, leiten und schalten Wärme – maßgeschneidert für neuartige Anwendungen.«

Schwerpunkt der Forschung im Geschäftsfeld »Thermische Energiewandler« sind funktionelle Materialien mit besonderen physikalischen Eigenschaften. Wir nutzen kalorische und thermoelektrische Materialien zum Aufbau neuartiger Systeme zur Kühlung, Temperaturkontrolle und Wärmeverstromung.

Durch Einsatz dieser Materialien in Wärmepumpen, Kühlsystemen und Generatoren entstehen besonders umweltfreundliche, kostengünstige und langlebige Systeme. Darüber hinaus werden neue Arten von Heatpipes – speziell auch pulsierende Heatpipes – zum effizienten Wärmetransport konzipiert, gebaut und charakterisiert.



Dr. Olaf Schäfer-Welsen

Abteilungsleiter

T +49 761 8857 - 173

olaf.schaefer-welsen@ipm.fraunhofer.de

Gruppe **Thermoelektrische Systeme**

- ▶ Abwärme verstromen (elektrische Leistung im Kilowatt-Bereich)
- ▶ Abwärme von Feuerungsanlagen direkt nutzen (elektrische Leistung im Watt-Bereich)
- ▶ »Energy Harvesting« (elektrische Leistung im Milliwatt-Bereich)
- ▶ Peltier-Kühlung

Gruppe **Kalorische Systeme**

- ▶ effizientes Kühlen und Heizen (Magneto-, Elasto- und Elektrokalorik)
- ▶ effizienter Wärmetransport mittels latenter Wärme (Heatpipes)
- ▶ thermisches Management
- ▶ effiziente Hotspotkühlung für die Hochleistungselektronik

< Pulsierende Heatpipes – hier in planarer Bauform – führen Wärme sehr effizient ab. Sie eignen sich beispielsweise zur Kühlung von Hochleistungselektronik.

GRUPPE THERMOELEKTRISCHE SYSTEME

Dr. Olaf Schäfer-Welsen, T +49 761 8857-173, olaf.schaefer-welsen@ipm.fraunhofer.de

Forschungsschwerpunkt der Gruppe sind thermoelektrische Module und Systeme. Die Arbeiten reichen vom Systembau für Demonstratoren über Funktionserprobungen auf eigenen Prüfständen oder im Feld bis zu Simulationsrechnungen und Validierungsmessungen für optimal ausgelegte thermoelektrische Module. Das Team greift auf mehr als 20 Jahre Erfahrung in Material- und Modulentwicklung, Messtechnik, Simulationsverfahren und Systembau zurück. Eine Kernkompetenz ist die Entwicklung hochtemperaturstabiler elektrischer und thermischer Kontakte. Ein am Institut entwickelter Setzroboter ermöglicht die kostengünstige halbautomatische Fertigung thermoelektrischer Module.

Unsere thermoelektrischen Generatoren werden zur Abwärmeverstromung in Hochtemperaturprozessen eingesetzt. Beim »Energy Harvesting« nutzen sie kleinste Temperaturgefälle zur Erzeugung von Strom, z. B. für den Betrieb von Sensoren und zur Übertragung der Sensordaten. Die Module werden darüber hinaus als Peltier-Module auch in solchen Kühlanwendungen eingesetzt, bei denen es auf eine sehr präzise Temperaturkontrolle ankommt.



Gruppenleiter: Dr. Olaf Schäfer-Welsen

ABWÄRMEVERSTROMUNG

- ▶ thermoelektrische Module für den Hochtemperatureinsatz
- ▶ thermoelektrische Module zur Steigerung der elektrischen Effizienz von BHKW
- ▶ Verstromung ungenutzter Abwärme in Verbrennungskraftmaschinen und industriellen Prozessen

ABWÄRMENUTZUNG AN FEUERUNGSANLAGEN

- ▶ thermoelektrische Module für kleine elektrische Leistungen
- ▶ energieautarker Betrieb elektrischer Systemkomponenten
- ▶ energieautarke Mess- und Regelungstechnik zum emissionsarmen Betrieb

ENERGY HARVESTING

- ▶ ungenutzte Wärmeenergie in kleinste elektrische Leistung wandeln
- ▶ Powermanagement
- ▶ Datenübertragung und -analyse
- ▶ »Internet of Things«-fähige Gesamtlösungen

PELTIER-KÜHLUNG

- ▶ hochpräzise Temperierung von Prozessen und Bauteilen
- ▶ temperaturspezifisch optimierte Materialien
- ▶ anwendungs- und kundenspezifische Systemlösungen



Abwärmenutzung an Feuerungsanlagen

Thermoelektrische Generatoren (TEG) – integriert in eine Feuerungsanlage – erzeugen aus Abwärme mehr elektrische Energie als für den Betrieb der Anlage erforderlich ist. Der überschüssige Strom kann eingespeist oder z. B. für die Sensorik der Anlage genutzt werden. Die Gruppe hat einen Pellet-Ofen mit entsprechender Technik ausgerüstet.



Strom aus Abwärme: thermoelektrische Generatoren erfolgreich im Feld getestet

Zur Steigerung der Energieeffizienz von Blockheizkraftwerken entwickelt und baut die Gruppe thermoelektrische Generatoren, die Strom aus Abwärme generieren. Drei TEG-Systeme für unterschiedliche BHKW-Klassen wurden 2019 im Rahmen von Langzeittests erfolgreich im Feld getestet. Die elektrische Leistung der BHKW konnte bisher um ~1 bis 1,5 Prozent erhöht werden.

GRUPPE KALORISCHE SYSTEME

Dr. Kilian Bartholomé, T +49 761 8857-238, kilian.bartholome@ipm.fraunhofer.de

Innovative kalorische Systeme zum Heizen und Kühlen bilden den Forschungsschwerpunkt der Gruppe. Unsere Arbeiten umfassen Entwicklung, Konzeption und Aufbau effizienter Wärmepumpen und Kühlsysteme ohne schädliche Kältemittel auf Basis magneto-, elektro- oder elastokalorischer Materialien. Dabei greifen wir auf mehr als 20 Jahre Erfahrung im Bereich funktionaler Materialien zurück, insbesondere bezüglich ihrer Charakterisierung, Simulation und Systemintegration.

Neuartige Konzepte für den effizienten Wärmetransport auf Basis von pulsierenden Heatpipes (PHP) bilden ein weiteres Arbeitsgebiet der Gruppe. PHPs transportieren Wärme um ein Vielfaches effizienter als beispielsweise Kupfer und haben einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Wärmerohren. Von uns entwickelte PHPs werden zur Entwärmung elektronischer Bauteile und für ein gezieltes Thermomanagement eingesetzt. Darüber hinaus forschen wir an Heatpipe-basierten Wärmeschaltern für das gezielte Regulieren von Wärmeströmen.



Gruppenleiter: Dr. Kilian Bartholomé

EFFIZIENTES KÜHLEN UND HEIZEN

- ▶ reduzierter Energiebedarf dank effizienter Technologie
- ▶ Kühlen und Heizen ohne schädliche Kältemittel
- ▶ kompakte Bauweise durch die hohe Energiedichte kalorischer Materialien
- ▶ wartungsarme Systeme

THERMISCHES MANAGEMENT

- ▶ schnelle und exakte Temperaturregelung mit Peltierelementen
- ▶ passive Kühlung elektronischer Bauteile mittels Heatpipes
- ▶ effiziente Wärmeverteilung durch pulsierende Heatpipes
- ▶ effektive Wärmeleitfähigkeit von über 3000 W/mK

EFFIZIENTER WÄRMETRANSPORT MITTELS LATENTER WÄRME

- ▶ Wärmeübertrag mittels Verdampfung und Kondensation
- ▶ hohe Wärmeübertragungskoeffizienten von über 10^5 W/(m²·K)
- ▶ sehr schneller und effizienter Wärmeübertrag für Systemfrequenzen bis 20 Hz



2. Kalorik-Workshop

Rund 70 Fachleute aus Wissenschaft und Industrie tauschten sich beim zweiten Kalorik-Workshop über den Stand der Technik und die Potenziale kalorischer Systeme aus. Der dritte Kalorik-Workshop wird 2021 stattfinden.

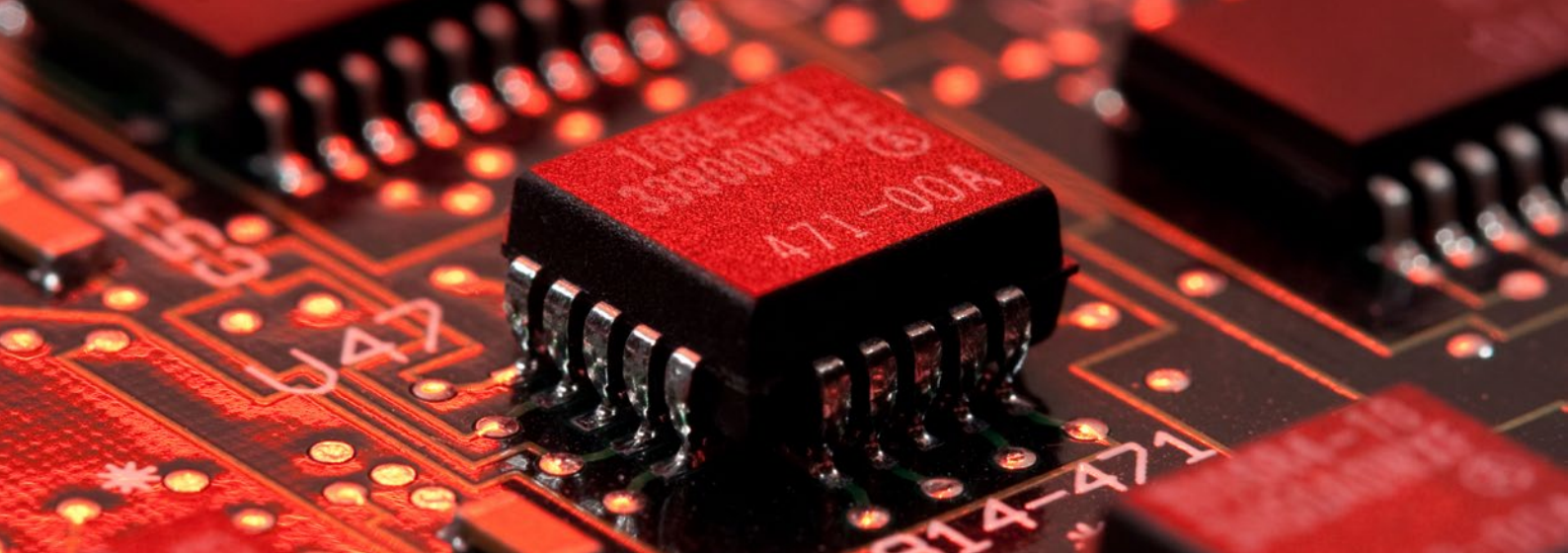


Energieeffiziente elektrokolorische Wärmepumpen ohne schädliche Kältemittel

Gemeinsam mit fünf weiteren Fraunhofer-Instituten arbeitet Fraunhofer IPM seit Oktober 2019 im Leitprojekt »ElKaWe« an der Entwicklung elektrokolorischer Wärmepumpen: Die hocheffizienten Systeme kommen ohne schädliche Kältemittel aus und haben hohes disruptives Potenzial für die Wärme- und Kältetechnik.

Langzeitstabiles elastokolorisches Kühlsystem

Eine der größten Herausforderungen bei der Realisierung elastokolorischer Systeme ist die Langzeitstabilität. Der Gruppe gelang es nun erstmals, ein elastokolorisches System zu entwickeln, das mit einer Langzeitstabilität über 10^7 Zyklen weit über dem internationalen Stand der Technik liegt.



Wärme effektiv leiten und schalten

Die Möglichkeit, Temperaturen gezielt und effektiv zu kontrollieren, ist in vielen industriellen Bereichen von großem Interesse. Die Entwärmung auf Basis von Heatpipes ist eine besonders effiziente Möglichkeit für das Thermomanagement hochintegrierter elektronischer Bauteile. Spezielle Wärmeschalter könnten sogar die Effizienz von Antriebsbatterien erhöhen, die Kaltstartzeit von Verbrennungsmotoren verkürzen oder Umformprozesse in der Industrie optimieren. Fraunhofer IPM forscht an einer neuen Generation von Heatpipes und Wärmeschaltern und entwickelt anwendungsspezifische Lösungen für das thermische Management.

Wenn im Computer, Auto oder Flugzeug die Elektronik ausfällt, liegt dies in über der Hälfte der Fälle an Überhitzung. Immer kleinere und leistungsfähigere mikroelektronische Bauteile produzieren thermische Verluste von zum Teil mehr als 100 Watt auf nur einem Quadratzentimeter. Für ein fehlerfreies Funktionieren der Bauteile müssen solche Hotspots effektiv entwärmt werden. Passive Kühlkonzepte wie zum Beispiel Heatpipes (HP) sind dabei besonders geeignet, denn sie kommen – im Gegensatz zu aktiver Wasser- oder Luftkühlung – ohne bewegliche Teile aus und benötigen keine externe Energieversorgung. Die Wärmerohre werden an Bauteile gekoppelt und leiten Wärme über einen Verdampfungs- und Kondensationskreislauf ab.

Planare pulsierende Heatpipes: effektiv, kompakt und stabil

Fraunhofer IPM setzt vor allem auf sogenannte pulsierende Heatpipes (PHP) als besonders effiziente Technologie zur Entwärmung von Hotspots. Anders als konventionelle HP ermöglichen PHP eine besonders kompakte, flache und stabile Bauform bei gleichzeitig hoher Wärmetransportfähigkeit; damit sind sie besonders geeignet für die Elektronik-Kühlung, wo Bauhöhen von weniger als 3 mm gefragt

sind. PHPs zeichnen sich durch eine thermische »Doppelwirkung« aus, denn es werden sowohl sensibler als auch latenter Wärmeübertrag genutzt. In einer PHP liegt das Arbeitsmedium in Gas- und Flüssig-Segmenten in einer Kapillarstruktur vor. Diese Flüssig- und Dampfsegmente werden durch einen Temperaturgradienten zwischen einer Wärmequelle und einer Wärmesenke zum »Pulsen« angeregt, d.h. sie werden impulsartig hin- und hergeschoben. Der daraus resultierende, sich selbst erhaltende Fluidfluss steigert den Wärmetransport drastisch. Eine PHP kann als hoch effektiver Wärmeleiter oder als Wärmespreizer eingesetzt werden. Im Rahmen verschiedener Projekte entwickelten und testeten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler PHPs in verschiedenen Bauformen und aus unterschiedlichen Materialien wie Kupfer oder Glas. Die Arbeiten umfassten auch die nötige Evakuierungs-, Befüll- sowie Aufbau- und Verbindungstechnik, darunter Verfahren wie das »Transient Liquid Phase«-Bonding (TLP-Bonding) sowie weitere Löt- und Schweißtechniken. Mit dem Prototyp einer planaren PHP aus Kupfer erzielte Fraunhofer IPM eine Wärmeleitfähigkeit auf dem Niveau von Diamant. In eine 1,5 bis 2 mm starke Kupferplatte wurden dazu dünne mäanderförmige Strukturen gefräst, die partiell mit Flüssigkeit befüllt und

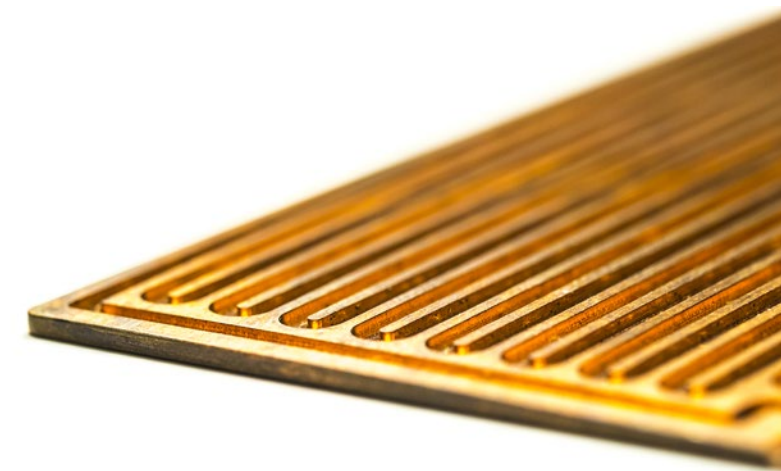
< Hochintegrierte elektronische Bauteile erzeugen viel Wärme auf kleinem Raum. Pulsierende Heatpipes sind in der Lage, diese Wärme effizient abzuleiten.

WÄRMESCHALTER lassen sich als Heatpipes mit integrierten Funktionsmaterialien realisieren. Einer der untersuchten Ansätze basiert auf schaltbaren hydrophilen / hydrophoben Beschichtungen, mit denen die Vorzugsrichtung des Wärmeflusses umgeschaltet werden kann (aktiv schaltbare thermische Diode). Zusätzlich untersucht werden Hydrogele, die unterhalb einer definierten Temperatur das Arbeitsfluid der Heatpipe aufnehmen und »einsperren« und oberhalb der gewünschten Temperatur wieder freigeben, sodass die Heatpipe aktiv wird (temperaturabhängiger Wärmeschalter).

anschließend evakuiert werden. Diese planare PHP kann direkt in Leiterplatten integriert werden und ist im Vergleich zu sogenannten Vapor-Chambers (flache Hohlkammer-Wärmerohre) deutlich stabiler und damit unempfindlicher gegenüber dem Druck beim Verpressen der Leiterplatten. Das Interesse der Industrie an Heatpipe-basierten Kühlkonzepten ist groß. Das Team arbeitet daher mit Hochdruck an Lösungen für eine simulationsgestützte Auslegung, um die komplexen physikalischen Zusammenhänge in der PHP abzubilden. Ziel ist es, Eigenschaften wie Größe, Arbeitsfluid und die Anbindung an die Wärmesenke optimal auf die spezielle Anwendung zuzuschneiden. Auch an alternativen Materialien und Fertigungsverfahren wie 3D-Druck oder Roll-Bonding wird am Institut intensiv geforscht. Dies soll die flexible, formangepasste und kostengünstige Herstellung ermöglichen.

Wärme an- und ausknipsen

Neben der Wärmeabfuhr lassen sich Heatpipes auch nutzen, um Wärmeströme gezielt ein- und auszuschalten und zu regeln – ganz so, wie man es von elektrischen Schaltern kennt. Solche Wärmeschalter könnten aktive Temperiersysteme entlasten oder ersetzen. Sie sind jedoch komplex in der Bauform und übertragen meist nur kleine Wärmeströme. Fraunhofer IPM arbeitet gemeinsam mit weiteren Fraunhofer-Instituten an einer neuen Generation der thermischen Schalter auf Basis



Heatpipes lassen sich nicht nur als Rohr, sondern auch als zwei bis drei Millimeter dünne Platten realisieren. Damit sind sie besonders gut integrierbar zur Kühlung von Elektronikbauteilen.

schaltbarer hydrophiler / hydrophober Beschichtungen oder Hydrogele. Sie sind klein und kommen ohne bewegliche Teile aus. Aufgrund der einfachen Bauweise sind die Schalter ohne großen Aufwand integrierbar und versprechen deutlich höhere Wärmetransportfähigkeiten. Am Institut wurde bereits eine Vorläuferversion des Heatpipe-basierten Wärmeschalters mit konstanter hydrophiler Beschichtung inklusive der nötigen Aufbau-, Verbindungs- und Befülltechnik realisiert.

> Die Messtechnik-Messe SENSOR+TEST in Nürnberg ist eine der Leitmessexpositionen für unsere Forschungsthemen aus der Gas- und Prozessmesstechnik.

MESSEN 2019

4. VDI-Fachkonferenz

Schwingungen in Werkzeug- und Verarbeitungsmaschinen

Stuttgart, 26.–27.03.2019

Neben einem Vortrag zum Thema Holographie zur 3D-Vermessung von Präzisionsbauteilen zeigte Fraunhofer IPM das HoloCut-System zur flächigen Vermessung von Bauteilen in der Werkzeugmaschine.

HANNOVER MESSE

Hannover, 01.–05.04.2019

Fraunhofer-Gemeinschaftsstand

Fraunhofer IPM präsentierte Gassensoren für die Überwachung industrieller Prozesse, zur Leckage-Detektion und zur Raumklima-Überwachung. Gezeigt wurden u. a. Halbleiter-Gassensoren, Infrarot-Strahler, kolorimetrische und photoakustische Sensoren.

Control

Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung

Stuttgart, 07.–10.05.2019

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Allianz Vision

Das Institut war mit einer Reihe von Exponaten für die Produktionskontrolle präsent: »HoloPort« zur 3D-Inline-Messtechnik für die Werkzeugmaschine, »Track & Trace Fingerprint« zur Bauteil-Rückverfolgung, »F-360°« zur 100-Prozent-Oberflächenprüfung von Halbzeugen im freien Fall sowie mit dem Inline-Partikeldetektor zur 100-Prozent-Reinheitskontrolle von Bauteiloberflächen.

AUTOMOTIVE ENGINEERING EXPO

Nürnberg, 04.–05.06.2019

Stand der AMEPA GmbH

Auf dem Stand der AMEPA GmbH stellte die Gruppe Optische Oberflächenanalytik einen Fluoreszenz-Scanner zur automatischen bildgebenden Ölaufgaben-Messung aus.

LASER World of PHOTONICS

Weltleitmesse für Komponenten, Systeme und Anwendungen der Photonik

München, 24.–27.06.2019

Fraunhofer-Gemeinschaftsstand

Fraunhofer IPM war mit verschiedenen Systemen zur spektroskopischen Prozessanalytik präsent. Erstmals vorgestellt wurde ein Frequenzkamm-Spektrometer für Spurengasmessungen im mittleren Infrarot.

SENSOR+TEST

Die Messtechnik-Messe

Nürnberg, 25.–27.06.2019

Fraunhofer-Gemeinschaftsstand

Das Institut präsentierte das gesamte Spektrum an integrierten Sensorsystemen, thermischer Messtechnik und Spektroskopie-Systemen für die Prozessanalytik.

INTERGEO

Kongress und Fachmesse für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement

Stuttgart, 17.–19.09.2019

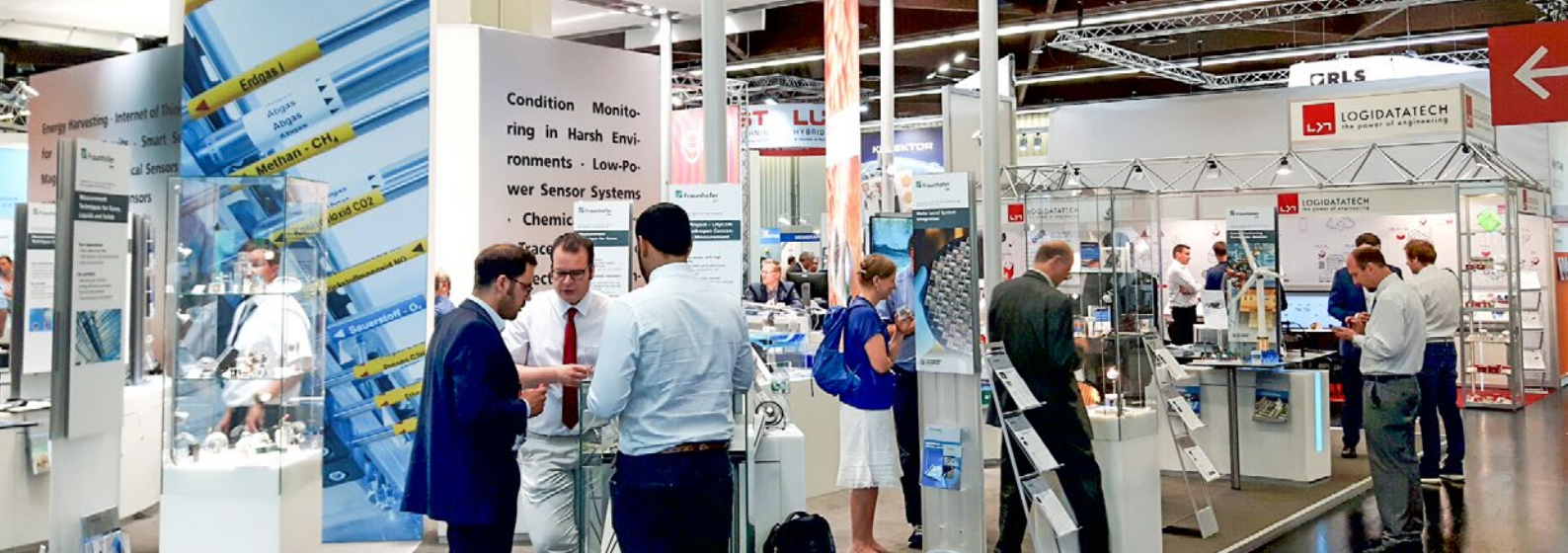
Eigener Stand

Fraunhofer IPM präsentierte auf der INTERGEO erstmals das Tunnel-Inspektionssystem TIS. Mit dem multispektralen Laserscanner können Feuchte und Geometrie an Tunneloberflächen gleichzeitig gemessen werden. Weiteres Thema auf der Messe war die automatisierte Auswertung von Messdaten mithilfe KI-basierter Algorithmen.

12. Fraunhofer Vision Technologietag

Fürth, 23.–24.10.2019

Auf der Veranstaltung war das Institut mit Vorträgen zur 100-Prozent-Oberflächenprüfung sowie zum Inline-Partikeldetektor vertreten. Im Rahmen der Fachausstellung wurde ein Exponat zur Bauteilinspektion im freien Fall vorgestellt.



parts2clean

Internationale Leitmesse für industrielle Teile- und Oberflächenreinigung

Stuttgart, 22.–24.10.2019

Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik

Die Gruppe Optische Oberflächenanalytik stellte verschiedene Systeme zur automatisierten Oberflächeninspektion vor.

GEPLANTE MESSEN 2020

Aufgrund der Corona-Pandemie haben zahlreiche Veranstalter ihre Messen oder Veranstaltungen abgesagt, verschoben oder durch digitale Formate ersetzt.

VDI regio Career

Freiburg, 25.04.2020

(verschoben auf 2021)

Control

Stuttgart, 05.–08.05.2020 (abgesagt)

Freiburger Wissenschaftsmarkt

Freiburg, 19.–20.06.2020 (verschoben auf 2021)

Sensor+Test

Nürnberg, 23.–25.06.2020 (abgesagt)

HANNOVER MESSE

Hannover, 13.–17.07.2020 (abgesagt)

InnoTrans

Berlin, 22.–25.09.2020 (abgesagt)

INTERGEO

Berlin, 13.–15.10.2020

Chillventa

Nürnberg, 13.–15.10.2020

13. Fraunhofer Vision Technologietag

Fürth, 21.–22.10.2020

parts2clean

Stuttgart, 27.–29.10.2020

EuroBLECH

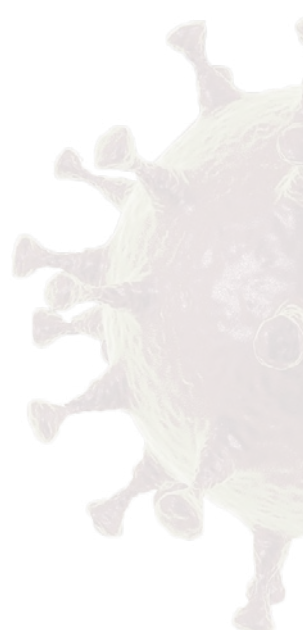
Hannover, 27.–30.10.2020

MEDICA

Düsseldorf, 16.–19.11.2020

Oceanology International

London, 01.–03.12.2020





WORKSHOPS & VERANSTALTUNGEN 2019

Industrieworkshop Thermoelektrik

Fraunhofer IPM, 20.–21.03.2019

Rund 60 Teilnehmerinnen und Teilnehmer kamen zum »Industrie-Workshop Thermoelektrik«, den Fraunhofer IPM in Kooperation mit der Deutschen Thermoelektrik-Gesellschaft e.V. erstmalig veranstaltete. Das Programm mit zwölf Fachvorträgen informierte über technologische Entwicklungen auf den Gebieten der thermoelektrischen Generatorik und Peltierkühltechnik.

Kalorik-Workshop 2019

Fraunhofer IPM, 27.–28.03.2019

Der Workshop in Kooperation mit dem Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Verein (DKV) und dem ZIM-Netzwerk Magnetokalorik fand zum zweiten Mal statt. Auf dem Programm standen zehn Fachvorträge zu kalorischen Materialien und magneto-, elektro- und elastokalorischen Systemen. Die begleitende Industrieausstellung zeigte erstmalig gleich vier funktionsfähige kalorische Systeme.

8. Gassensor-Workshop 2019

Fraunhofer IPM, 24.10.2019

Die Gassensor-Community traf sich erneut am Institut, um Technologien und Anwendungen auf dem Gebiet der Gassensorik zu präsentieren und zu diskutieren. Auf dem Programm standen acht Fachvorträge und eine Ausstellung. Themen waren u. a. die Umweltmesstechnik, Gasdetektion in industriellen Produktionsprozessen sowie Brandgasdetektion (mehr dazu auf S. 19)

Gemeinsame Veranstaltungen der Freiburger Fraunhofer-Institute

70 Jahre Fraunhofer: Fest für die Öffentlichkeit

Freiburg Innenstadt, 28.09.2019

Tausende Menschen kamen zum Publikumsfest der fünf Freiburger Fraunhofer-Institute in der Innenstadt und feierten das 70jährige Jubiläum der Fraunhofer-Gesellschaft (mehr dazu auf den S. 16 und 17.).



Fest zum Fraunhofer-Jubiläum: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Freiburger Fraunhofer-Institute, hier Dr. Kilian Bartholomé von Fraunhofer IPM, stellen der Öffentlichkeit ihre Forschungsthemen vor.

GEPLANTE WORKSHOPS 2020

MoLaS – Technology Workshop Mobile Laser Scanning

Geplant für 11.–12.11.2020 (verschoben)

Der vierte MoLaS-Workshop wird aufgrund der Coronapandemie auf November 2021 verschoben.

< Beim Escape-Game für Studierende im Rahmen des großen Fests der Freiburger Fraunhofer-Institute waren Kooperation und Kreativität gefragt.

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 in der Fraunhofer-Gesellschaft zur Laser-, Optik-, Mess- und Oberflächentechnik. Die sechs im Verbund organisierten Fraunhofer-Institute mit insgesamt etwa 1800 Mitarbeitenden lösen komplexe anwendungsorientierte Kundenfragen auf höchstem wissenschaftlichen und technischen Niveau. Aber

die Fraunhofer-Institute sind nicht nur Innovationspartner, sondern auch eine Quelle für den wissenschaftlich-technischen Nachwuchs. In Kooperation mit den Universitäten vor Ort bringt der wissenschaftliche Nachwuchs an den Fraunhofer-Instituten Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Seit Oktober 2019 ist Prof. Karsten Buse Vorsitzender des Verbunds; Leiter der Geschäftsstelle ist Dr. Heinrich Stülpnagel. www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

Fraunhofer-Gesellschaft

- Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces
- Fraunhofer-Allianz Food Chain Management
- Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik
- Fraunhofer-Allianz Verkehr
- Fraunhofer-Allianz Vision

Deutschland

- AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V.
- Arbeitskreis 4.3.2 Ebenheit der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV)
- Arbeitskreis Prozessanalytik der GDCh und DECHEMA
- Competence Center for Applied Security Technology e. V. (CAST)
- CNA e.V. – Cluster Bahntechnik
- Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e. V. (DFO)
- Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation- e.V. (DGPF)
- Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V. (DHYG)
- Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (DKV) e.V.
- Draht-Welt Südwestfalen – netzwerkdraht e.V.

- Deutsche Thermoelektrik-Gesellschaft e.V. (DTG)
- Forum Angewandte Informatik und Mikrosystemtechnik e. V. (FAIM)
- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh)
- Cluster Green City Freiburg
- innoEFF Innovations- und Effizienzcluster
- 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.

International

- ETS – European Thermoelectric Society
- ITS – International Thermoelectric Society
- MRS – Material Research Society
- OSA – The Optical Society

PUBLIKATIONEN 2019

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

3D-Inline-Messtechnik: Für mehr Produktqualität und bessere Qualitätssicherung

Technische Sicherheit 9 (10), 36-39 (2019)

Minet, Y.; Reis, L.; Buse, K.; Breunig, I.

Adiabatic frequency conversion in non-centrosymmetric high-Q optical microresonators

IEEE: Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference, CLEO/Europe-EQEC. 1 pp (2019)

Gerlach, G.; Lambrecht, A.; Oelßner, W.

Analytical methods for the detection of gaseous CO₂

Gerlach, G. [Ed.]: Carbon Dioxide Sensing. Fundamentals, Principles, and Applications. Weinheim, Wiley-VCH, 45-85 (2019)

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

Au-Pd@Meso-Co3O4: A promising material for new generation of pellistor with low working temperature

IEEE: 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII, TRANSDUCERS & EUROSENSORS. 1195-1198 (2019)

Reiterer, A.; Störk, D.; Wäschle, K.; Leydecker, A.; Leidinger, M.

Automatisierte Interpretation von 3D-Daten – Stand der Technik und zukünftige Entwicklungen

Schäfer, F. [Ed.]: Straßenbau in der Praxis: 1. Kolloquium; Tagungshandbuch. 453-456 (2019)

Holz, P.; Brandenburg, A.

Calibration of systems for quantitative fluorescence analysis of thin layers

Optics Express 27, 34559-34581 (2019)

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

Characterization of broadband spontaneous parametric down-conversion in periodically poled materials

IEEE: Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference, CLEO/Europe-EQEC. 1 pp (2019)

Urban, G.; Guttman, J.; Kieninger, J.; Weltin, A.; Wöllenstein, J.; Zosel, J.

CO₂ sensing in medicine

Gerlach, G. [Ed.]: Carbon Dioxide Sensing. Fundamentals, Principles, and Applications. Weinheim, Wiley-VCH, 391-413 (2019)

Pannek, C.; Weber, C.; Vetter, T.; Pohle, R.; Engel, L.; Eberhardt, A.; Tarantik, K.; Bauersfeld, M.-L.; Wöllenstein, J.

Colorimetric sensor system for the detection of low concentrations in real fire tests

IEEE: 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII, TRANSDUCERS & EUROSENSORS. 1345-1348 (2019)

Basler, C.; Brandenburg, A.; Michalik, K.; Mory, D.

Comparison of laser pulse duration for the spatially resolved measurement of coating thickness with laser-induced breakdown spectroscopy

Sensors. Online journal 19, 4133 (2019)

Klaas, B.; Baulig, C.; Predehl, K.; Schwarzer, S.

Development of a multispectral scanning lidar system for measuring wind velocity, air temperature and moisture

Comerón, A. [Ed.]: Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXIV. Proceedings of SPIE 11152, Paper 111520M (2019)

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

Development of a time-of-flight laser scanning system for underwater applications

Bostater, C. R. [Ed.]: Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions. Proceedings of SPIE 11150, Paper 111500M (2019)

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

Digital holographic microscopy for 200 € using open-source hard- and software

OSA: Digital Holography and Three-Dimensional Imaging. Paper Th3A.7 (2019)

Wolf, S.; Reiser, P.; Kießling, J.; Kühnemann, F.

Dynamic range of an upconversion detection module for MWIR laser spectroscopy

IEEE: Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference, CLEO/Europe-EQEC. 1 pp (2019)

Winkler, M.; Bartholomé, K.

Elektronik entwärmen mit pulsierenden Heatpipes

Elektronik Praxis – Sonderheft Elektromechanik II, 38-41 (2019)

Schütz, J.; Miernik, A.; Brandenburg, A.; Schlager, D.

Experimental evaluation of human kidney stone spectra for intraoperative stone-tissue-instrument analysis using autofluorescence

The Journal of Urology 201, 182-188 (2019)

Roiz, M.; Werner, C.; Breunig, I.; Vaini, M.

Femtosecond-driven up-conversion in a radially poled LiNbO₃ microresonator

IEEE: Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference, CLEO/Europe-EQEC. 1 pp (2019)

Eberhardt, A.; Bauersfeld, M.-L.; Schmitt, K.; Wöllenstein, J.

Filterrotationspektrometer für den Nachweis von Ethen im ppb-Bereich

VDI/VDE-GMA: 20. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme. 328-333 (2019)

Holz, P.; Brandenburg, A.

Fluorescence laser scanner for in-line inspection of functional coatings in metal processing industries

Lehmann, P. [Ed.]: Optical Measurement Systems for Industrial Inspection XI. Proceedings of SPIE 11056, Paper 110561X (2019)

- Szabados, J.; Breunig, I.; Buse, K.
Frequency comb generation and conversion in non-centrosymmetric optical microresonators
 IEEE: Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference, CLEO/Europe-EQEC. 1 pp (2019)
- Villois, A.; Kondratiev, N. M.; Breunig, I.; Puzyrev, D. N.; Skryabin, D. V.
Frequency combs in a microring optical parametric oscillator
 Optics Letters 44, 4443-4446 (2019)
- Blug, A.; Regina, D. J.; Eckmann, S.; Senn, M.; Eberl, C.; Bertz, A.; Carl, D.
GPU-based digital image correlation system for real-time strain-controlled fatigue and strain field measurement
 Lehmann, P. [Ed.]: Optical Measurement Systems for Industrial Inspection XI. Proceedings of SPIE 11056, Paper 110560V (2019)
- Szabados, J.; Brasch, V.; Herr, S.; Obrzud, E.; Jia, Y.; Lecomte, S.; Buse, K.; Breunig, I.; Herr, T.
High repetition rate frequency comb up- and down-conversion in synchronously driven microresonators
 Kudryashov, A. V. [Ed.]: Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XXI. Proceedings of SPIE 10904, Paper 109040D (2019)
- Groeneveld, D.; Groß, H.; Hansen, A.-L.; Dankwort, T.; Hansen, J.; Wöllenstein, J.; Bensch, W.; Kienle, L.; König, J. D.
High-pressure sintering of rhombohedral Cr₂S₃ Using Titanium-Zirconium-Molybdenum tools
 Advanced Engineering Materials 21, 1900430 (2019)
- Stemmler, S.; Reiterer, A.
Hochpräzises Laserscanning aus der Luft – Leichtgewichtige Sensortechnologie eröffnet neue Anwendungsgebiete durch die Fusion von 3D-LiDAR-Daten und 2D-Bilddaten
 Luhmann, T. [Ed.]: Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik: Beiträge der Oldenburger 3D-Tage. 214-221 (2019)
- Seyler, T.
HoloPort – 3D-Inline-Messtechnik für die Werkzeugmaschine
 wt Werkstattstechnik online 5, 319-320 (2019)
- Seyler, T.; Engler, J.
HoloPort – 3D-sensor for machine tools
 VDI/VDE-GMA: 20. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme. 43-49 (2019)
- Schütz, J.; Blättermann, A.; Kozłowski, P.; Brandenburg, A.
Imaging detection and classification of particulate contamination on structured surfaces
 Lehmann, P. [Ed.]: Optical Measurement Systems for Industrial Inspection XI. Proceedings of SPIE 11056, Paper 1105620 (2019)
- Wintzheimer, S.; Oppmann, M.; Dold, M.; Pannek, C.; Bauersfeld, M.-L.; Henfling, M.; Trupp, S.; Schug, B.; Mandel, K.
Indicator supraparticles for smart gasochromic sensor surfaces reacting ultrafast and highly sensitive
 Particle and Particle Systems Characterization 36, 1900254 (2019)
- Fratz, M.; Beckmann, T.; Anders, J.; Bertz, A.; Bayer, M.; Giebler, T.; Carl, D.
Industrial applications of digital holography
 OSA: Digital Holography and Three-Dimensional Imaging. Paper Tu4B.1 (2019)
- Ruf, T.; Mauck, M.; Megnin, C.; Winkler, M.; Hillebrecht, H.; Hanemann, T.
The influence on sintering and properties of sodium niobate (NaNbO₃) ceramics by "non-stoichiometric" precursor compositions
 Materials Chemistry and Physics 229, 437-447 (2019)
- Fratz, M.; Beckmann, T.; Anders, J.; Bertz, A.; Bayer, M.; Giebler, T.; Nemeth, C.; Carl, D.
Inline application of digital holography [Invited]
 Applied Optics 58, G120-G126 (2019)
- Bierer, B.; Kress, P.; Nägele, H. J.; Lemmer, A.; Palzer, S.
Investigating flexible feeding effects on the biogas quality in full-scale anaerobic digestion by high resolution, photoacoustic-based NDIR sensing
 Engineering in Life Sciences 19, 700-710 (2019)
- Weber, C.; El-Safoury, M.; Eberhardt, A.; Schmitt, K.; Wöllenstein, J.
Miniaturisierte photoakustische Detektoren für den Nachweis fluorhaltiger Kältemittel
 VDI/VDE-GMA: 20. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme. 322-327 (2019)
- Hess, T.; Maier, L. M.; Corhan, P.; Schäfer-Welsen, O.; Wöllenstein, J.; Bartholomé, K.
Modelling cascaded caloric refrigeration systems that are based on thermal diodes or switches
 International Journal of Refrigeration 103, 215-222 (2019)
- Schiller, A.; Beckmann, T.; Fratz, M.; Bertz, A.; Carl, D.; Buse, K.
Motion compensation for interferometric off-center measurements of rotating objects with varying radii
 APL Photonics 4, 071301 (2019)
- Vierhub-Lorenz, V.; Predehl, K.; Wolf, S.; Werner, C.; Kühnemann, F.; Reiterer, A.
A multispectral tunnel inspection system for simultaneous moisture and shape detection
 Erbertseder, T. [Ed.]: Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV. Proceedings of SPIE 11157, Paper 111570T (2019)
- Seyler, T.; Bienkowski, L.; Beckmann, T.; Fratz, M.; Bertz, A.; Carl, D.
Multiwavelength digital holography in the presence of vibrations: Laterally resolved multi-step phase-shift extraction
 OSA: Digital Holography and Three-Dimensional Imaging. Paper Tu4B.5 (2019)
- Seyler, T.; Bienkowski, L.; Beckmann, T.; Fratz, M.; Bertz, A.; Carl, D.
Multiwavelength digital holography in the presence of vibrations: Laterally resolved multistep phase-shift extraction
 Applied Optics 58, G112-G119 (2019)

- Schiller, A.; Beckmann, T.; Fratz, M.; Bertz, A.; Carl, D.; Buse, K.
Multiwavelength holography: Height measurements despite axial motion of several wavelengths during exposure
 OSA: Digital Holography and Three-Dimensional Imaging. Paper Tu4B.3 (2019)
- Schiller, A.; Beckmann, T.; Fratz, M.; Bertz, A.; Carl, D.; Buse, K.
Multiwavelength holography: Height measurements despite axial motion of several wavelengths during exposure
 Applied Optics 58, G48-G51 (2019)
- Lyu, X.; Gao, H.; Schmitt, K.; Tarantik, K.; Wöllenstein, J.
Niedertemperatur-Pellistoren aus mesoporösem Au-Pd@Co3O4
 VDI/VDE-GMA: 20. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme. 498-503 (2019)
- Schlager, D.; Miernik, A.; Lamrini, S.; Vogel, M.; Teichmann, H.-O.; Brandenburg, A.; Schütz, J.
A novel laser lithotripsy system with automatic real-time urinary stone recognition. Computer controlled ex vivo lithotripsy is feasible and reproducible in endoscopic stone fragmentation
 The Journal of Urology 202, 1263-1269 (2019)
- Leidinger, M.; Reiterer, A.; Steiger, D.
Pavement Profile Scanner PPS-Plus – Unerreichte Präzision bei hohen Geschwindigkeiten
 Schäfer, F. [Ed.]: Straßenbau in der Praxis: 1. Kolloquium. 327-331 (2019)
- Coutard, J.-G.; Glière, A.; Fedeli, J.-M.; Lartigue, O.; Skubich, J.; Aoust, G.; Teulle, A.; Strahl, T.; Nicoletti, S.; Carras, M.; Duraffourg, L.
Photoacoustic cell on silicon for mid-infrared QCL-based spectroscopic analysis
 Piyawattanametha, W. [Ed.]: MOEMS and Miniaturized Systems XVII. Proceedings of SPIE 10931, Paper 109310V (2019)
- Kühnemann, F.
Photoacoustic detection of CO₂
 Gerlach, G. [Ed.]: Carbon Dioxide Sensing. Fundamentals, Principles, and Applications. Weinheim, Wiley-VCH, 191-213 (2019)
- El-Safoury, M.; Dufner, M.; Weber, C.; Schmitt, K.; Pernau, H.-F.; Willing, B.; Wöllenstein, J.
Photoakustisches Gasmesssystem zur Bestimmung des Schwefeldioxidgehaltes in Schiffsabgasen
 VDI/VDE-GMA: 20. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme. 425-429 (2019)
- Groß, H.; Dankwort, T.; Hansen, A.-L.; Schürmann, U.; Düppel, V.; Poschmann, M.; Meingast, A.; Groeneveld, D.; König, J. D.; Bensch, W.; Kienle, L.
Purification by SPS and formation of a unique 3D nanoscale network: The showcase of Ni-Cr-S
 Journal of Materials Chemistry C 7, 15188-15196 (2019)
- Nitzsche, P.; Dinc, C.; Schmitt, K.; Wöllenstein, J.
Quantum cascade laser-based tunable laser absorption spectroscopy for the detection of stable isotopes of CO₂
 VDI/VDE-GMA: 20. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme. 130-135 (2019)
- Breunig, I.; Buse, K.
Quasi-phase matching in integrated lithium-niobate whispering galleries
 Kudryashov, A. V. [Ed.]: Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XXI. Proceedings of SPIE 10904, Paper 1090403 (2019)
- Uluda, M.; Szabados, J.; Breunig, I.; Buse, K.
Radially-poled stoichiometric Lithium Tantalate microresonators for nonlinear-optical applications
 IEEE: Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference, CLEO/Europe-EQEC. 1 pp (2019)
- Blug, A.; Regina, D. J.; Eckmann, S.; Senn, M.; Bertz, A.; Carl, D.; Eberl, C.
Real-time GPU-based digital image correlation sensor for marker-free strain-controlled fatigue testing
 Applied Sciences 9, 2025 (2019)
- Mesaritis, G.; Symeou, E.; Delimitis, A.; Oikonomidis, S.; Jäggle, M.; Tarantik, K.; Nicolaou, C.; Kyratsi, T.
Recycling Si-kerf from photovoltaics: A very promising route to thermoelectrics
 Journal of Alloys and Compounds 775, 1036-1043 (2019)
- Schlager, D.; Miernik, A.; Lamrini, S.; Vogel, M.; Teichmann, H.-O.; Brandenburg, A.; Schütz, J.
Reply by authors
 The Journal of Urology 202, 1269 (2019)
- Kapp, J.; Weber, C.; Schmitt, K.; Pernau, H.-F.; Wöllenstein, J.
Resonant photoacoustic spectroscopy of NO₂ with a UV-LED based sensor
 Sensors. Online journal 19, 724 (2019)
- Bernhardsgrütter, R. E.; Hepp, C. J.; Schmitt, K.; Jäggle, M.; Pernau, H.-F.; Wöllenstein, J.
Robust and flexible thermal sensor using the 3-Omega-method to investigate thermal properties of fluids
 IEEE: 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII, TRANSDUCERS & EUROSENSORS. 1909-1912 (2019)
- Jakob, P.; Basler, C.; Schmid-Schirling, T.; Brandenburg, A.; Carl, D.
Schnelle Sortierung und Prüfung von Schüttgut im freien Fall am Beispiel Ventildfeder
 Steinbeis-Transferzentrum Federntechnik: Ilmenauer Federntag. 67-75 (2019)

Engel, L.; Tarantik, K.; Benito-Altamirano, I.; Pannek, C.; Prades, J. D.; Wöllenstein, J.

Screen-printable colorimetric sensors for the monitoring of toxic gases in ambient air

IEEE: IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems, FLEPS. 3 pp. (2019)

Engel, L.; Tarantik, K.; Pannek, C.; Wöllenstein, J.

Screen-printed sensors for colorimetric detection of hydrogen sulfide in ambient air

Sensors. Online journal 19, 1182 (2019)

Schmidtke, G.; Finsterle, W.; Ruymbeke, M. van; Haberreiter, M.; Schäfer, R.; Zhu, P.; Brunner, R.

Solar autocalibrating XUV-IR spectrometer system (SOLACER) for the measurement of solar spectral irradiance

Applied Optics 58, 6182-6192 (2019)

Herr, S.; Buse, K.; Breunig, I.

Tunable single-frequency lasing in a microresonator

Optics Express 27, 15351-15358 (2019)

Sturman, B.; Podivilov, E.; Werner, C. S.; Breunig, I.

Vectorial perturbation theory for axisymmetric whispering gallery resonators

Physical Review A 99, 013810 (2019)

Breunig, I.; Buse, K.

Whispering gallery optical parametric oscillators: Just a scientific oddity?

Schunemann, P. G. [Ed.]: Nonlinear Frequency Generation and Conversion: Materials and Devices XVIII. Proceedings of SPIE 10902, Paper 109020T (2019)

DOKTORARBEITEN 2019

Herr, S.; Buse, K. [Erstgutachter]; Wallrabe, U. [Zweitgutachterin]
Laseraktivität und selbst-gepumpte Frequenzkonversion in optischen Mikroresonatoren

[Freiburg, Univ., Diss., 2019]

Opitz, F.; Wöllenstein, J. [Erstgutachter]; Reindl, L. M. [Zweitgutachter]
Dynamische Modellierung des Lichtbogenofenverfahrens mit objektorientierten Beschreibungsansätzen

Düren, Shaker-Verlag, 2019

[Freiburg, Univ., Diss., 2019]

Ortiz Pérez, A.; Wöllenstein, J. [Erstgutachter]; Reindl, L. M. [Zweitgutachter]

Smart technologies for indoor environmental quality control

Düren, Shaker-Verlag, 2019

[Freiburg, Univ., Diss., 2019]

ERTEILTE PATENTE 2019

Bartholomé, K; König, J.

Klimatisierungseinrichtung mit zumindest einem Wärmerohr, insbesondere einem Thermosiphon

JP 2017520745

Bartholomé, K; König, J.

Klimatisierungseinrichtung mit zumindest einem Wärmerohr, insbesondere einem Thermosiphon

EP 3169946 B1

Bartholomé, K; König, J.

Klimatisierungseinrichtung mit zumindest einem Wärmerohr, insbesondere einem Thermosiphon

KR 101938223 B1

Bartholomé, K; König, J.

Klimatisierungseinrichtung mit zumindest einem Wärmerohr, insbesondere einem Thermosiphon

CN 106574803

Beckmann, T.; Bertz, A.; Carl, D.; Jetter, V.; Schütz, J.

Vorrichtung zur Partikelanalyse

DE 102017104801 B4

Brandenburg, A.

Verfahren und System zum Erfassen der Oberflächenbelegung einer Beschichtung auf einer Oberfläche eines bandförmigen Prüflings

DE 102018110931 B3

Kießling, J.; Kühnemann, F.; Wolf, S.

Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen räumlich kohärenter Strahlung und Verwendung der Vorrichtung zur Projektion eines Bildes

DE 102018116627 B3

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

Vorrichtung und Verfahren zum Nachweisen eines Stoffes

DE 102018115420 B3

Reiterer, A.

Vorrichtung zum Aufnehmen von überlagerten Distanz- und Intensitätsbildern

US 10,261,188

FORSCHEN IM AUFTRAG DER ZUKUNFT

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

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

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 74 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 28 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen

entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

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

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

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

www.fraunhofer.de

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für
Physikalische Messtechnik IPM
Kommunikation und Medien
Holger Kock
Heidenhofstraße 8
79110 Freiburg
holger.kock@ipm.fraunhofer.de

Neue Adresse ab 01.08.2020

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

T + 49 761 8857 - 0
F + 49 761 8857 - 224
info@ipm.fraunhofer.de

Redaktion

Holger Kock, Anja Strobel, Mirja Eschermann

Layout und Gestaltung

Adam Lipinski

Druck

Burger Druck GmbH, Waldkirch

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

Bei Abdruck oder Übersetzung ist die Einwilligung der Redaktion
erforderlich.

Besuchen Sie uns auf:

www.ipm.fraunhofer.de



Bildquellen

adisa/fotolia.com (63 u.)
Angell Unternehmenskommunikation (22 o.)
Ashkan Nasirkhani/fotolia.com (61 u.)
Axel Storz/Fraunhofer IPA (67)
black_mts/stock.adobe.com (56)
Boehringer Ingelheim microParts GmbH (24 o. und u.)
cmnaumann/fotolia.com (5 re., 64)
Dominic Wiedenmann/Fraunhofer IPM (51 o.)
Fraunhofer IAF (18 u.)
Fraunhofer IOF (19)
Fraunhofer IPM (5 li., 18 o., 20 u., 31 M., 35, 39 o. und M.,
43, 51 M., 55 M., 57)
Fraunhofer IPM/mit freundlicher Genehmigung der Amberg
Technologies AG (44)
Fraunhofer/Ines Escherich (4 M., 20 o.)
Fraunhofer-Allianz Vision (29 u.)
Holger Kock/Fraunhofer IPM (Titel, 3, 4 re., 6, 7, 10, 11,
12, 15, 16 o., 21 o., 26, 27, 28, 29 o., 30, 31 o. und u., 32,
33 u., 34, 36, 37, 38, 40, 42, 47, 48, 49, 50, 51 u., 52, 53
o. und u., 54, 55 o., 58, 59, 60, 61 o., 62, 63 o. und M.,
65, 68 u.)
Kai-Uwe Wudtke/Fraunhofer IPM (4 li., 16 u. li. und u. re.,
17 o., 22 u. re., 23, 55 u., 68 o.)
kinwun/stock.adobe.com (41 o.)
Lukas Hart (22 u. li.)
MESA K./stock.adobe.com (5 M., 46)
nikolas/stock.adobe.com (39 u.)
Norbert Kapitza (25)
Peter Sliwka (17 u. li. und u. re., Rückseite Umschlag)
rcfotostock/stock.adobe.com (33 M.)
rmoshe/stock.adobe.com (41 M.)
Robert Lucian Crusitu/shutterstock.com (33 o.)
Sergey Dubrov/stock.adobe.com (41 u.)
Spectaris (21 u.)
Stefan Adolph (29 M.)

