



**JAHRESBERICHT**  
2016 / 2017 / 2018

# INHALT

<b>1</b>	Vorwort
<b>2</b>	<b>Überblick</b>
2	90 Jahre HHI
3	Die Fraunhofer-Gesellschaft
4	Das Fraunhofer-Heinrich-Hertz-Institut HHI
5	Zahlen und Fakten über das Fraunhofer HHI
9	Mitglieder des Kuratoriums
10	Netzwerk und Auszeichnungen
11	Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland
<b>13</b>	<b>Fokusthemen am Fraunhofer HHI</b>
15	Künstliche Intelligenz für das Gesundheitswesen und die Kommunikationstechnik
17	Quantentechnologien am Fraunhofer HHI
19	Elastische optische Netze mit skalierbarer Kapazität und geringer Latenz
21	Vernetzte Datenübertragung mit sichtbarem Licht
23	Digital TWIN – Networked XR für Bauen 4.0
25	Volumetrisches Video
27	Medizinische und industrielle Bildanalyse
29	Versatile Video Coding/H.266
31	Faseroptischer Interrogator: LIGHT – measure it
33	Faseroptischer Multifunktions-Datenhandschuh: Fiber – feel it
35	Erweiterung der InP-Processline
<b>37</b>	<b>Kooperationsplattformen am Fraunhofer HHI</b>
37	Time Lab – Tomorrow’s Immersive Media Experience Laboratory
38	3IT – Innovation Center for Immersive Imaging Technologies
38	CINIQ Center – Smart Data Forum/Gemeinsam Digital
39	5G BERLIN e.V.
<b>41</b>	<b>Abteilungen am Fraunhofer HHI</b>
41	Organisationsplan des Fraunhofer HHI
43	Photonische Netze und Systeme
47	Photonische Komponenten
51	Faseroptische Sensorsysteme
55	Drahtlose Kommunikation und Netze
59	Computer Vision und Visualisierung
63	Videokodierung und Maschinelles Lernen
<b>67</b>	<b>Über uns</b>
67	Arbeiten am Fraunhofer HHI
68	Wussten Sie schon, dass...
69	Treffen Sie uns auf Messen und Veranstaltungen
71	Kontakt und Anfahrt
72	Impressum



1



2

## VORWORT

Das Fraunhofer HHI erforscht und entwickelt Technologien für die digitale Gesellschaft von morgen. Die wissenschaftlichen Themen des Instituts sind Maschinelles Lernen, Videocodierung, Computer Vision und Visualisierung, drahtlose und optische Kommunikationsnetze, photonische Komponenten und Sensorik. Das Fraunhofer HHI trägt mit einer Vielzahl von wissenschaftlichen Veröffentlichungen, mit der Entwicklung von technologischen Komponenten und mit Standardisierungsbeiträgen signifikant zu Forschung mit großer internationaler Relevanz bei. Das Institut arbeitet mit einem umfangreichen nationalen und internationalen Netzwerk von Partnern aus der Wirtschaft und Wissenschaft zusammen.

**Im Zeitraum des vorliegenden Jahresberichts konnte das Fraunhofer HHI seine wissenschaftliche und wirtschaftliche Erfolgsbilanz fortsetzen und ausbauen.**

Dabei konnte der Bereich des Maschinellen Lernens sowohl bei den Grundlagen als auch für eine Vielzahl von Anwendungen z. B. aus der Gesundheit oder der Mobilität signifikant erweitert werden. In der Videokodierung ist es gelungen, die erfolgreiche Teilnahme an der internationalen Standardisierung fortzusetzen. Die Themen Computer Vision und Visualisierung wurden konsequent weiterentwickelt und resultierten u. a. in eine Unternehmensgründung zur volumetrischen Akquise und Schätzung von 3D-Modellen. Mit den erfolgreichen Arbeiten in der drahtlosen Kommunikation konnte durch das starke Wachstum dieses Bereichs am Fraunhofer HHI eine Vielzahl von Forschungs- und Standardisierungsbeiträgen zu 5G und darüber hinaus geschaffen werden.

Im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland konnten etwa 16,2 Mio. € für die InP-Technologie investiert werden. In der Quantentechnologie gelang es der Photonik des Fraunhofer HHI, die ersten EU-Projekte zur Quantenkryptographie einzuwerben. In der Terahertzsensorik wurden wesentliche Performancegewinne erzielt, die zusätzliche industrielle Anwendungen wie z. B. in der Schichtdickenmessung ermöglichen. Mit einem neuentwickelten, hochauflösenden faseroptisch-integrierten Spektrometer gründeten im Januar 2018 vier ehemalige Mitarbeiter das Spin-Off „FiSens“ aus. Für die Unterstützung zukünftiger latenzarmer 5G-Anwendungen wurde die Entwicklung optischer Edge-Cloud-Netze in einem großen deutschen Konsortium begonnen.

## DAS HEINRICH-HERTZ-INSTITUT FEIERTE 2018 SEIN 90-JÄHRIGES BESTEHEN

Die Gründung des Heinrich-Hertz-Instituts erstreckte sich in den 1920er Jahren über mehrere Monate. Nachdem Prof. Karl Willy Wagner die Leitung des neu gegründeten Heinrich-Hertz-Instituts für Schwingungsforschung am 1. August 1927 übernahm, wurde seine Gründung formal erst am 23. Februar 1928 durch die Verleihung des Dienstsiegels seitens des Preussischen Ministers für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung abgeschlossen. 2003 wurde das Institut Teil der Fraunhofer-Gesellschaft.

Anlässlich des Jubiläums startete das Fraunhofer HHI im „Geburtsmonat“ Februar 2018 mit einer Highlight-Sammlung aus 90 Jahren Heinrich-Hertz-Institut. In wöchentlichen News-Beiträgen wurden nicht nur wichtige Persönlichkeiten des Instituts vorgestellt, sondern auch wichtige Stationen des Instituts, wie der Wiederaufbau nach dem Zweiten Weltkrieg, die Umwandlung in eine GmbH oder die Eingliederung in die Fraunhofer-Gesellschaft beleuchtet. Außerdem gaben die Artikel einen Überblick über herausragende Technologien aus 90 Jahren Forschungsgeschichte, wie automatische Bilderkennung, den nächsten Mobilfunkstandard 5G, die Weltpremiere der OmniCam-360, VLC/Li-Fi, 3D Human Body Reconstruction, HEVC und viele mehr. Den Höhepunkt der Feierlichkeiten markierte das Technology Innovation Science Match am 22. Februar 2018: In Kooperation mit der Berliner Tageszeitung „Tagesspiegel“ feierte das Institut unter dem Motto „90 Jahre exzellente Forschung für die digitale Gesellschaft der Zukunft“ mit über 700 Gästen im KOSMOS Berlin. Im Rahmen der Veranstaltung stellten 24 internationale Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Gästen ihre aktuellen Forschungsprojekte und Ergebnisse vor. Der Fokus der je zehn minütigen Vorträge lag auf der Forschungsarbeit des Fraunhofer HHI und somit auf Videotechnologie und auf der Erfassung, Übertragung und Verarbeitung von Daten.

Wir danken allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer HHI, unserem Kuratorium, der Fraunhofer-Gesellschaft sowie unseren Industriepartnern, den Förderern auf Landes- und Bundesebene und der Europäischen Union für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

**1** Prof. Dr. rer. nat. Martin Schell und Prof. Dr.-Ing. Thomas Wiegand, Institutsleiter des Fraunhofer HHI

**2** Prof. Thomas Wiegand (Mitte) und Prof. Martin Schell (r.) mit Tagesspiegelherausgeber Sebastian Turner (l.) beim Technology Innovation Science Match

# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT



Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 72 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 26 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,5 Milliarden Euro. Davon fallen mehr als 2,1 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.



## DAS FRAUNHOFER HEINRICH-HERTZ-INSTITUT HHI

Das Berliner Forschungsinstitut wurde im Jahr 1928 als Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung gegründet. Das Fraunhofer HHI mit dem heutigen Forschungsschwerpunkt Digitale Infrastruktur ist seit 2003 Teil der Fraunhofer-Gesellschaft.

### INNOVATIONEN SEIT MEHR ALS 90 JAHREN

Dem Fraunhofer HHI ist es mehrfach in seiner Geschichte gelungen, die Ergebnisse seiner Forscherinnen und Forscher zu weltweiter Sichtbarkeit zu führen. Jüngste Erfolge sind, dass etwa jedes zweite Bit im Internet gleich an zwei Stellen von Fraunhofer HHI-Technologien geprägt wird:

- Etwa 50 Prozent der Bits im Internet sind durch den Videokodierungsstandard H.264/AVC formatiert, den das Fraunhofer HHI maßgeblich mitentwickelt hat.
- Mit der Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent trifft ein Bit bei der Internetübertragung auf eine photonische Komponente, deren Kern am Fraunhofer HHI entwickelt und oft auch im Reinraum des Instituts gebaut wurde.

Die Vielfalt der Themen am Fraunhofer HHI spiegelt sich in der Aufstellung der Abteilungen des Instituts wider. Rund 570 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten an drei Standorten des Fraunhofer HHI in den Bereichen Optische Netze und Systeme, Photonische Komponenten, Faseroptische Sensorsysteme, Drahtlose Kommunikation und Netze, Computer Vision und Visualisierung sowie Videokodierung und Maschinelles Lernen.

1 Überblick deutscher Fraunhofer-Institute und Forschungseinrichtungen

2 Fraunhofer HHI-Gebäude in Berlin

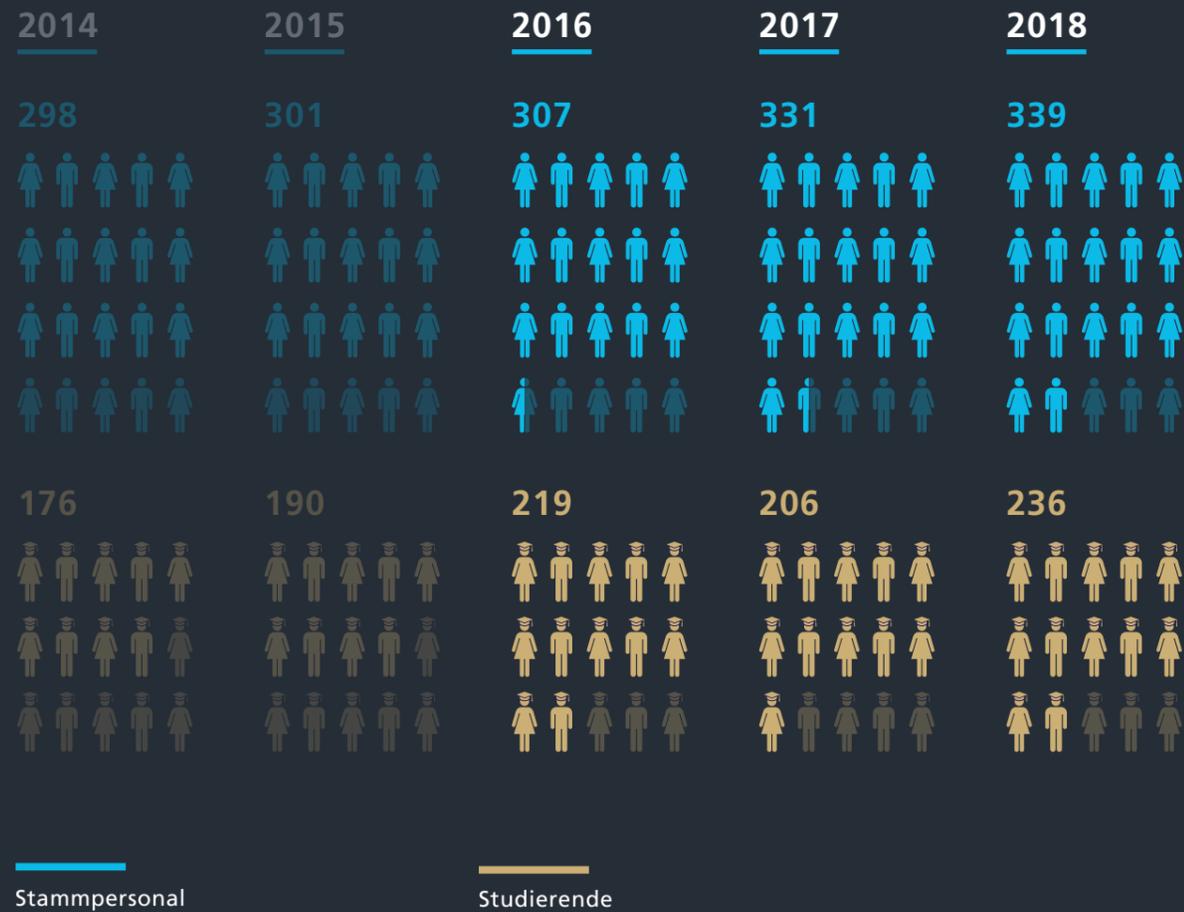
# ZAHLEN UND FAKTEN

ÜBER DAS FRAUNHOFER HHI



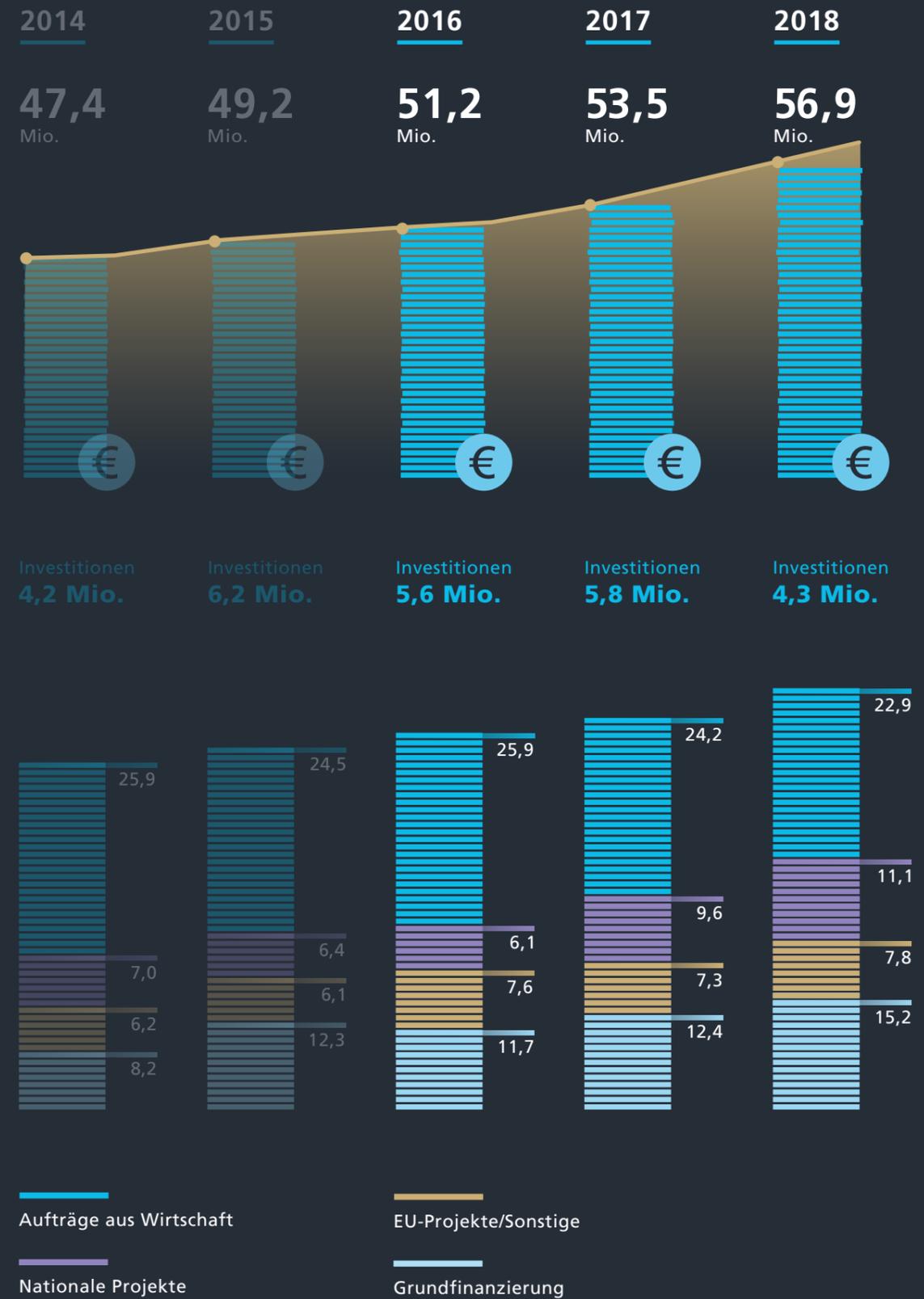
## PERSONAL

IN PERSONEN

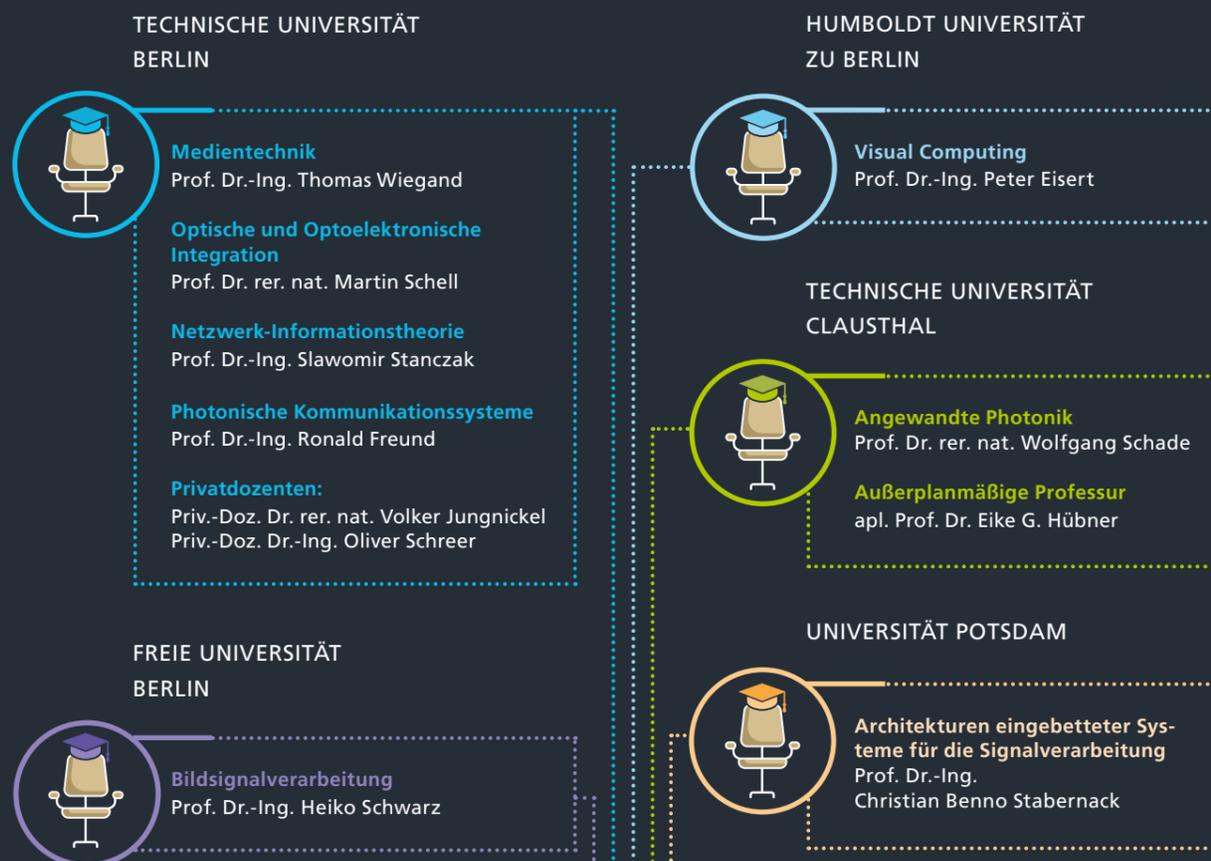


## GESAMTHAUSHALT

IN EURO



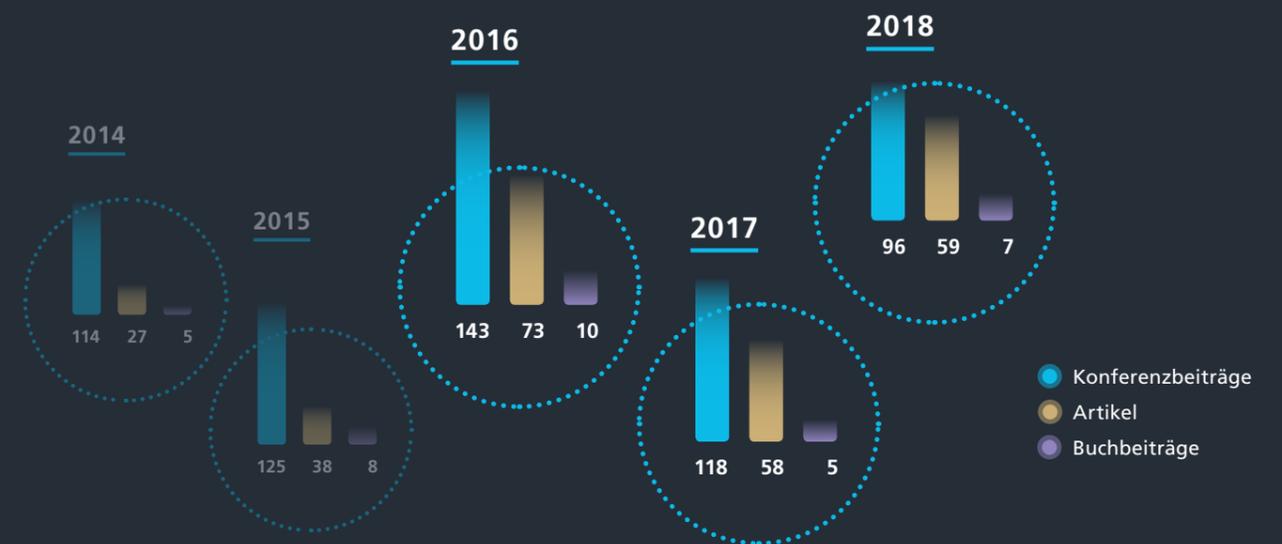
# LEHRSTÜHLE & SEMINARE



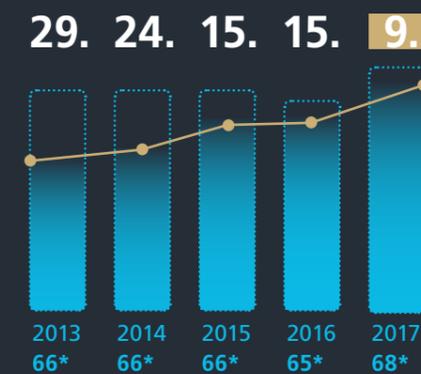
# ABSCHLUSSARBEITEN



# WISSENSCHAFTLICHE EXZELLENZ PUBLIKATIONEN



**9. PLATZ**  
UNTER ALLEN  
FRAUNHOFER-  
INSTITUTEN



\* Anzahl der Institute in der FhG



## MITGLIEDER DES KURATORIUMS

Das Kuratorium berät die Institutsleitung und fördert die Kontakte des Instituts zu Organisationen und zur Industrie.

### Prof. Dr.-Ing. Klaus Petermann,

Vorsitzender des Kuratoriums, Institut für Hochfrequenz- und Halbleiter-Systemtechnologien, Technische Universität Berlin

### Dr.-Ing. Werner Mohr,

stellv. Vorsitzender des Kuratoriums, Head of Research Alliances, Nokia Solutions and Networks GmbH & Co KG

### Ulrich Barth,

Head of Mobile Network Performance & Optimization Research, Bell Labs Stuttgart Site Leader, Nokia Bell Labs/ Alcatel-Lucent Deutschland AG

### Dr.-Ing. Christoph Glingener,

Chief Technology Officer, Chief Operation Officer, ADVA Optical Networking SE

### MinDirig Dr. Andreas Goerdeler,

Leiter der Unterabteilung VI B (Nationale und europäische Digitale Agenda), Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

### Prof. Dr.-Ing. Josef Hausner,

Division Vice President, Intel Mobile Communications GmbH

### Prof. Franz Kraus,

Vorstand, ARRI AG

### Senatsrat Bernd Lietzau,

Referat VI C (Technologietransfer, Ingenieurwissenschaften), Senatskanzlei für Wissenschaft und Forschung

### Dr. rer. pol. Michael Meyer,

Head of Strategy & Business Development Germany, Head of Government Affairs Project Office

### Prof. Dr. rer. nat. Klaus-Robert Müller,

Fachgebiet Maschinelles Lernen, Technische Universität Berlin

### Prof. Dr. rer. nat. Ralf Reulke,

Institut für Informatik, Computer Vision, Humboldt-Universität zu Berlin

### Arne Schönbohm,

Präsident, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik

### Dr. Fiona Williams,

Research Director, Ericsson Eurolab Deutschland GmbH

### Dr. Christian Winkler,

Head of Research & Senior Principal, Siemens AG, Corporate Technology



1



2



3

## NETZWERK UND AUSZEICHNUNGEN

Das Fraunhofer HHI ist international ausgerichtet und gleichzeitig eng mit der deutschen Forschungslandschaft verbunden.

### Mitglied in Fraunhofer-Verbänden:

- Mikroelektronik
- IUK-Technologie (Gast)
- Verteidigungs- und Sicherheitsforschung (Gast)

### Mitglied in Fraunhofer-Clustern:

- Life Cycle Engineering für Turbomaschinen
- Next Generation ID

### Mitglied in Fraunhofer-Allianzen :

- Ambient Assisted Living AAL
- Batterien
- Big Data und Künstliche Intelligenz
- Digital Media
- Space
- Bildverarbeitung

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer HHI wurden in den Jahren 2016 bis 2018 für ihre Forschungsarbeiten in verschiedenen Bereichen ausgezeichnet:

**Förderpreis-ARD/ZDF:** Fraunhofer HHI-Wissenschaftlerin Anna Hilsmann wurde mit ihrer Abschlussarbeit „Image Based Approaches for Photo Realistic Rendering of Complex Objects“ unter die besten drei gewählt. Beim ARD/ZDF Förderpreis „Frauen + Medientechnologie“ belegte sie im Jahr 2016 Platz zwei.

**AMA Innovationspreis:** Das Entwicklerteam des Photonik Inkubator Niedersachsen und des Fraunhofer HHI erhielten

für das Projekt „Nerven aus Glas – Faseroptische 3D-Positionierung von Herzkathetern“ den AMA Innovationspreis 2016.

**Primetime Engineering Emmy Award:** Im Jahr 2017 feierte das Institut seinen vierten Emmy gemeinsam mit Huawei, MediaTek, Nokia, Qualcomm Incorporated, Samsung und Sony Corp. für die Entwicklung des HEVC-Standards. Durch HEVC können Videos in Ultra High Definition effizient übertragen werden.

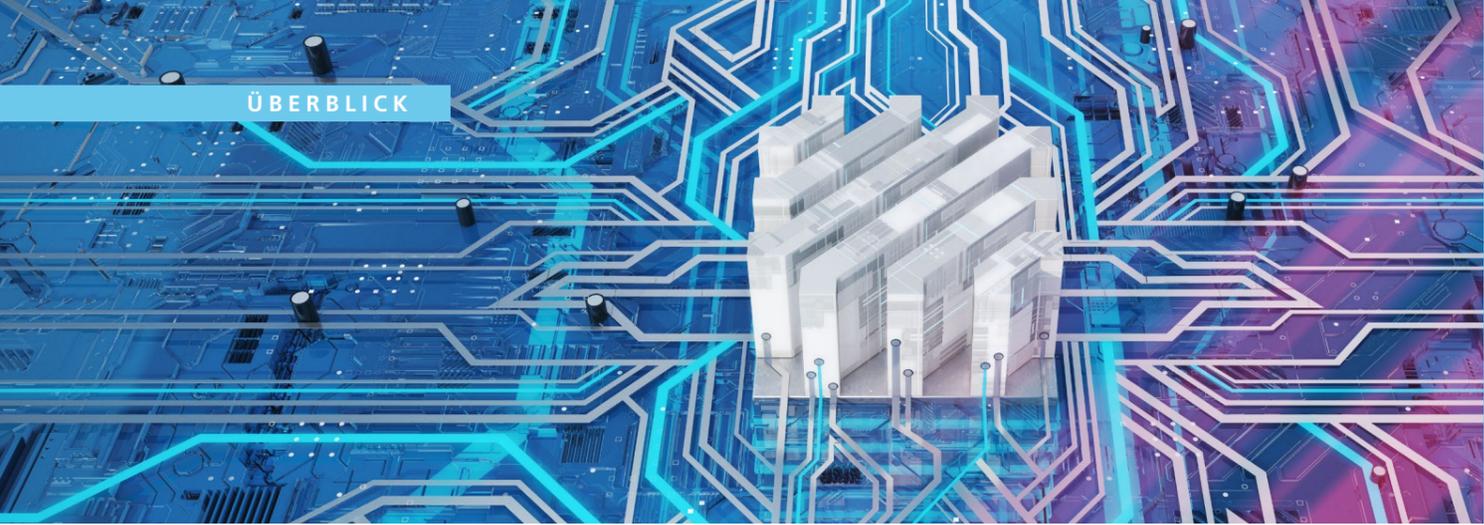
**AIS Distinguished Leadership Award:** Im Jahr 2018 wählte die Advanced Imaging Society 13 Personen aus, die mit ihrer Arbeit vorbildhaft die Branche voranbrachten. Kathleen Schröter, Leitung Kommunikation am Fraunhofer HHI, wurde als erste Europäerin mit diesem Preis ausgezeichnet.

**Leopoldina:** Prof. Dr. Thomas Wiegand wurde durch das Präsidium der Leopoldina auf Vorschlag namhafter Kolleginnen und Kollegen aus der Akademie zum Mitglied der Leopoldina in die Sektion Informationswissenschaften gewählt.

1 Anna Hilsmann (l.) bei der Preisverleihung des ARD/ZDF Förderpreises „Frauen + Medientechnologien“

2 Die HEVC-Wissenschaftler des Fraunhofer HHI Benjamin Bross (l.) und Detlev Marpe bei der Emmy-Preisverleihung in Los Angeles

3 Kathleen Schröter mit dem Distinguished Leadership Award



# FORSCHUNGSFABRIK MIKROELEKTRONIK DEUTSCHLAND

## Bundesweit koordiniertes Technologie-Know-how aus einer Hand

Das Fraunhofer HHI ist eines von 13 Mitgliedern der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) – dem mit über 2000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern größtem standortübergreifenden FuE-Zusammenschluss für die Mikro- und Nanoelektronik in Europa.

In dieser neuartigen Kooperation werden die Vorteile zweier starker dezentraler Forschungsorganisationen – der Fraunhofer-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft – mit den Synergien einer zentralen Organisation verknüpft zu dem weltweit leistungsfähigsten Anbieter für angewandte Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich der Mikro- und Nanoelektronik. Durch die enge Verzahnung und das kohärente Auftreten kann die FMD somit nicht nur Kunden aus der Großindustrie, sondern gerade den KMUs und Start-Ups einen umfassenderen und einfacheren Zugang zur nächsten Technologie-Generation bieten.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert den Aufbau der FMD mit insgesamt 350 Mio. €, die hauptsächlich auf die Modernisierung der Forschungs-ausstattung der Institute entfallen. Mit dieser Förderung möchte das BMBF die Innovationsfähigkeit der Halbleiter- und Elektronikindustrie in Deutschland und Europa im globalen Wettbewerb stärken und unterstützt das Vorhaben mit der größten Investition in Forschungsgeräte

seit der Wiedervereinigung Deutschlands. Eineinhalb Jahre nach dem Projektstart am 6. April 2017, konnten bereits viele Anschaffungen für die Modernisierung der Laboranlagen an den deutschlandweit verteilten FMD-Standorten in Betrieb genommen werden. Die feierliche Inbetriebnahme einer ersten Integrationslinie erfolgte am 28. September 2018 im Rahmen des 1. FMD Innovation Day stellvertretend am Berliner Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM. Etwa zur Halbzeit des Projekts sind die für die FMD geplanten Investitionen zu 45 Prozent erfolgreich erfüllt.

Der Aufbau der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland wird in einer zentralen Geschäftsstelle in Berlin koordiniert, wobei entsprechend der Intention einer virtuellen Organisation, weitere Standorte in Dresden und München etabliert wurden. Die FMD-Geschäftsstelle ist die zentrale Kontaktstelle für potentielle und bestehende Kunden und somit ein wesentlicher Treiber der Geschäftsentwicklung im Bereich der Mikro- und Nanoelektronik.

Um bundesweit koordinierte Technologie- und Systementwicklungen aus einer Hand anbieten zu können, hat man die technologischen Kompetenzen der Institute während der ersten Aufbauphase in sechs übergreifende Bereiche zusammengefasst und weiterentwickelt – die sogenann-

ten Technologieplattformen „Microwave und Terahertz“, „Power Electronics“, „Extended CMOS“, „Optoelectronic Systems“, „Sensor Systems“ und „MEMS Actuators“. In diesen Technologieplattformen bietet die FMD technologische Entwicklungen entlang der kompletten Wertschöpfungskette.

Neben diesen technologisch orientierten Angeboten bietet die FMD auch institutsübergreifende Anwendungslösungen aus einer Hand an. Dies ermöglicht, Kunden kombinierte und optimierte Systemlösungen mit der FMD und ihren Instituten realisieren zu können. Hierbei wird in der Forschungsfabrik synergetisch mit den Geschäftsfeldern der Institute übergreifend zusammengearbeitet.

Im letzten Jahr konnten in Kooperation mit der FMD erfolgreiche Projektbeteiligungen etabliert und Aufträge abgeschlossen werden. Für das Jahr 2018 lassen sich bereits Projekte mit einem Volumen von 41,1 Mio. € auf Basis der FMD-Investitionen identifizieren, was einen großen Erfolg in dieser frühen Phase darstellt. Der Industrieanteil bei diesem Projektvolumen lag bei bereits 30 Prozent, was die Bedeutung dieser einzigartigen Kooperation der deutschen Mikroelektronikforschung für die Industrie unterstreicht. Im Jahr 2019 geht die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland in eine nächste Phase über. Nach dem Aufbau

und der Strukturierung der Organisation wird nun der größte standortübergreifende FuE-Zusammenschluss für die Mikro- und Nanoelektronik in Europa seine Leistungsfähigkeit am Markt beweisen.



Mehr Informationen zur  
Forschungsfabrik finden  
Sie hier

**1 Regionale Auftaktveranstaltung für die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland mit der damaligen Bundesministerin Johanna Wanka und dem Institutsleiter des Fraunhofer HHI Martin Schell**



## FRAUNHOFER HHI FORSCHUNGSHIGHLIGHTS

### Zukunftsweisende Technologien und Lösungen

Die Forschungs-Highlights der letzten drei Jahre spiegeln auch die strategische Ausrichtung für die Zukunft des Fraunhofer HHI wider. Das Institut steht für angewandte Forschung im breiten Spektrum der Kommunikationstechnologien. Dabei werden interdisziplinäre Ansätze immer wichtiger. Dem stellen sich die Forscherinnen und Forscher in vermehrt abteilungsübergreifenden Projekten. Von Künstlicher Intelligenz über Quantenkommunikation, Li-Fi, Augmented Reality und Mixed Reality, Bildanalysen für Industrie 4.0 bis hin zu medizinischen Anwendungen.



## KÜNSTLICHE INTELLIGENZ FÜR DAS GESUNDHEITSWESEN UND DIE KOMMUNIKATIONSTECHNIK

In vielen Anwendungsfeldern wird Künstliche Intelligenz (KI) in naher Zukunft neue Technologien ermöglichen oder Möglichkeiten zur Verbesserung bestehender Systeme bieten. Das Fraunhofer HHI hat mit seinen Forschungsarbeiten zu großen Fortschritten in der theoretischen und algorithmischen Grundlagenforschung, der Implementierung und der Standardisierung von KI beigetragen.

### KI im Fraunhofer HHI

Im Fraunhofer HHI wurde der Einsatz von KI zur Analyse gesundheitsbezogener Datenreihen (z. B. neuronale Daten aus Elektroenzephalogrammen (EEG) und Herzfrequenzdaten aus Elektrokardiogrammen (EKG)) und medizinischer Bilddaten untersucht. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass neuronale Netze Herzinfarkte auf Basis von EKG-Daten ebenso gut automatisch vorhersagen können wie erfahrene Kardiologen. Darüber hinaus beinhalten aktuelle Forschungen des Fraunhofer HHI Möglichkeiten zur Verbesserung der Analyse gesundheitsbezogener Bilddaten (z. B. Computertomographie, Magnetresonanztomographie, funktionelle Magnetresonanztomographie) und Massenspektraldaten. Medizinische Bildgebungsverfahren sind aufgrund ihrer hohen Dimensionalität, ihrer räumlich-zeitlichen Korrelationen, fehlender Messdaten und relativ kleiner Stichprobengrößen eine große Herausforderung. Das Fraunhofer HHI entwickelt daher deep-learning-basierte Frameworks, die sich diesen Herausforderungen stellen.

Ein Großteil der über das Internet übertragenen Daten sind Multimediasignale, die bei der Kompression oder Übertragung durch Störungen oder Quantisierungsfehler beeinträchtigt werden können. Da diese Signale, in Form

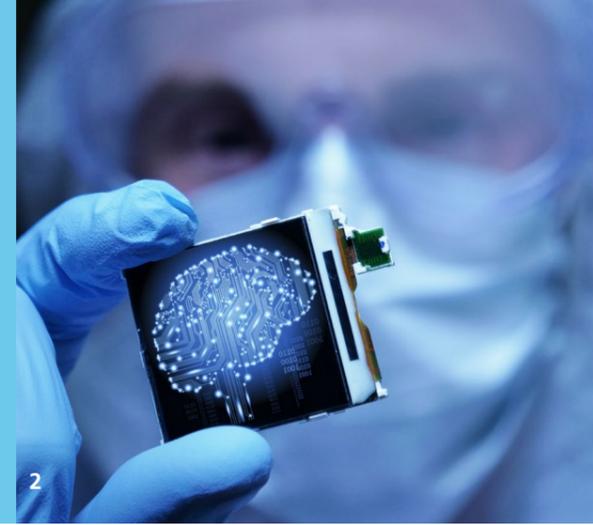
von Video oder Audio, für den Menschen bestimmt sind, ist die subjektiv wahrgenommene Qualität nach der Übertragung maßgeblich. Das Fraunhofer HHI verwendet EEG-Daten, um die wahrgenommene Qualität in Multimediasystemen zu beurteilen und nutzt Maschinelles Lernen, um die Videokodierung, gerade auch hinsichtlich der perzeptuellen Qualität, zu optimieren.

Die drahtlose Kommunikation (einschließlich 5G) bietet weitere Möglichkeiten zur Nutzung von Methoden des Maschinellen Lernens. Aufgrund der hohen Mobilität sind drahtlose Verbindungen kurzlebig und dynamisch. Sie können auch durch Rauschen beeinträchtigt sein oder Störungen ausgesetzt werden. Darüber hinaus sind die Ressourcen (z. B. Spektrum und Energie) begrenzt. Diese Faktoren können die Kapazität von drahtlosen Netzwerken einschränken.

Die vom Fraunhofer HHI entwickelten Algorithmen ermöglichen selbstorganisierende Netzwerke, die gleichzeitig die Energieeinsparung optimieren. Insbesondere erweisen sich hier hybride Verfahren, die rein datengesteuerte Algorithmen für Maschinelles Lernen mit klassischen modellbasierten Ansätzen kombinieren, als zielführend. Die Integration leistungsfähiger Edge-Cloud-Server in das Netzwerk ermöglicht zusätzliche Fortschritte in den Bereichen des Online-Lernens (d. h. Lernen bei Dateneingang) und der Virtualisierung von Netzwerkfunktionen.

### Erklärbare KI schafft Vertrauen

In all diesen Anwendungsbereichen von KI ist die Transparenz der gelernten Systeme notwendig. In der Medizin werden beispielsweise Assistenzsysteme gelernt, die den Arzt bei einer



Diagnose unterstützen, indem sie eine Empfehlung, basierend auf den gegebenen Daten, geben. Für solch eine Problemstellung ist die Transparenz in Form einer Erklärung der gelernten Entscheidung unabdingbar, da eine falsche Diagnose fatale Folgen haben könnte. Das Fraunhofer HHI hat in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin das Verfahren der sogenannten „Layer-wise Relevance Propagation“ entwickelt. Dieses Verfahren ermöglicht den Benutzenden, rückwärts durch die komplexen Netzwerke eines KI-Algorithmus zu gehen, um den Punkt, an dem eine Vorhersage gemacht wird, aufzudecken und so die Komponenten des Inputs zu identifizieren, welche die Grundlage für eine Vorhersage darstellen. Diese sogenannte Erklärbare KI (engl. Explainable Artificial Intelligence, XAI) schafft das erforderliche Vertrauen in KI-Vorhersagen in Bereichen von KI-Anwendungen, in denen es keinen Raum für Fehler gibt, beispielsweise in der Gesundheitsdiagnostik.

### Privatheit durch verteiltes Lernen

Für viele Anwendungen, insbesondere für solche im Gesundheitswesen, sind Datenschutz und der Schutz der Privatsphäre entscheidend. Deshalb stehen nicht immer alle zum Training notwendigen Daten zentral zur Verfügung. Am Fraunhofer HHI erforschte verteilte Lernverfahren ermöglichen das Training auf verschiedenen Geräten, denen jeweils unterschiedliche Daten zur Verfügung stehen. Die gelernten Einzelmodelle werden zu einem Gesamtmodell verbesserter Qualität kombiniert, ohne dass möglicherweise sensible Daten getauscht werden müssen.

### Paradigmenwechsel im Gesundheitswesen und in der Kommunikationstechnik

Bei dem aktuellen Stand der Forschung ist ein Paradigmenwechsel zu erwarten, aus dem eine stärkere Präsenz der KI hervorgeht. Bei richtiger Anwendung kann die KI bei der Erkennung, Segmentierung, Klassifizierung und Diagnose von Krankheiten helfen. Das Fraunhofer HHI verfügt über eine Vielzahl von Projekten und Aktivitäten, um die Implementierung von KI im Gesundheitswesen zu unterstützen: die Fokusgruppe „AI for Health“ (FG-AI4H), das Berliner Zentrum für Maschi-

nelles Lernen (BZML) sowie KI-Anwendungen für gesundheitsbezogene Datenreihen und Bildverfahren. Die FG-AI4H ist eine Zusammenarbeit zwischen der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und umfasst Mitglieder aus dem Gesundheits- und Technologiesektor sowie Aufsichtsbehörden. Ziel der FG-AI4H ist es, eine Plattform mit Standardsystemen zur gründlichen Bewertung von KI-Algorithmen für das Gesundheitswesen zu schaffen. Zu diesem Zweck bietet das Fraunhofer HHI Führung, Organisation und technische Unterstützung bei der Auswahl repräsentativer Trainingsdaten für die Auswertung von KI-Algorithmen sowie Expertise in XAI. Das BZML erforscht Methoden zur Integration von A-Priori-Wissen in Lernprozessen, um die Zuverlässigkeit und Robustheit von Modellen zu erhöhen. So können Kritikpunkte an KI entkräftet werden. In Zusammenarbeit mit dem Cluster „Biomedicine“ des BZML trägt das Fraunhofer HHI zu Fragen der Datenqualität (z. B. kleine Datensätze, Multimodalität und fehlende Daten) und der Transparenz von KI-Anwendungen z. B. in der Histopathologie bei.

In den kommenden Jahren werden sich neue KI-Herausforderungen in den Bereichen Gesundheitswesen, drahtlose Kommunikation, Bildverarbeitung und darüber hinaus ergeben. Das Fraunhofer HHI ist für diese Herausforderungen bestens aufgestellt und bleibt führend in den Bereichen KI und Maschinelles Lernen.

**1 Aktuelle Fortschritte in der KI basieren auf datengetriebenen und lernenden Algorithmen**

**2 Viele Methoden der KI sind von neuronalen Prozessen im Hirn inspiriert**

**3 KI sorgt für einen Paradigmenwechsel im Gesundheitswesen**

1

## QUANTENTECHNOLOGIEN AM FRAUNHOFER HHI

### Auf einen Blick

Die Digitalisierung durchdringt unsere gesamte Gesellschaft – von Industrie 4.0 über die Gesundheitsvorsorge bis hin zu kritischer Infrastruktur. Dabei gewinnen Datensicherheit und sichere Kommunikation stark an Bedeutung. Die Quantenschlüsselübertragung (engl. Quantum key distribution, QKD) ist hierfür ein vielversprechender Ansatz: Sie nutzt Quantenzustände als Informationsträger, der aufgrund fundamentaler physikalischer Gesetze weder kopiert noch unbemerkt mitgelesen werden kann. QKD, als die am weitesten entwickelte Quantentechnologie, ermöglicht damit prinzipiell absolut abhörsichere Kommunikation. Diese prinzipielle Sicherheit in praktische Sicherheit zu übertragen, ist das erklärte Ziel des Fraunhofer HHI. Dazu müssen einzelne oder wenige Photonen und Atome manipuliert werden, was hochpräzise Komponenten voraussetzt. Zudem sind völlig neue Komponenten zu entwickeln, die auf Quanteneffekten basieren oder diese messen können.

In den Abteilungen Photonische Netze und Systeme und Photonische Komponenten werden zusammen mit nationalen und internationalen Partnern Komponenten und Systeme entwickelt, um die Quantenkommunikation weiter in Richtung Marktreife zu treiben. Dabei wird am Fraunhofer HHI an verschiedenen Stellen angesetzt: Von der Entwicklung photonisch-integrierter Chips über die Entwicklung von QKD-Systemen bis hin zu Quantenrepeater-gestützten Netzwerken.

### Innovatives QKD-Protokoll

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 787, Halbleiter-Nanophotonik der Deutschen Forschungsgesellschaft, an dem drei Universitäten und vier Forschungsinstitute in und um Berlin beteiligt sind, werden verschiedene Themen im Bereich der optoelektronischen Komponenten und Nanomaterialien untersucht. Am Fraunhofer HHI wurde das Zeit-Frequenz-QKD-Protokoll implementiert, welches auf der Zeit-Frequenz-Unschärfe einzelner Lichtquanten basiert. Hierbei wurden größtenteils Komponenten aus der herkömmlichen Kommunikationstechnologie verwendet, um einen Demonstrator zu realisieren. Mithilfe der Expertise in der Freistrahloptischen Laserkommunikation wurden optische Antennen entwickelt, mit deren Hilfe QKD zwischen zwei Gebäuden des Fraunhofer HHI demonstriert werden konnte. Ein weiteres Ziel des Projekts ist die Verbesserung des Wellenlängen-Multiplexings von Quantenkommunikations- und klassischen Übertragungskanälen für bestehende Glasfaserkommunikationsnetze. Das Zeit-Frequenz-Protokoll bietet aufgrund der Möglichkeit hochdimensionaler Kodierung und der Kompatibilität mit bestehenden Technologien Vorteile gegenüber anderen QKD-Protokollen und kann sowohl über Glasfaser als auch über Freiraumübertragung verwendet werden.

### Größere Übertragungsdistanzen durch Quantenrepeater

Das Fraunhofer HHI ist einer von 24 Partnern, die sich im Projekt Q.Link.X zusammengeschlossen haben, um die Schlüsseltechnologien für Quantenrepeater (QR) zu ent-

2

wickeln. Das Ziel des Fraunhofer HHI ist die Bereitstellung einer anwendungsnahen Testumgebung aus verlegten Glasfasern, um die im Verbund entwickelten QR-Komponenten, QR-Zellen und QR-Segmente zu testen. Dabei soll der Quantenvorteil durch den Einsatz von QR in Hinblick auf größere Übertragungsdistanzen demonstriert werden. Hierfür werden die Labore des Fraunhofer HHI an verlegte Glasfasern angeschlossen. Mit den drei verschiedenen technischen Plattformen der Quantenpunkte, Diamant-Farbzentren und einer Kombination atomarer und ionischer Systeme sollen Übertragungsstrecken zwischen zehn und hundert Kilometern realisiert und die Vorteile der jeweiligen Systeme einander gegenübergestellt werden.

### Quantentechnologie für alle

Eine weitere Herausforderung, der sich das Institut stellt, ist die Quantenkommunikation für jede und jeden zugänglich zu machen. Hierzu bedarf es vor allem einer Miniaturisierung der für die QKD benötigten Komponenten. Zwar werden bereits beeindruckende Ergebnisse bei der sicheren Übertragung von Verschlüsselung mithilfe von QKD erzielt, jedoch beruhen diese zumeist auf großen Laboraufbauten mit optischen Freistrahlfunktionen, welche naturgemäß teuer und nicht integrierbar sind. Dies schränkt die praktische Anwendbarkeit von QKD in bestehenden Glasfasernetzen aktuell noch stark ein. An dieser Stelle setzt die Abteilung „Photonische Komponenten“ des Fraunhofer HHI an. Basierend auf der jahrzehntelangen Expertise im Bereich optoelektronischer Komponenten für die Telekommunikation werden integriert-optische Chips für verschiedenste QKD-Protokolle entwi-

ckelt. Hierzu ist das Fraunhofer HHI Teil von zwei Konsortien im Rahmen des Flagships „Quantentechnologie“, in welchem die EU mit Investitionen von 1 Mrd. € über die nächsten zehn Jahre ihre Wettbewerbsfähigkeit in diesem zukunftsweisenden Feld stärken wird.

Im Projekt CiViQ werden kohärente QKD-Empfänger-Chips auf Basis der InP-Technologie entwickelt und im Rahmen des Projekts UNIQORN dient die PolyBoard-Technologie als Integrationsplattform für optische Wellenleiter, mikro-optische Komponenten und nichtlineare optische Kristalle. Dies ermöglicht die Miniaturisierung von erfolgreichen Experimenten und deren Integration von der optischen Bank hin zu photonischen Chips. In beiden Projekten werden zusammen mit renommierten Partnern aus Forschung und Industrie somit die Grundlagen für die Realisierung einer „Quantentechnologie für alle“ innerhalb der nächsten Jahre gelegt.

**1** *Quantenkommunikation:  
Ein vielversprechender Ansatz  
für Datensicherheit und sichere  
Kommunikation*

**2** *PolyBoard-ppLN Hybrid-  
Untereinheit mit passiver Sing-  
lemode-Faserkopplung; ppLN  
Wellenleiterchip der Universität  
Paderborn*



1



2

3

## ELASTISCHE OPTISCHE NETZE MIT SKALIERBARER KAPAZITÄT UND GERINGER LATENZ

### Effiziente Nutzung von Glasfasern

Das Fraunhofer HHI hat innovative Lösungen entwickelt, die elastische optische Glasfasernetze mit flexibler Kapazität bis in den Terabit/s-Bereich und Reichweiten von mehreren Tausend Kilometern ermöglichen. Das Loslösen von einer starren Netzwerkdimensionierung zugunsten einer bedarfsorientierten Zuteilung der Bandbreitenressourcen in der optischen Schicht ermöglicht eine effizientere Nutzung der bereits installierten Glasfaserinfrastruktur, indem Kapazitätsreserven nutzbar gemacht werden. Forschungsgegenstand sind per Software konfigurierbare, datenratenflexible, optische Übertragungssysteme, die Übertragungskapazitäten pro Kanal in feiner Granularität bis in den Terabit/s-Bereich zur Verfügung stellen können. Anwendungen liegen sowohl im Bereich der Weitverkehrsnetze als auch im Bereich der regionalen Metronetze.

### Erhöhung der Übertragungskapazität

Neben den neuen Anforderungen hinsichtlich der Latenz ist auch der Bedarf an Übertragungsbandbreite insgesamt in den vergangenen Jahren unvermindert gestiegen. Durch die bevorstehende Einführung der 5G-Mobilfunknetze wird sich die jährliche Wachstumsrate des Datenaufkommens in den optischen Netzen drastisch erhöhen. Daher arbeitet das Fraunhofer HHI an Datenübertragungssystemen, die es erlauben, die gesamte verfügbare Bandbreite des Übertragungsmediums Glasfaser zu nutzen. Derzeit operieren kommerzielle Systeme in der Regel nur in einem einzigen Wellenlängenband und nutzen damit lediglich ca. 10 Prozent der verfügbaren Bandbreite aus. Eine Ausweitung der Übertragung auf die ungenutzten Wellenlängenbänder verspricht eine effiziente und vergleichsweise kostengünstige Erhöhung der Übertragungskapazität, da die bestehende Glasfaserinfrastruktur weiter genutzt werden kann. Dies ermöglicht den Netzbetreibern eine nahtlose Skalierung der Kapazität ihrer Glasfasernetze durch modulare Erschließung weiterer Wellenlängenbänder. Das Fraunhofer HHI arbeitet hier sowohl an der Systemoptimierung derartiger Multiband-Systeme als auch an der Entwicklung neuartiger Subsysteme und photonischer Komponenten, um die Vision einer um den Faktor 10 gesteigerten Kapazität der bestehenden Glasfaserinfrastruktur umzusetzen.

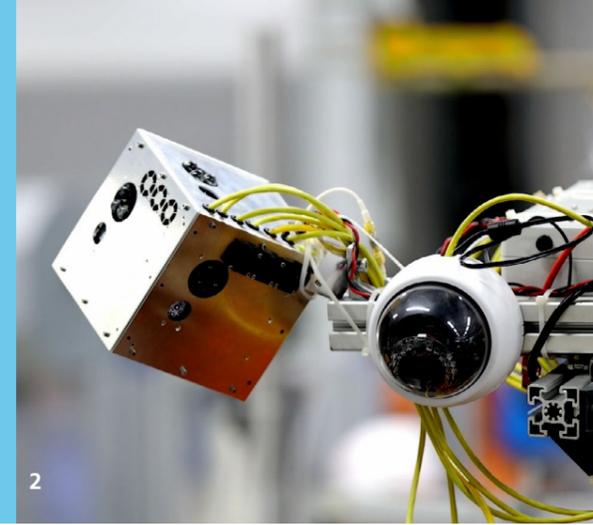
### Auf einen Blick

Künftige Anwendungen in konvergenten 5G-Netzen (Smart Cities, Industrieautomation, Cloud Services, autonomes Fahren, Telemedizin) erfordern eine leistungsfähige, skalierbare, flexible und sichere Glasfaserinfrastruktur. Dafür müssen Netzbetreiber zunehmend in die Flexibilität und Skalierbarkeit ihrer Netze investieren.

Bisher werden überdimensionierte Übertragungskapazitäten im Netz nahezu starr zugewiesen. Damit ist eine dynamische Zuweisung von Netzwerkressourcen mit geringer Latenz nicht möglich.

1 Glasfaser-basierte Subsysteme für konfigurierbare, datenratenflexible, optische Übertragungssysteme unter Ausnutzung multipler Wellenlängenbänder

2 + 3 Testlabor für Terabit pro Sekunde Datenübertragung in elastischen optischen Kommunikationsnetzen



## Auf einen Blick

Licht als drahtloses Medium ist von Natur aus sicher: Licht geht nicht durch Wände und es kann nur im Lichtkegel kommuniziert werden. Darüber hinaus ist Licht robust gegen elektromagnetische Interferenz, d. h. es kann durch Funkwellen nicht gestört werden. Die Zuverlässigkeit kann, z. B. im Fall einer möglichen Abschattung, mithilfe mehrerer Sender und mehrerer Empfänger (engl. Multiple Input Multiple Output, MIMO) wirksam erhöht werden. In Verbindung mit adaptiven, verteilten MIMO-Protokollen können mobile Anwendungen mit geringer Latenz unterstützt werden.

1 Li-Fi-Pilotinstallation in einer industriellen Produktionsumgebung

2 Detailansicht: Li-Fi-Modul montiert auf einem Roboterarm

3 Li-Fi-Pilotinstallation in einem Schulraum

## VERNETZTE DATENÜBERTRAGUNG MIT SICHTBAREM LICHT

### Li-Fi für Industrie 4.0

Industrie 4.0 will eine flexiblere Fertigung zunehmend personalisierter Produkte in geringeren Stückzahlen erreichen. Im sogenannten industriellen Internet der Dinge (engl. Internet of Things, IoT) sollen mobile Roboter und Werkzeuge drahtlos kommunizieren und mit Künstlicher Intelligenz in einer Cloudinfrastruktur vernetzt werden. Für eine störungsfreie Produktion muss die drahtlose Datenübertragung ähnlich sicher, zuverlässig und latenzarm sein wie eine kabelgebundene Datenverbindung.

Im Rahmen des vom BMBF-geförderten OWICELLS-Projekts wurde der Einsatz von Li-Fi untersucht, um die Produktionstechniken in der Automobilindustrie zu modernisieren. Das Fraunhofer HHI hat ein neues, auf dem verteilten MIMO-Ansatz beruhendes Konzept entwickelt, das eine zuverlässige, d. h. unterbrechungsfreie, Übertragung in mobilen Szenarien ermöglicht. Dafür wurden auch erste Prototypsysteme entwickelt, die auf kostengünstigen LEDs basieren und das lizenzfreie Spektrum des sichtbaren und infraroten Lichts zur mobilen Übertragung ausnutzen. Im Rahmen einer Pilotinstallation im BMW Werk München konnte erstmals eine auf MIMO basierende Li-Fi-Lösung erfolgreich demonstriert werden. Die robuste, optische Übertragung beruht zunächst auf räumlicher Diversität, d. h. Daten werden von mehreren LEDs und mehreren Photodioden gleichzeitig gesendet und empfangen. Das optische System kann Daten in Echtzeit mit mehr als 100 Mbit/s und mit weniger als fünf Millisekunden Latenz zuverlässig übertragen. Das System stellte dabei seine hohe Zuverlässigkeit bei der Durchführung von typischen Industriearbeiten wie beispielsweise Punktschweißen mit starken Strömen und Lichtblitzen unter Beweis.

### Li-Fi in Schulen

Die Nachfrage nach drahtloser Kommunikation in Gebäuden wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Li-Fi ist hier eine interessante Ergänzung zu funkbasierten Lösungen, da es eine hohe Anzahl breitbandiger Zugangspunkte für viele Nutzende ermöglicht. Mit nur wenigen Zusatzbauteilen wird die handelsübliche LED-Leuchte zum leistungsstarken Sender eines optischen WLANs. Dabei sind Datenraten von mehr als einem Gigabit pro Sekunde möglich, was z. B. für die Übertragung hochwertiger Videodaten in HD- und 4K-Qualität genutzt werden kann.

Der digitale Schulraum benötigt in Zukunft Lösungen für den gleichzeitigen Datenaustausch vieler Schülerinnen und Schüler mit dem Internet. Dafür arbeitet das Fraunhofer HHI z. B. mit dem Hegel-Gymnasium in Stuttgart gemeinsam an einem Li-Fi-Schulraum, der für unterschiedliche Unterrichtsarten genutzt werden kann. Mit dieser Pilotinstallation ist es möglich, die Li-Fi-Technik für Anwendungen im Schulumfeld zu erproben und weiterzuentwickeln.



## Auf einen Blick

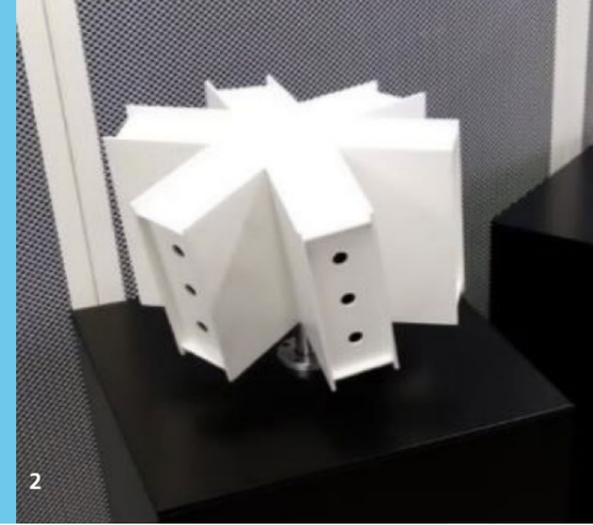
Virtual, Augmented und Mixed Reality (VR/AR/MR)-Technologien haben in den letzten Jahren einen enormen Aufschwung erfahren. Bedingt wird dies durch die großen wissenschaftlich-technischen Fortschritte auf den Gebieten der 3D-Szenenerfassung, -Tracking und -Brillentechnologien.

VR- und AR-Brillen der neuesten Generation erlauben ein nahezu latenzfreies Navigieren des Nutzers in virtuellen Welten. In der Praxis eröffnen diese Fortschritte eine Vielzahl neuartiger Anwendungsgebiete mit einem enormen Potenzial in unterschiedlichsten Marktsegmenten wie Industrie 4.0, Medizintechnik, Infotainment und Edutainment sowie im Medienbereich. Die Realisierung dieser Marktpotentiale erfordert eine leistungsfähige drahtlose Vernetzung, welche durch klassische Funktechnologien nur unzureichend gewährleistet werden kann. Daher hat die Entwicklung und Bereitstellung einer auf die Anforderungen von VR/AR-Anwendungen zugeschnittenen 5G- und Beyond-5G-Kommunikationsinfrastruktur zur Gewährleistung der benötigten hohen Datenraten, der niedrigen Übertragungsverzögerungen und der erforderlichen Zuverlässigkeit höchste Priorität.

1 Beispiel für eine Tragwerkskonstruktion im Fassadenbau

2 Prototyp eines Stahlknotens aus dem Fassadenbau

3 Exakte Positionierung des Stahlknotens mittels virtueller Führung in der AR-Brille, Demonstrator auf der BAU 2019



2



3

## DIGITAL TWIN – NETWORKED XR FÜR BAUEN 4.0

Besondere Herausforderungen weist in diesem Zusammenhang der Baubereich auf. Gründe hierfür liegen in den hohen Anforderungen an Robustheit, Einfachheit der Bedienung, Einsatz der Technik unter schwierigen Bedingungen sowie in der fehlenden technischen Infrastruktur auf der Baustelle. Andererseits ist der Bedarf an AR- und VR-basierten Visualisierungstechnologien in dieser Branche sehr hoch. Beispielsweise könnten Personen auf einer Baustelle mittels einer im Bauhelm integrierten AR-Brillentechnologie hilfreiche Zusatzinformationen zur Verfügung gestellt werden, welche Montagearbeiten erheblich erleichtern. Die Einsatzgebiete umfassen hierbei alle Bereiche eines Gebäudelebenszyklus, beginnend mit Planung und Kundenakquise über Fertigung und Montage bis hin zur Wartung, Nutzung und Rückbau.

Das vom BMWi geförderte Forschungsprojekt Digital TWIN beschäftigt sich mit genau diesen Problemstellungen. Das Fraunhofer HHI entwickelt hier zusammen mit den Projektpartnern se commerce, Planen bauen 4.0, Telegärtner, Zeiss 3DA und Werner Sobek Stuttgart eine gemeinsame digitale Plattform für alle an einem Gebäudelebenszyklus beteiligten Firmen. Ziel ist es einerseits, die Schnittstellen zwischen Planung, Fertigung, Montage, Betrieb sowie Rückbau durch IT-gestützte Werkzeuge zu verbessern. Andererseits sollen neuartige AR-/VR-basierte Visualisierungs- und Interaktionsmethoden und -werkzeuge zur technischen Unterstützung auf der papierlosen Baustelle entwickelt werden. Dabei sollen u. a. brillenbasierte AR-Systeme eingesetzt werden, die zukünftig bspw. im Schutzvisier des Bauhelms integriert sind und es dem Nutzenden erlauben, zusätzliche Informationen (Planungsmodelle, Fertigungsanweisungen) in Überlagerung mit der realen Welt einzublenden. Dazu werden neue Verfah-

ren zum 3D-Tracking, zur -Szenenanalyse und zur Registrierung von CAD-Planungsdaten mit realen Szenen entwickelt, die die AR-Visualisierung und die Überprüfung des Ist-Zustands ermöglichen sollen. Zur Ferndiagnose soll weiterhin die Kommunikation mit Remote-Arbeitsplätzen erfolgen. Ein weiteres großes Forschungsgebiet ist der Einsatz neuer Funktechnologien (5G) für die schnelle, latenzarme und flexible Vernetzung von AR- und VR-Geräten vor Ort. Unterschiedliche Endgeräte müssen effizient angebunden und dabei die geforderten Quality-of-Service Anforderungen unterstützt werden. Bedingt durch die geforderten Übertragungsraten muss eine Kombination aus klassischen im Mobilfunk genutzten Frequenzbereichen und Millimeterwellentechnologien mit großen verfügbaren Bandbreiten und inhärenter Sicherheit in Betracht gezogen werden.

Ein erster Demonstrator des Digital TWIN-Projektes wurde auf der BAU Messe 2019 in München der Öffentlichkeit präsentiert. Es wurde exemplarisch ein Stahlknoten aus dem Fassadenbau gezeigt, der sich vertikal bewegen sowie drehen und neigen lässt (Abbildungen 2 und 3) und somit eine typische Montagesituation simuliert. Eine Kamera erfasst die Position und Ausrichtung des Bauteils in Echtzeit und vergleicht diese mit einem Referenzmodell, das in einem CAD-Programm erstellt wurde. Somit kann die genaue Lage des Objekts in der Realität mit der geforderten Position im Plan verglichen werden. Dem Nutzenden werden nun beim Einbau des Stahlknotens mittels einer AR-Brille Positionierungsanweisungen in Form von virtuellen Pfeilen als Überlagerung zur realen Szene gegeben, was die Montage in der Praxis erheblich erleichtert. Schließlich wird dem Nutzenden die finale Position unter Einhaltung der geforderten Toleranzen bestätigt.



1

## Auf einen Blick

Volumetrisches Video wird weltweit als der nächste wichtige Entwicklungsschritt im Bereich der Medienproduktion angesehen. Besonders im Kontext der sehr schnellen Entwicklung auf dem Virtual Reality (VR)- und Augmented Reality (AR)-Markt wird Volumetrisches Video eine Schlüsseltechnologie werden. Die Forschenden des Fraunhofer HHI haben eine bereits mehrfach ausgezeichnete Technologie für Volumetrisches Video entwickelt: die „3D Human Body Reconstruction“ (3DHBR). Diese Technologie überführt das realistische Bild einer Person in die virtuelle Welt.

1 Prototyp des ersten volumetrischen Videostudios auf dem europäischen Festland

2 Einblick in die Gemeinschaftsproduktion mit der UFA „Ein ganzes Leben“



2

## VOLUMETRISCHES VIDEO

### Von der Forschung in die professionelle Produktion

Die Technologie „3D Human Body Reconstruction“ nimmt reale Personen gleichzeitig mit mehreren Kameras auf und erzeugt sich natürlich bewegende, dynamische 3D Modelle, die dann aus unterschiedlichen Blickrichtungen in der virtuellen Szene betrachtet werden können. Das Aufnahmesystem für Volumetrisches Video besteht aus 16 Stereokameras, welche die 3D-Information über die Person aus allen Richtungen erfassen. Dies ist vergleichbar mit dem dreidimensionalen Sehen des menschlichen Auges. Die so gewonnene 3D-Information wird fusioniert und in eine konsistente, natürliche und dynamische 3D-Darstellung der Person überführt.

Nachverarbeitungsmodule passen die Datenstrukturen und Formate entsprechend an, sodass eine direkte Integration in standardisierte Post-Produktionsprozesse und Virtual Reality-Software für VR-Brillen und AR-Anwendungen möglich ist. Im Gegensatz zur klassischen Animation von virtuellen Charakteren werden Gesichtsausdrücke und sich bewegende Kleidung erfasst und mit einem hohen geometrischen Detail und hoher Texturqualität rekonstruiert. Dadurch wird ein Maximum an Natürlichkeit des visuellen Eindruckes erzielt. Der komplette Verarbeitungsprozess verläuft dabei vollautomatisch.

Neben der Verarbeitung von dynamischen 3D-Modellen wurde ein neues integriertes Mehr-Kamera- und Beleuchtungssystem für die vollständige 360-Grad-Aufnahme von Personen entwickelt. Das System ermöglicht diffuse Beleuchtung aus jeder Richtung, automatisches Keying und eine flexible Mehr-Kamera-Anordnung. Die Vermeidung von Green Screen-Segmentierungstechniken und die Bereitstel-

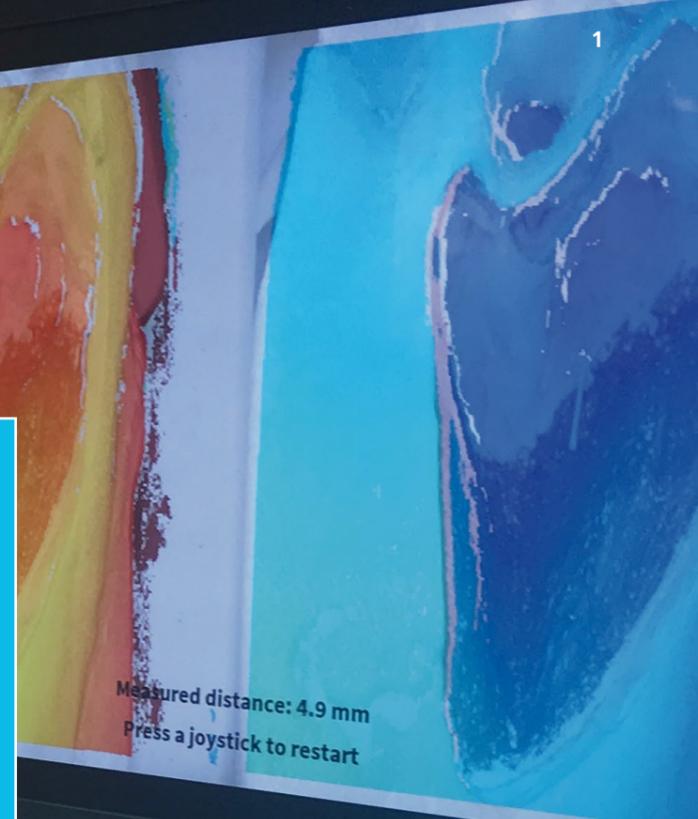
lung von diffuser Beleuchtung aus allen Richtungen liefert damit die bestmöglichen Bedingungen für ein sog. Re-Lighting, die nachträgliche kreative Beleuchtung des 3D-Modells in der virtuellen Szene. Im Oktober 2017 wurde ein erster Prototyp dieses neuen Aufnahme- und Verarbeitungssystems am Fraunhofer HHI aufgebaut (siehe Abbildung 1). Zusammen mit der UFA GmbH erfolgte dann die erste weithin beachtete VR-Produktion, die mit Volumetrischem Video produziert wurde. Diese VR-Produktion mit dem Titel „Ein ganzes Leben“ ist Bestandteil der ständigen Ausstellung im Filmmuseum am Potsdamer Platz in Berlin (siehe Abbildung 2). Diese und andere Testproduktionen erzeugten große Aufmerksamkeit in der Medienbranche in Berlin-Brandenburg, sodass entschieden wurde, diese Technologie in ein kommerzielles Produktionsumfeld zu überführen. Mit Unterstützung des Ministeriums für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg gründete die Fraunhofer-Gesellschaft zusammen mit den Firmen ARRI, Studio Babelsberg, Interlake und UFA deshalb die Volucap GmbH.

Im Juni 2018 konnte schließlich das erste Volumetrische Studio auf dem europäischen Festland im Filmpark Babelsberg eröffnet werden. Dieses neue Studio stellt eine verbesserte Version des Forschungsprototypen dar und verwendet aktuellste Rechner-technologie. Seit November 2018 produziert das Studio nun kommerzielle Produktionen in den verschiedensten Genres wie z. B. Unterhaltung, Mode, Werbung, kulturelles Erbe und vielen mehr.



## Auf einen Blick

Minimal-invasive Eingriffe mit Endoskopen oder Operationsmikroskopen sind Standard in der Chirurgie. Diese Art des medizinischen Eingriffs verkürzt den Heilungsprozess und verbessert die hygienischen Rahmenbedingungen für das bestmögliche Operationsergebnis. Dennoch ist diese Art zu operieren ein zeit- und ressourcenaufwendiges chirurgisches Verfahren, das hohe Anforderungen an das OP-Personal und die eingesetzte Technik setzt. Daher untersucht das Fraunhofer HHI den Einsatz von Computer Vision-Algorithmen für echtzeitfähige intraoperative Assistenz- und Navigationsfunktionen, die den gesamten chirurgischen Arbeitsablauf unterstützen. Das Institut arbeitet dabei insbesondere an Lösungen für ein interaktives und multimodales Augmented-Reality-System für die computergestützte HNO-Chirurgie. Die Verarbeitungspipeline nutzt dabei u. a. digitale stereoskopische Bildaufnahmegeräte, die multispektrale Abbildungen und Weißlichtverfahren zur Erzeugung hochauflösender Bilddaten unterstützen. Multimodale Bildanalyse, bi-direktionale interaktive Augmented Reality (AR) sowie Mixed Reality (MR) werden in den Projekten MultiARC, COMPASS und 3D-Horopter behandelt.



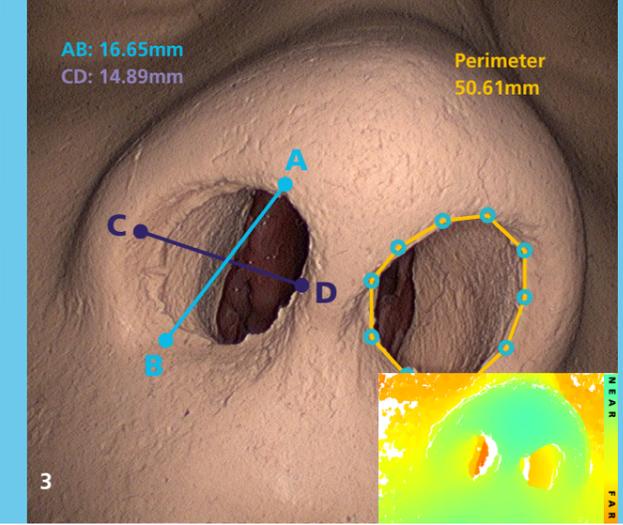
1 *Digitales Operationsmikroskop mit integrierter Fraunhofer HHI-Vermessungslösung*

2 *Mobile Erfassung von Ersatzteilen in industriellen Anwendungen*

3 *Bildbasierte 3D-Messungen für intraoperative Unterstützung*



2



3

## MEDIZINISCHE UND INDUSTRIELLE BILDANALYSE

### Medizinische Bildanalyse

Die hybride multimodale 3D-Szenenanalyse nutzt unterschiedliche Wellenlängen zur Klassifizierung von Gewebestrukturen und kombiniert diese Spektraldaten mit metrischen 3D-Informationen. Die Gewebeproben werden im sichtbaren sowie nahen Infrarot (IR)-Bereich analysiert. Zusätzlich wird ein intraoperatives Software-Werkzeug zum Einsetzen von virtuellen Ossikelprothesen (z. B. Stapedektomie) verwendet, das 3D-Messungen mit sehr hoher metrischer Genauigkeit im Submillimeterbereich garantiert. Um diese Genauigkeit zu erreichen, wurde ein zoomunabhängiges Kalibrierwerkzeug entwickelt. Darüber hinaus verwendet das Fraunhofer HHI 3D-Rekonstruktionsmethoden, um anatomische 3D-Karten für die chirurgische Navigation in menschlichen Körperhöhlen zu erstellen, da die derzeit existierenden chirurgischen Navigationssysteme wie elektromagnetisches Tracking oder IR-basierte optische Trackingsysteme lediglich eine rein passive Funktion haben und fehleranfällig gegenüber externen Störungen (Interferenzen, line-of-sight) sind.

Darüber hinaus wurden Bilddaten analysiert, um Vitaldaten wie Pulsfrequenz, lokale Durchblutung und lokale Gewebeverformung zu erkennen und zu klassifizieren. Alle diese Informationen können über ein bidirektionales interaktives AR/MR-Kommunikationsmodul, das aussagekräftige Informationen gewährleistet und so Informationsüberlastung vermeidet, direkt im Sichtfeld des Chirurgen angezeigt werden.

Die Vorteile eines solchen kollaborativen chirurgischen Systems sind vielfältig und werden zu einem stark verbesserten Patientenergebnis durch eine vereinfachte Gewebeklassifizierung, eine geringere Operationsbelastung und

eine Verringerung des Operationsrisikos führen. Zusätzlich ermöglicht die digitalisierte Verarbeitungskette die Aufzeichnung von annotierten OP-Videoaufnahmen für die chirurgische Ausbildung und eine umfangreiche Dokumentation des Eingriffs für die postoperative Analyse.

### Industrielle Bildanalyse

In den Projekten EASY-COHMO und M3D wird die nahtlose Integration von AR-Visualisierungen auch in industriellen Arbeitsabläufen zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion und -Kooperation genutzt. Zeitaufwändige und riskante Aufgaben können durch diese Assistenz schneller und mit geringerem Risiko erledigt werden.

Um Industrieobjekte während der Wartung automatisch zu identifizieren, wurde ein generisches Ersatzteilerkennungssystem entwickelt. Eine dazugehörige Mobile App ermöglicht die Aufnahme von Bildern des untersuchten Gegenstands und sendet diese zur Analyse und Identifikation an einen Cloud-basierten 3D-Rekonstruktionservice.

Projektor-Kamera-Systeme ergänzen reale Arbeitsumgebungen mit zusätzlichen Informationen, wobei ein robustes Objekt-Tracking die raumstabile Erweiterung gewährleistet. Das Tracking nutzt CAD-Modelle der sichtbaren Bauteile und registriert deren Kontur- und Texturinformationen sowie die simulierte Reflexion der Projektion auf die 3D-Objektfläche mit dem Kamerabild. Das Fraunhofer HHI hat ein Multisensorsystem entwickelt, in dem auch Gesten- und Handerkennungsmodule integriert sind. Somit haben die Forschenden eine immersive Echtzeit-Interaktion zur Lösung von Inspektionsaufgaben für die Industrie 4.0 etabliert.



## Auf einen Blick

Die globalen Wachstumsraten aller Arten von Internet-basierten Videodaten sind ungebrochen; derzeit wird eine Verdreifachung des Datenaufkommens für Internet-Video bis 2022 prognostiziert. Dabei soll der Anteil von IP-basiertem Video an dem globalen Datenaufkommen bis 2022 auf über 80 Prozent steigen. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass der Anteil an Fernsehgeräten mit 4K-Auflösung in den Haushalten auf nahezu zwei Drittel anwachsen wird. Damit kommen der effizienten Kodierung, dem Transport, der Verarbeitung und der Analyse von zunehmend höher aufgelösten Videosignalen eine immer größer werdende Bedeutung zu.



## VERSATILE VIDEO CODING/ H.266

Die Abteilung „Videokodierung und Maschinelles Lernen“ befasst sich mit allen relevanten Aspekten der damit verbundenen Forschungsbereiche. Sie hat bereits in der Vergangenheit mit ihren maßgeblichen Beiträgen zu den internationalen Videokodierungsstandards H.264/MPEG-AVC und H.265/MPEG-HEVC dazu beigetragen, die Schlüsseltechnologien für die zunehmende Verbreitung von digitalem Video im alltäglichen Leben bereitzustellen. Diese Beiträge wurden bereits viermal mit einem Emmy Award gewürdigt. Der Emmy der National Academy of Television Arts & Sciences gilt als einer der bedeutendsten US-amerikanischen Fernsehpreise.

Um die Arbeit an einem gemeinsamen zukünftigen Nachfolgestandard von H.265/MPEG-HEVC zu initiieren, haben die ITU Video Coding Expert Group (VCEG) und die ISO/IEC Moving Pictures Expert Group (MPEG) im Oktober 2017 einen gemeinsamen Aufruf zur Einreichung von Vorschlägen, dem sogenannten „Joint Call for Proposals“ für neue Videokodierertechnologie im Rahmen des „Joint Video Experts Teams (JVET)“ veröffentlicht. Nachdem das Fraunhofer HHI und andere führende Technologieunternehmen vielversprechende Vorschläge zur HEVC-Nachfolge eingereicht haben, hat im April 2018 die Standardisierung des „Versatile Video Coding (VVC)“ genannten HEVC-Nachfolgers begonnen. Der Vorschlag des Fraunhofer HHI enthielt neben der konsequenten Weiterentwicklung bereits bekannter Technologien auch neue Kompressionsmethoden, die beispielsweise mithilfe Maschinellen Lernens entwickelt wurden. Im Vergleich mit HEVC erzielte dieser Vorschlag eine Bitratenreduktion von bis zu 40 Prozent bei gleicher Bildqualität. Damit gehörte der Fraunhofer HHI-Vorschlag zu den besten in allen drei getesteten Kategorien (Standard-, High Dynamic Range- und 360-Grad-Video).

In der im April 2018 begonnen Standardisierungsphase von VVC werden nun die besten Vorschläge gründlich auf Komplexität, Implementierbarkeit und Kompressionseffizienz überprüft, bevor sie in den vorläufigen Standard übernommen werden. Von den vom Fraunhofer HHI eingereichten Techniken haben bereits fünf diese Prüfung bestanden und es in den vorläufigen Standard geschafft. Andere werden aktuell noch weiter untersucht sowie stetig verbessert. Die aktuelle Kompressionseffizienz des vorläufigen VVC-Standards wurde im Januar 2019 bereits dem Fachpublikum am Fraunhofer-Stand auf der Consumer Electronics Show (CES) in Las Vegas präsentiert. Hier staunten Experten sowie technisch interessierte Entscheiderinnen und Entscheider über ein 4K-Video, das, mit VVC komprimiert, auch bei extrem niedrigen Bitraten von 2 Megabit pro Sekunde noch beeindruckte Qualität aufweist. Die erste offizielle finale Version des neuen VVC-Standards soll im Herbst 2020 verabschiedet werden.

**1** Beispiel für die neue, extrem flexible Blockaufteilung von VVC

**2** Mobiles und hochaufgelöstes 4K-Video als ein Hauptanwendungsgebiet von VVC

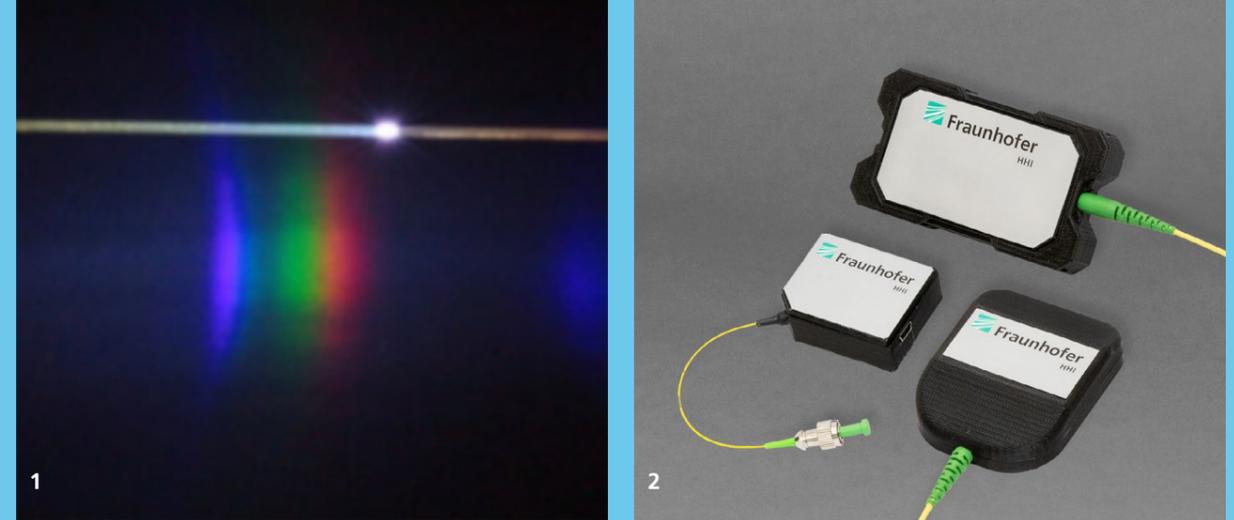
**3** Einer von vier Emmys des Fraunhofer HHI, mit denen die VVC-Vorgänger ausgezeichnet wurden

## Auf einen Blick

Eine grundlegende Voraussetzung zur erfolgreichen Umsetzung von Digitalisierungsstrategien im industriellen Umfeld ist die Bereitstellung einer geeigneten Sensorik. Neueste Entwicklungen der Femtosekunden-Lasertechnologie ermöglichen es, mit Direkt-Schreibverfahren Faser Bragg Gitter (FBG) mit hoher Präzision und größtmöglichem Grad an Flexibilität in verschiedensten optischen Fasern herzustellen. Hiermit eröffnen sich für die FBG-Technologie völlig neue Möglichkeiten im Bereich der optischen Sensorik. Damit die FBG-Messtechnik trotz eindeutig technischer Überlegenheit auch wirtschaftlich konkurrenzfähig zu bestehenden elektrischen Sensoren ist, müssen leistungsfähige, miniaturisierte und robuste Auswerteeinheiten (Interrogator) für die FBG-Messtechnik verfügbar sein.

**1** Räumlich und spektral aufgelöste Auskopplung von Weißlicht durch ein Chirped Scattering Center (CSC)-Element im Kern einer Singlemode Glasfaser

**2** FBG-Auswertesysteme mit integrierter Breitbandlichtquelle und CSC-Element



## FASEROPTISCHER INTERROGATOR: LIGHT – MEASURE IT

### Lösung

Das am Fraunhofer HHI entwickelte und patentierte Punkt-zu-Punkt Faser Bragg Gitter (FBG)-Schreibverfahren mittels Femtosekunden-Lasertechnik ermöglicht es, hochpräzise unterschiedlichste Typen von Bragg Gittern (Standard-FBG, apodisierte FBG,  $\pi$ -shifted FBG, chirped FBG etc.) in nahezu sämtliche Fasertypen direkt mit einem vollautomatisierten Prozess einzuschreiben, ohne die Glasfaser vorher bzw. auch anschließend zu bearbeiten. Auf der Grundlage dieser Technologie wurden am Fraunhofer HHI neuartige Systemkomponenten für faseroptische Sensoren und Interrogatoren entwickelt. Hierzu gehört u. a. das faseroptisch integrierte Chirped Scattering Center (CSC)-Element. Dazu werden in den Kern einer Singlemode-Glasfaser mit dem Laserprozess Streuzentren derart eingebracht, dass das in der Faser geführte Licht räumlich und spektral aufgelöst lateral auskoppelt wird. Die Abbildung 1 zeigt diesen Effekt sehr anschaulich. Damit ist es auf einfachste Weise möglich, weißes Licht in seine Spektralfarben zu zerlegen.

Auf der Grundlage des CSC-Faserelementes lässt sich ein völlig neuartiges, extrem miniaturisiertes und ultraleichtes FBG-Auswertesystem herstellen, welches ohne jegliche Koppel- und Verbindungselemente auskommt, indem das spektral breitbandige Licht einer Superlumineszenzdiode (SLED) oder einer LED an dem einem Ende der Faser eingekoppelt und über das CSC-Faserelement zu den jeweiligen Sensor-FBGs geleitet wird. Die Sensor-FBGs reflektieren die Lichtintensitäten in Richtung der CSC-Struktur zurück, die entsprechend der jeweiligen Bragg-Gitterkonstanten kodiert sind und beim Auftreffen auf die CSC-Struktur räumlich und spektral aus der Faser herausgestreut und anschließend durch Abbildung auf eine CCD-Zeile oder einem Photodiodenarray in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Auf der Grundlage dieses neuartigen Konzeptes

wurden verschiedene Module faseroptischer Interrogatoren entwickelt und hergestellt, die sich durch ultraleichtes Gewicht, extreme Miniaturisierung, Robustheit und modulare, kundenspezifische Systemausführungen auszeichnen. So können neben unterschiedlichen Spezifikationen, wie Temperaturkompensation, autarken Batteriebetrieb oder drahtlose Datenkommunikation, auch applikationsspezifische Wellenlängenbereiche (850 bzw. 1550 nm) mit wählbaren Lichtquellen (LED oder SLED) sowie spektrale Auflösungen (10-50 nm) bereitgestellt werden.

### Umsetzung

Das vollständig faseroptisch integrierte Interrogator-Modul wird am Fraunhofer HHI als zentrale Systemkomponente für verschiedenste Anwendungen weiterentwickelt bzw. eingesetzt. Beispiele sind Messsysteme zur Strukturüberwachung kritischer Bauteile, zur Bestimmung laminarer und turbulenter Windströmungen, als Ergänzung zu Batteriemanagementsystemen in sogenannten Second Life-Batterien oder in Datenhandschuhen als intuitive Mensch-Maschine-Schnittstelle. Drei der an der Entwicklung dieser Technologie am Fraunhofer HHI beteiligten Wissenschaftler haben Anfang 2018 ein Spin-off-Unternehmen gegründet, mit dem sie Lizenz-CSC-Strukturen für faserbasierte Minispektrometer entwickeln, um diese anschließend für unterschiedliche Anwendungsbereiche zu vermarkten.



## FASEROPTISCHER MULTIFUNKTIONSDATENHANDSCHUH: FIBER – FEEL IT

### Lösung

Das Ziel dieses Projektes ist es, für Patientinnen und Patienten mit Gefühlsverlust in einer Hand mithilfe einer nicht-invasiven Technologie das Gefühl empfinden wiederherzustellen. Dies erfolgt mit zwei miteinander kommunizierenden Komponenten, einem Sensorhandschuh und einer Aktor-Manschette. Der Handschuh ist dabei derart mit Sensoren ausgestattet, dass sowohl Finger- und Handbewegungen als auch Gefühl – sprich Temperatur- und Druckempfindungen – in Echtzeit erfasst und anschließend digitalisiert an die Aktor-Komponente übertragen werden. Auf Grundlage der am Fraunhofer HHI entwickelten Technologieplattform FiberLab werden mit Femtosekunden-Lasertechnik geeignete funktionalisierte faseroptische Sensorfasern in einen Handschuh integriert, so dass motorische und sensorische Grundfunktionen wie dreidimensionale Bewegungen von Fingern und der Hand sowie Erfassung von Temperatur und Anpressdruck in Echtzeit bestimmt werden können. Die wesentlichen Vorteile dieses faseroptischen Datenhandschuhs gegenüber dem Stand der Technik bestehen in dem Grad der Miniaturisierung, der hohen mechanischen Flexibilität des Handschuhs mit den integrierten Sensoren, die erstmals eine nahezu uneingeschränkte Beweglichkeit der Finger und der Hand ermöglichen, sowie insbesondere in der sensorischen Multifunktionalität. Die Praktikabilität des faseroptischen Datenhandschuhs wird durch den Einsatz einer neuartigen elektrooptischen Sendeeinheit (Interrogator) gewährleistet, welche hinsichtlich des Grades an Miniaturisierung, des Gewichts und der Leistungsfähigkeit so bisher nicht bekannt ist und vollständig in den Handschuh integriert wurde. Die gesamte Systemsteuerung (Lichtquelle und spektrale Signalerfassung) einschließlich Datenauswertung erfolgt in einem integrierten

Mikrocontroller. Das System ist vollständig batteriebetrieben und die Abtastrate beträgt 50 Hz, so dass eine Datenerfassung in Echtzeit gewährleistet ist. Der Datenhandschuh überträgt die motorischen und sensorischen Grundfunktionen der Hand sowie der Finger digitalisiert via Bluetooth oder WiFi an die Aktor-Manschette. Diese ist fest am Unterarm fixiert und überträgt die digitalisierten Ausgangssignale des multifunktionalen Datenhandschuhs kodiert an intakte Nerven im Unterarm des Patienten. Damit ist es möglich, dem Patienten bisher gestörte Gefühlsempfindungen über alternative Reize wieder beizubringen.

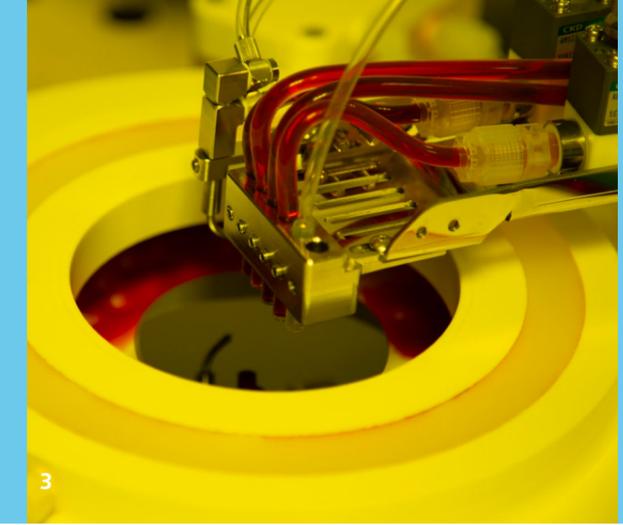
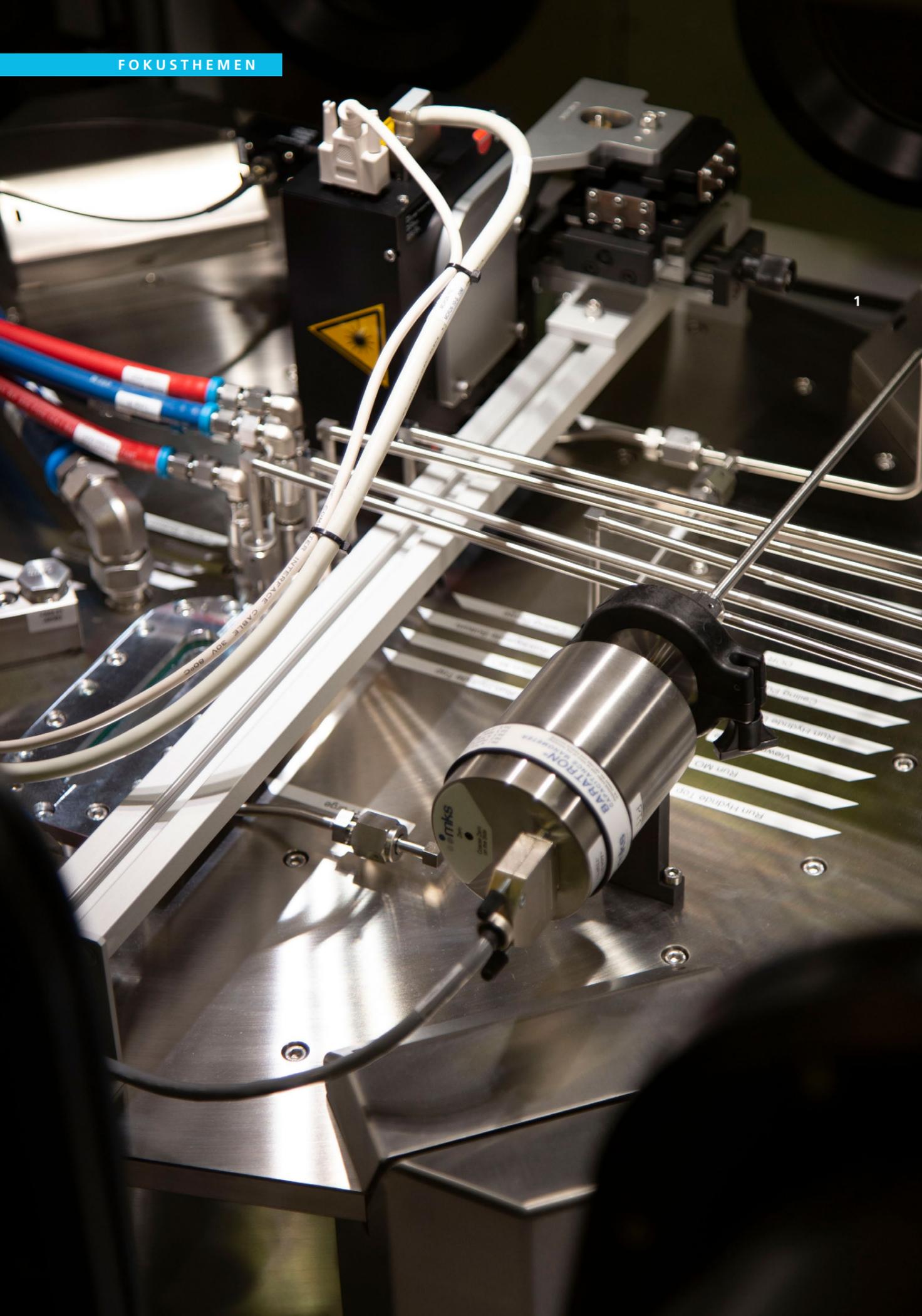
### Umsetzung

Die Einzelkomponenten – also der faseroptische Multifunktions-Sensorhandschuh und die Aktor-Manschette – liegen bereits als Funktionsmuster vor und werden im Rahmen des FMD-Gründermoduls in einer Zusammenarbeit von Fraunhofer HHI und Fraunhofer IZM zu einem funktionalen Demonstrator weiterentwickelt und zusammengesetzt, der anschließend dem Ausgründungsteam „GHOST – feel it“ zur Vermarktung bereitgestellt wird.

### Auf einen Blick

Irreparable Nervenschädigungen im Handbereich haben vielseitige Ursachen und limitieren die Lebensqualität betroffener Personen in unterschiedlichster Weise. Ohne Gefühl empfinden lassen sich zum Beispiel Finger und Hand nur dann präzise bewegen, wenn sie sich im Sichtfeld des Patienten befinden. Damit lässt sich die Tastatur eines PC nur eingeschränkt bedienen und das Greifen von Gegenständen in einer Tasche ist praktisch nicht möglich. Allein in Europa gibt es pro Jahr etwa 600.000 Patienten mit derartigen Nervenschädigungen.

1 Faseroptischer Datenhandschuh zur Digitalisierung von Bewegungen und taktilen Informationen



## ERWEITERUNG DER INP-PROCESSLINE:

Investitionen durch Bund, Land und Fraunhofer-Gesellschaft (FhG)

### Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Die InP-Processline ist das technologische Herzstück zur Entwicklung optoelektronischer Bauelemente am Fraunhofer HHI. Von 2016 bis 2020 werden in die Prozesslinie 30 Mio. € durch Bund, Land, FhG und Eigenmittel investiert, wobei alleine 16,2 Mio. € für Erweiterungen der Linie im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik zur Verfügung stehen.

In der Epitaxie, wo alle Bauelemente ihre Produktion starten, wurden zwei neue Anlagen zur Kristallzucht mittels MBE und MOCVD angeschafft. Beide Anlagen erlauben Nanostrukturen mit Dicken weniger Atomlagen und neuartigen Dotierstoffen zu züchten.

Ein Hauptziel der Investitionen in die Prozesstechnik ist das Erreichen einer höheren Integration von PICs (Photonic Integrated Circuits). Hierfür wurden neue Belichtungsanlagen notwendig wie beispielsweise Waferstepper, Hochleistungs-Punktstrahl-Elektronenlithographie sowie Belackungs- und Entwicklungsautomaten. Damit können sowohl Justiergenauigkeiten von einigen 10 nm als auch die Reproduzierbarkeit der Lackstrukturen auf einige Photolackmoleküle erreicht werden. Mit neuen Trockenätzverfahren werden die Strukturen in den Halbleiter übertragen und können durch präzisere in situ-Messtechnik exakt terminiert werden. Mit einer neuen Focus-Ion-Beam-Anlage können die Wafer nun direkt analysiert werden. Moderne Analytoren ermöglichen Materialanalysen durch SIMS und EDX sowie die Erzeugung und Auswertung von TEM-Lamellen, d. h. nur wenige Atomlagen dicke Scheiben.

Die zunehmend wichtige Integration von InP mit Silizium kann jetzt durch moderne Bond-Techniken am Fraunhofer HHI durchgeführt werden. Für die Charakterisierung der immer leistungsfähigeren Produkte steht zudem ein optoelektrischer Messplatz bis 1 Tbit/s und ein automatisierter Waferprober bis 145 GHz zur Verfügung.

Die umfangreichen Investitionen werden es dem Fraunhofer HHI ermöglichen, weiterhin das auf InP basierende Produktportfolio zu erweitern und an der Spitze der Forschung zu halten.

1 Aixtron G4 Reaktor mit Laytec EpiCurve@TT in situ-Messkopf

2 Nikon Wafer-Stepper für lithografische Belichtungen

3 Belackungskopf eines automatisierten Belackers und Entwicklers



# KOOPERATIONS- PLATTFORMEN

## TiME Lab – Tomorrow's Immersive Media Experience Laboratory

Hinter dem Begriff TiME Lab (Tomorrow's immersive Media Experience Laboratory) verbirgt sich eine ganze Kette von Systemen und Anwendungsfeldern, die im Rahmen des Projektes erforscht und erschlossen werden. Der Aufbau im Showroom in Berlin integriert Kompetenzen im Bereich der 180-Grad-Videoprojektion, der räumlichen Audiowiedergabe und der Echtzeitübertragung von Panoramaaufnahmen. 2009 wurde der Showroom im Fraunhofer HHI zur Demonstration der neuen medialen Möglichkeiten eröffnet. In seiner Ausführung ist das TiME Lab bisher einmalig. Mit einer Raumgröße von ca. 60 Quadratmetern, einer 3,35 Meter hohen und 12 Meter langen gekrümmten Leinwand, 14 HD-Projektoren und einem Ring aus 120 Lautsprechern auf Ohrenebene, 15 Deckenlautsprechern und 4 Subwoofern setzt das TiME Lab neue Maßstäbe im Bereich immersiver Medientechnologien.

Der Raum weist eine Akustik auf, die weit über die eines herkömmlichen Kinosales hinausgeht. Die präzise Klangwiedergabe wird u. a. durch eine aufwendige raumakustische Dämmung realisiert – hierbei sind Lautsprecher in die Schalldämmung eingelassen.

Durch den Einsatz von vier unabhängig angesteuerten Subwoofern erhalten Zuhörer einen richtungsbezogenen Eindruck, auch für Töne und Effekte im Tieftonbereich.

Neben der anfänglichen Anwendung als Forschungs- und Kooperationsplattform im medialen Bereich wird das TiME Lab inzwischen auch für industrielle Anwendungen eingesetzt. Etabliert hat sich der Einsatz als Plattform für die realitätsnahe audiovisuelle Präsentation von Stadtplanungskonzepten, Infrastruktur- und Lärmschutzmaßnahmen. Dadurch können z. B. die Ergebnisse komplexer Lärmschutzmaßnahmen für den Betrachtenden erfahrbar gemacht werden.

Das TiME Lab ist damit ein geeignetes Kommunikationswerkzeug für den Dialog mit Entscheidungsträgerinnen und -trägern aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft sowie mit den direkt Betroffenen.



## 3IT – Innovation Center for Immersive Imaging Technologies

Das 3IT ist Netzwerk, Showroom, Test Lab, Marketingplattform und Eventlocation zugleich. Ziel des Innovationszentrums ist es, Brücken zwischen Forschung und Wirtschaft zu bauen und Synergien zu schaffen. Mit einer Fläche von über 600 m<sup>2</sup> ist das 3IT nicht nur ein virtuelles Netzwerk, sondern auch Ausstellungsbereich und Veranstaltungsort mitten in Berlin. Es ist ein Ort, an dem neue Produkte und Systeme für den industriellen und medizinischen Bereich sowie für den Kultur- und Unterhaltungssektor entwickelt, getestet und unterschiedlichen Zielgruppen präsentiert werden. Der Schwerpunkt liegt dabei derzeit auf den Technologien 3D, VR/AR/XR, Volumetrisches Video, UHD und HDR. Den Partnern des 3IT wird in dem Innovationszentrum die einzigartige Möglichkeit geboten, in einer vorwettbewerblichen Umgebung das Feld der immersiven Bildtechnologien gemeinsam weiterzuentwickeln. Sie bündeln dabei spezifische Kompetenzen aus den unterschiedlichen Bereichen und decken so den gesamten Sektor ab. Mithilfe des großen Pools an Know-how werden kontinuierlich neue Qualitätsstandards entwickelt und Projektideen verwirklicht. Gleichzeitig bietet das 3IT genügend Platz, um das gewonnene Wissen in Konferenzen und Workshops dem interessierten Fachpublikum nahe zu bringen und somit Wissenstransfer zu gewährleisten.

## CINIQ Center – Smart Data Forum/Gemeinsam Digital

Das CINIQ Center ist ein Ort für Technologie- und Informationstransfer im Dreieck von Innovation, Wissenschaft und Wirtschaft in Berlin. Seit 2016 dient das CINIQ als Heimstätte des Smart Data Forums und bietet damit auf einer Fläche von 500 m<sup>2</sup> einen attraktiven Demonstrations- und Erlebnisraum für Smart Data-Lösungen und einen Ort für Vernetzung auf europäischer und internationaler Ebene, gefördert vom BMWi.

Das Smart Data Forum thematisiert Smart Data im Spannungsfeld zwischen vielversprechenden neuen Anwendungen, ungelösten technologischen Herausforderungen und offenen gesellschaftlichen Fragen. Es fördert den Diskurs und Austausch zwischen Expertinnen und Experten und informiert die Öffentlichkeit sowie internationale Besucherinnen und Besucher anhand von mehr als 15 wechselnden Demonstratoren/Prototypen über aktuelle Smart Data-Trends und darüber hinaus zu Themen wie Künstlicher Intelligenz und allgemeiner digitaler Transformation.

**1** 180-Grad-Panorama-  
projektion im TiME Lab  
des Fraunhofer HHI

**2** Im 3IT sind  
unterschiedlichste  
immersive Medien-  
technologien zu Hause



Ebenfalls beheimatet das CINIQ seit Anfang des Jahres 2018 den Erlebnisraum des Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrums *„Gemeinsam Digital“*. Es bietet den Unternehmen und ihren Mitarbeitenden eine Anlaufstelle für anschauliche und interaktive Einblicke zu digitalen Lösungen für kleine und mittlere Betriebe und zeigt wie erfolgreich Digitalisierung in KMUs aussehen kann.

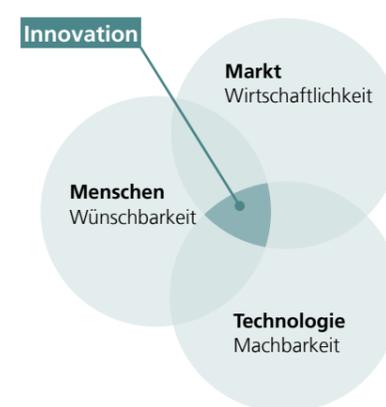
Neben nationalen und internationalen Delegationen, Workshops, Projektmeetings und Recruiting-Events finden für Start-Ups, KMUs und alle anderen Interessierten ganzjährig Veranstaltungen zu Themen wie beispielsweise Künstliche Intelligenz im Gesundheitsbereich und in der Industrie, die Digitalisierung der Chemiebranche oder sichere digitale Identitäten mit Blockchain statt. Dabei konnte Anfang Dezember 2018 die Besuchermarke von 10.000 Personen seit dem Start des Smart Data Forums geknackt werden.

#### 5G BERLIN e. V.

Das Innovationscluster 5G BERLIN e. V. ist eine Partnerschaft aus Forschung und Wirtschaft zur Förderung von Innovationen rund um die Schlüsseltechnologie 5G, dem Kommunikationsnetz der nächsten Generation. Zielsetzung des Innovationsclusters 5G BERLIN e. V. ist sowohl der Test bzw. die Erprobung der 5G-Technologien unter realen Bedingungen als auch die Förderung vielfältiger, innovativer 5G-Anwendungen.

#### 5G-Center

Der im letzten Jahr gegründete Verein setzt sich aus unterschiedlichen regionalen und internationalen Stakeholdern aus der Industrie in Form von kleinen und großen Unternehmen, Forschungsinstituten, Verbänden und Netzwerken zusammen. Die Vernetzung von Mitgliedern und Kunden findet im Rahmen des 5G-Center statt. Insbesondere soll die Vernetzung der klassischen Telekommunikationsindustrie mit neuen 5G-Stakeholdern gefördert und eine Anbindung an die Berliner Start-Up-Szene, die ein wesentlicher Treiber der lokalen Wirtschaft ist, geschaffen werden.



#### KMU/Start-Ups

- Kooperationspartner für 5G-Anwendungen
- Förderung der Wirtschaft

#### Industrie

- Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit
- Innovationstransfer

#### Forschung

- Marktnähe
- Vernetzung mit Industrie

#### Öffentlichkeit

- Beteiligung an Zukunftsthemen
- Plattform für Workshops/Diskussionen



#### 5G-Testfeld

Das 5G-Testfeld umfasst den nachhaltigen Aufbau und den Betrieb einer leistungsfähigen Testinfrastruktur auf dem Nord-Campus der TU Berlin. Die Nutzerinnen und Nutzer dieser experimentellen Umgebung tragen dabei einen enormen Anteil zu der wirtschaftlichen Entwicklung ihrer Branchen und der Stadt Berlin bei, indem sie ihre Ideen und Visionen prototypisieren und bis zur Marktreife erproben können. Um das Innovationspotenzial voll auszuschöpfen, wird die Infrastruktur auf den aktuellen Stand der Technik ausgebaut und steht für unterschiedlichste 5G-Anwendungsfälle und Nutzergruppen zur Verfügung. Diese einzigartige Stärke der Vielfaltigkeit und Offenheit verschafft dem Vorhaben eine europäische Spitzenposition.

**1** Ein Ort für den Technologie- und Informationstransfer: Das CINIQ Center im Fraunhofer HHI

**2** Das Smart Data Forum informiert die Öffentlichkeit anhand wechselnder Demonstratoren über aktuelle Smart Data Trends

**3** Die Mitglieder des 5G BERLIN e. V. bei der Vereinsgründung im September 2018

#### Anwendungsfälle

Das 5G-Testfeld bildet alle relevanten Technologiekomponenten eines konvergenten 5G-Netzes ab und wird die Entwicklung von Innovationen in Berlin fördern. Hinsichtlich dieses Standortes werden speziell die zukunftsstragenden Anwendungsbranchen Augmented und Virtual Reality, intelligente Mobilität, intelligente Versorgungsnetze, Sicherheitsanwendungen und Industrie 4.0 angestrebt.

# ORGANISATIONSPLAN DES FRAUNHOFER HHI

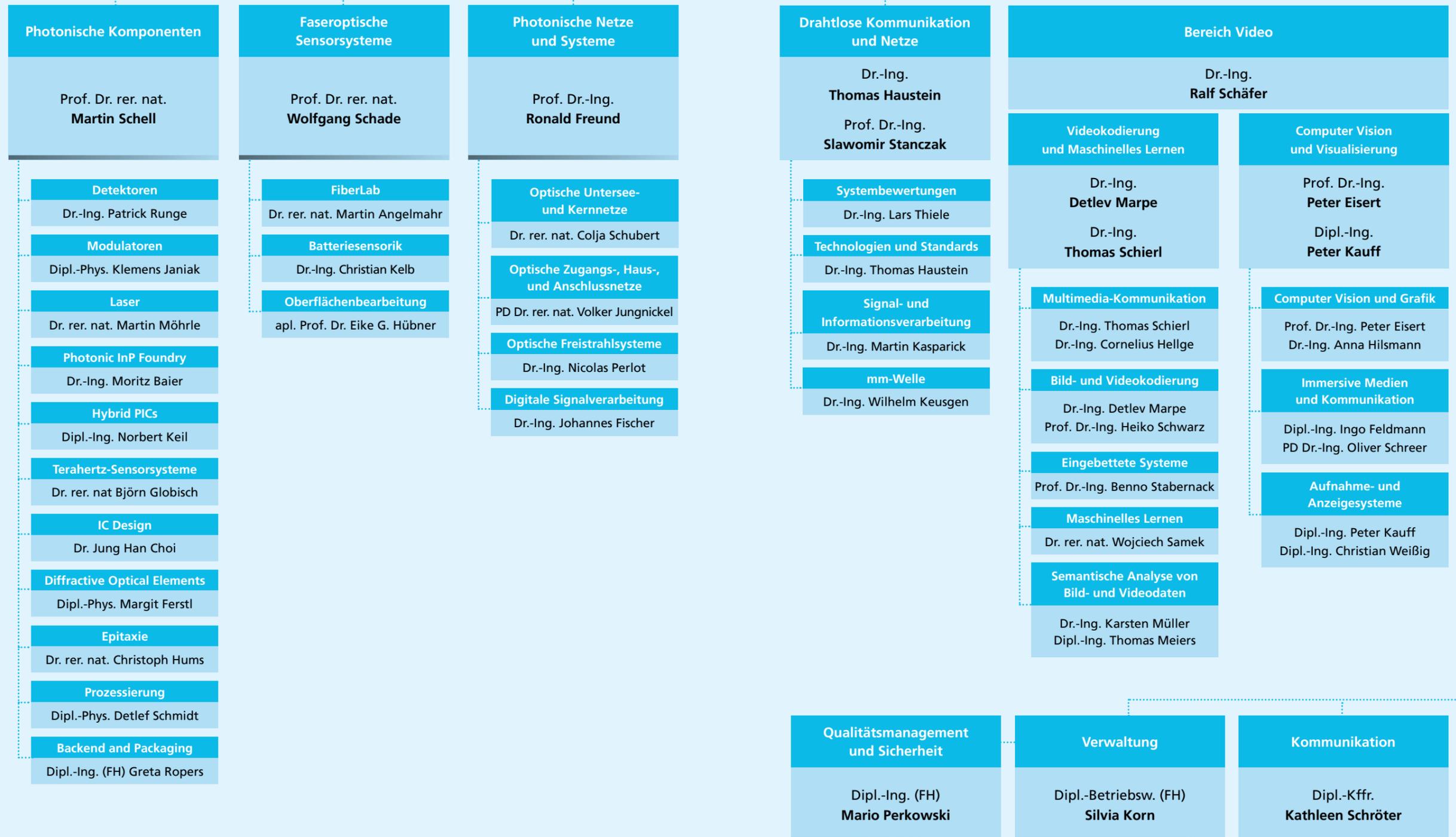
Stand April 2019

## FRAUNHOFER HEINRICH-HERTZ-INSTITUT

DIN EN ISO 9001-2015 zertifiziert  
Stand April 2019

Prof. Dr. rer. nat.  
**Martin Schell**  
Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing.  
**Thomas Wiegand**  
Institutsleiter



## PHOTONISCHE NETZE UND SYSTEME

Die Abteilung Photonische Netze und Systeme entwickelt Lösungen für leistungsfähige optische Übertragungssysteme für den Einsatz in In-house-, Zugangs-, Metro-, Weitverkehrs- und Satellitenkommunikationsnetzen. Dabei stehen sowohl die Erhöhung der Kapazität als auch die Verbesserung der Sicherheit und der Energieeffizienz im Fokus der Forschungsarbeiten. Die Abteilung verfügt über die neueste Messtechnik, sehr gut ausgestattete Systemlabore, leistungsfähige Simulationswerkzeuge sowie die Möglichkeit zur Durchführung von Feldtests.

---

### KONTAKT

**Prof. Dr.-Ing. Ronald Freund**  
ronald.freund@hhi.fraunhofer.de



# PHOTONISCHE NETZE UND SYSTEME

## Elastische optische Netze mit skalierbarer Kapazität und geringer Latenz

Netzbetreiber müssen zunehmend in die Flexibilität und Skalierbarkeit ihrer Netze investieren. Bisher werden überdimensionierte Übertragungskapazitäten im Netz nahezu starr zugewiesen. Das Loslösen von dieser Netzwerkdimensionierung, zugunsten einer bedarfsorientierten Zuteilung der Bandbreitenressourcen im optischen Layer, ermöglicht eine effizientere Nutzung der bereits installierten Glasfaserinfrastruktur, indem Kapazitätsreserven nutzbar gemacht werden. Forschungsgegenstand sind per Software konfigurierbare, datenratenflexible, optische Übertragungssysteme, die Übertragungskapazitäten pro Kanal in feiner Granularität bis in den Terabit/s-Bereich zur Verfügung stellen können. Anwendungen liegen sowohl im Bereich der Weitverkehrsnetze als auch der Metronetze. Eine weitere Herausforderung ist die effiziente Einbindung von verteilten Rechen- und Speichereinheiten, sogenannte „Edge Clouds“, um zukünftige 5G-Services mit geringer Latenz bedienen zu können.

## Terabit/s-Satellitenkommunikation und sichere Quantenschlüsselverteilung

Durch den steigenden Bedarf an Bandbreite werden zukünftige Telekommunikationssatelliten im geostationären Orbit für Terabit/s-Throughput dimensioniert. Zu diesem Zweck entwickelt das Fraunhofer HHI optische Freistrahllösungen, die den strengen Anforderungen an den Antennengewinn (Strahldivergenz im 10- $\mu$ rad-Bereich) genügen. Die geforderten

Datenraten im Terabit/s-Bereich werden mithilfe der Wellenlängen-Multiplex-Technologie (engl. Wavelength Division Multiplexing, WDM) im 1550-nm-Transmissionsfenster der Atmosphäre realisiert. Die im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation (engl. European Space Agency, ESA) konzipierten Prototypen ermöglichen eine bidirektionale Übertragung zwischen Bodenstation und Satellit, auch bei atmosphärischen Turbulenzen. Die entwickelten Freistrah-Übertragungssysteme werden auch für die Untersuchung von sicheren Quantenschlüsselverteilungssystemen eingesetzt.

## Terabit/s-Drahtlosübertragung mit hohen Trägerfrequenzen

Als Ergänzung zu bestehenden oder aktuell in der Erforschung befindlichen drahtlosen Übertragungstechniken ist in den letzten Jahren das Interesse an der sogenannten Terahertz (THz)-Übertragung stark gewachsen. In der THz-Übertragung werden hohe Trägerfrequenzen im niedrigen THz-Bereich (0,1-2,0 THz) verwendet. Dies ermöglicht drahtlose Übertragung mit Datenraten im Terabit/s-Bereich über kurze bis mittlere Entfernungen (1-5 km) – eine Übertragungskapazität, die bisher ausschließlich von optischen Glasfasernetzen erreicht wurde. Damit wird eine drahtlose Verlängerung oder Überbrückung von Glasfaserverbindungen möglich. Weitere Anwendungsfelder betreffen Backhaul- und Fronthaul-Szenarien in Mobilfunknetzen der nächsten Generation.

## Datenübertragung mit sichtbarem Licht

Optische drahtlose Datenkommunikation ist eine attraktive Lösung für Bereiche mit besonderen Anforderungen an Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit. Das Fraunhofer HHI hat eine Übertragungstechnik entwickelt, mit der handelsübliche LED-Lampen, die für die Raumbelichtung genutzt werden, auch Daten drahtlos übertragen können. Mit dieser Technik können schon heute Datenraten von 1,6 Gigabit/s pro Wellenlänge erreicht werden. Aktuelle Arbeiten umfassen Versuche in verschiedenen Anwendungsszenarien sowie die Entwicklung fortgeschrittener Kommunikationsprotokolle zur Erweiterung der Netzwerkfunktionalität für mobile Nutzer.

## Planung hybrider Zugangsnetze

Um hohe Datenraten im Zugangsnetz zu realisieren, stellt sich die Glasfasertechnologie als besonders zukunftssicher dar. Der Ausbau eines Glasfasernetzes ist allerdings mit hohen Kosten verbunden, die insbesondere für den Tiefbau anfallen. Hybride Zugangsnetze reduzieren die Ausbaukosten in der letzten Meile deutlich, indem sie auch drahtlose Kommunikationstechnologien nutzen – darunter WLAN, 4G/5G oder freistrahloptische Drahtloskommunikation. Das Fraunhofer HHI entwickelt mit Partnern Algorithmen zur Planung kostenoptimierter hybrider Zugangsnetze und setzt diese in Projekten für den Breitbandausbau in Deutschland ein.

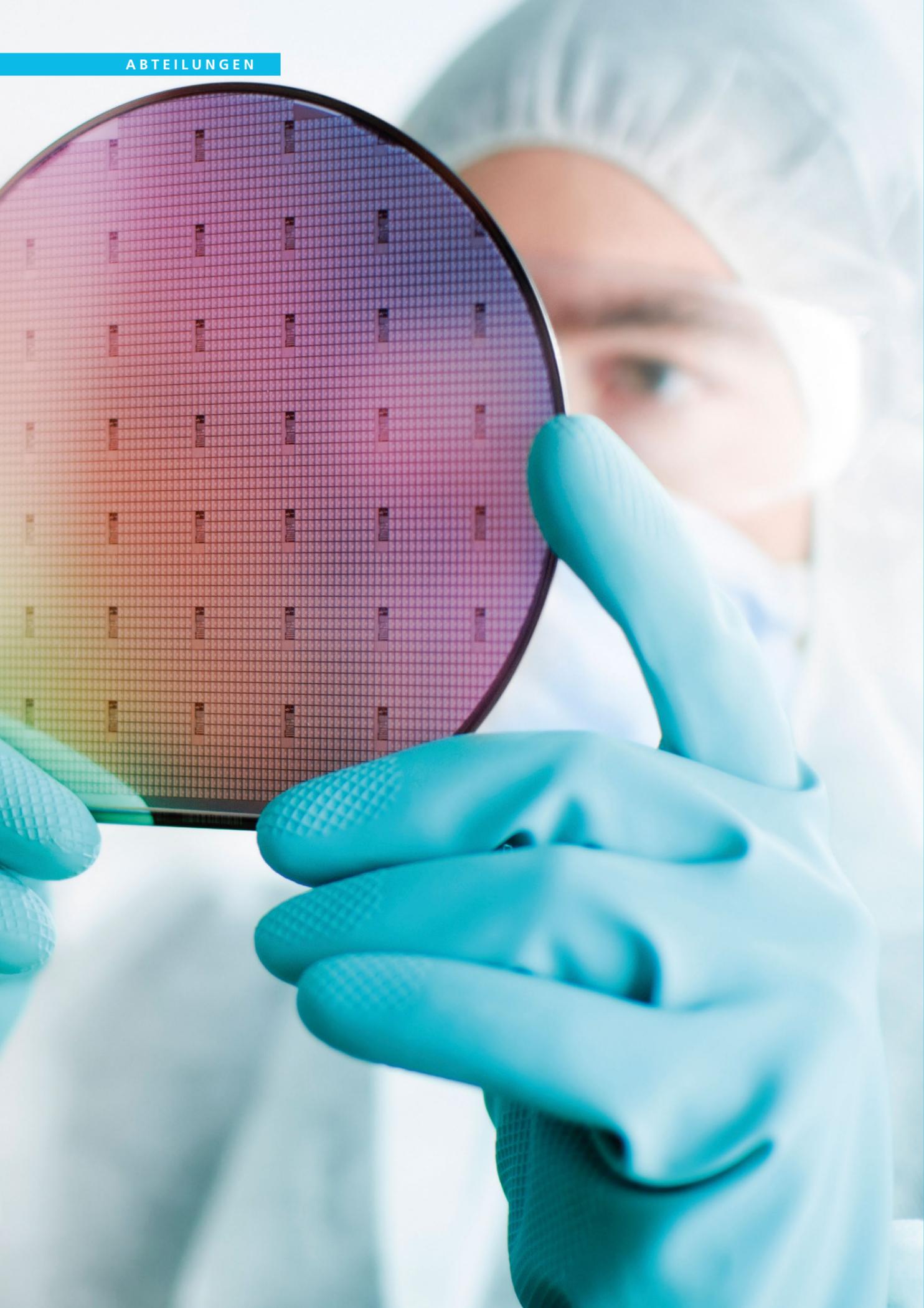
## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- Elastische optische Netze mit skalierbarer Kapazität und geringer Latenz
- Terabit/s-Satellitenkommunikation und sichere Quantenschlüsselverteilung
- Terabit/s-Drahtlosübertragung mit hohen Trägerfrequenzen
- Planung von kosteneffizienten, hybriden Zugangsnetzen
- Vernetzte Datenübertragung mit sichtbarem Licht

1 Systemlabor zur Untersuchung von optischen Netzen

2 Plattform zum Rapid-Prototyping von optischen Übertragungssystemen

3 Endgeräte für die Datenübertragung mit sichtbarem Licht



## PHOTONISCHE KOMPONENTEN

Die im Internet übertragene Datenmenge verdoppelt sich etwa alle zwei Jahre. Durch intensive Forschung und Entwicklung hat die Abteilung Photonische Komponenten dazu beigetragen, dass das Internet dennoch weiter funktioniert. Inzwischen berührt etwa jedes zweite Bit im Internet auf dem Weg vom oder zum Empfänger Technologie aus dem Fraunhofer HHI. Neben der Forschung und Entwicklung von optoelektronischen Halbleiterbauteilen zur Datenübertragung werden integriert-optische Schaltkreise entwickelt. Darüber hinaus erforschen die Berliner Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler technologisch verwandte Gebiete wie die Infrarotsensorik, die Terahertz-Spektroskopie und Hochleistungs-Halbleiterlaser für industrielle und medizinische Anwendungen.

---

### KONTAKT

**Prof. Dr. rer. nat. Martin Schell**  
martin.schell@hhi.fraunhofer.de



# PHOTONISCHE KOMPONENTEN

## Indiumphosphid (InP) Multi-Wellenlängen-Lichtquelle

Die nächste Generation der Photonischen Netze benötigt effiziente und dicht gepackte Wellenlängenkanäle, um dem weiteren Anstieg der zu transportierenden Datenmenge in Zukunft gerecht werden zu können. Eine wesentliche Herausforderung dabei ist die Realisierung einer kostengünstigen und bezüglich der Wellenlänge flexiblen Multi-Wellenlängen-Laserquelle. Am Fraunhofer HHI wurden hierfür sogenannte InAs Quantum-Dot (QD)-basierte Mode-Locked-Laser (MLL) entwickelt und hergestellt. Mit einer solchen kostengünstigen QD-MLL Komponente lassen sich gleichzeitig bis zu 40 Wellenlängenkanäle mit vorgegebenen Modenabstand erzeugen, während sonst 40 unterschiedliche DFB-Laser eingesetzt und hinsichtlich ihrer Wellenlänge kontrolliert werden müssten.

## 100 GHz Photodetektormodule für Testgeräte zur Entwicklung künftiger optischer Netzwerke

Die nächste Generation der Photonischen Netze benötigt schnellere Komponenten, um dem weiteren Anstieg der zu transportierenden Datenmenge in Zukunft effizient gerecht zu werden. Der einfachste Ansatz für schnellere und kosteneffiziente Datenübertragung ist die Erhöhung der Symbolrate je Kanal. Entsprechend werden weniger Komponenten für die gleichen Datenmengen benötigt, sodass der Energieverbrauch und die Kosten reduziert werden. Für die Entwicklung zukünftiger optischer Übertragungsstrecken werden in den Testgeräten elektrooptische und optoelektronische Komponenten benötigt, die mit ihrer Bandbreite den derzeitigen

Symbolraten voraus sind. Die InP-basierte Technologie des Fraunhofer HHI ist aufgrund ihrer ausgezeichneten Hochfrequenzeigenschaften besonders gut für solche Anwendungen geeignet. Prototypen der am Fraunhofer HHI entwickelten 100 GHz Photodetektormodule kommen derzeit bei namhaften Messgeräteherstellern und Forschungseinrichtungen aus aller Welt zum Einsatz.

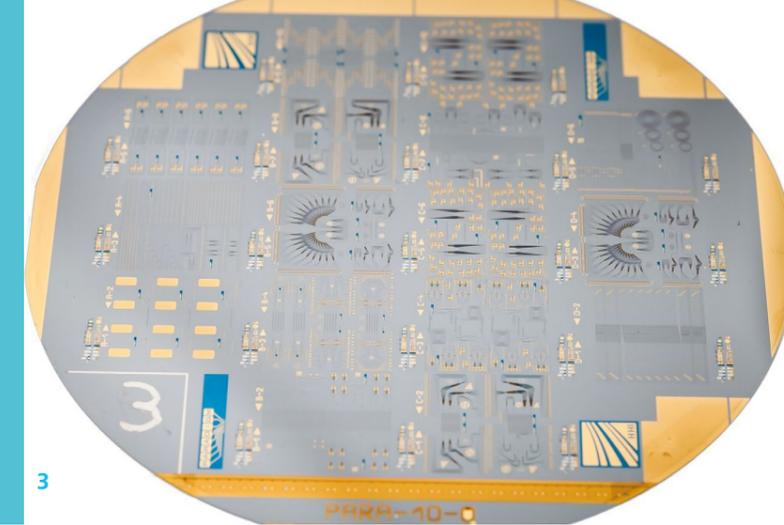
## InP Modulatoren: 300 Gbit/s mittels superschneller Amplitudenmodulation auf nur einem Wellenlängenkanal

Der zunehmende Intra- und Inter-Datenzentrenverkehr verlangt nach immer schnelleren optischen Kommunikationsverbindungen. Gleichzeitig sollen die optoelektronischen Bauelemente viele Funktionen auf einem Chip vereinen, klein sein und wenig Strom verbrauchen. Auf der Sendeseite entwickelt das Fraunhofer HHI hocheffiziente, superschnelle Modulatoren auf Basis von Indiumphosphid, die diesen Anforderungen gerecht werden. Allen Modulatoren gemein ist eine sehr kleine Schaltspannung und geringe Chipgröße, wahlweise können Funktionen wie Laser oder optische Nachverstärker integriert werden. Für einen Modulator mit integriertem Laser konnten erstmalig mit Amplitudenmodulation 300 Gbit/s auf einem einzigen Wellenlängenkanal bei einer Taktrate von 100 Gbd gezeigt werden.

2



3



## PolyPhotonics Berlin, Wachstumskern der BMBF-Innovationsinitiative „Unternehmen Region“

Die Technologieplattform PolyBoard des Wachstumskerns „PolyPhotonics Berlin“ stellt einen hybrid-optischen Baukasten dar, mit dem optische Basiselemente zu komplexen, modular und flexibel aufbaubaren und äußerst kompakten Funktionskomponenten integriert werden können. Den Kern dieser Plattform bildet ein Chip mit Wellenleitern aus Polymermaterial, der weitere passive Elemente wie Glasfasern, Dünnschichtfilter oder Mikrooptiken sowie aktive Bauelemente wie Fotodioden oder Laserchips aufnehmen kann. Diese werden mittels automatisierter Assemblierungstechnologie flexibel und in aller kürzester Zeit mit dem Wellenleiterchip verbunden. Der Verbund aus elf regionalen Unternehmen und drei Forschungseinrichtungen entwickelt Demonstratoren für drei unterschiedliche Anwendungsgebiete: kostengünstige Sende- und Empfängerchips (Transceiver) für den Telecom-/Datacom-Markt, abstimmbare Laserquellen bei 1064 nm und 785 nm für die Analytik-Branche sowie miniaturisierte Ausleseeinheiten (Interrogatoren) für die Glasfaser-Sensorik.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- Indiumphosphid (InP) Multi-Wellenlängen-Lichtquelle
- 100 GHz Photodetektormodule für Testgeräte zur Entwicklung künftiger optischer Netzwerke
- InP Modulatoren: 300 Gbit/s mittels superschneller Amplitudenmodulation auf nur einem Wellenlängenkanal
- PolyPhotonics Berlin, Wachstumskern der BMBF-Innovationsinitiative „Unternehmen Region“

1 Waferprozessierung am Fraunhofer HHI

2 Photodetektormodul mit 100 GHz Bandbreite

3 Multiprojektwafer als Service für ca. 50 externe Partner



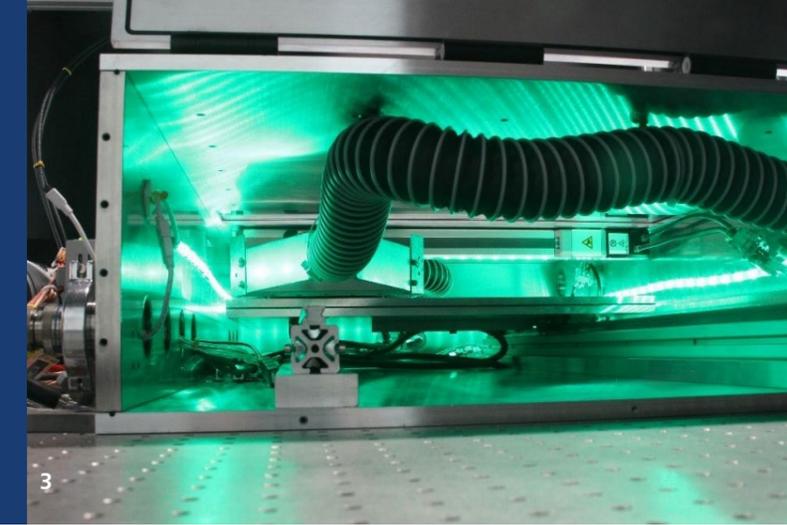
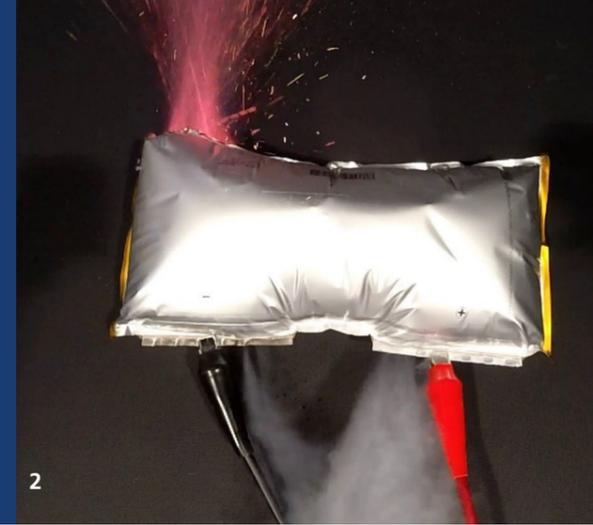
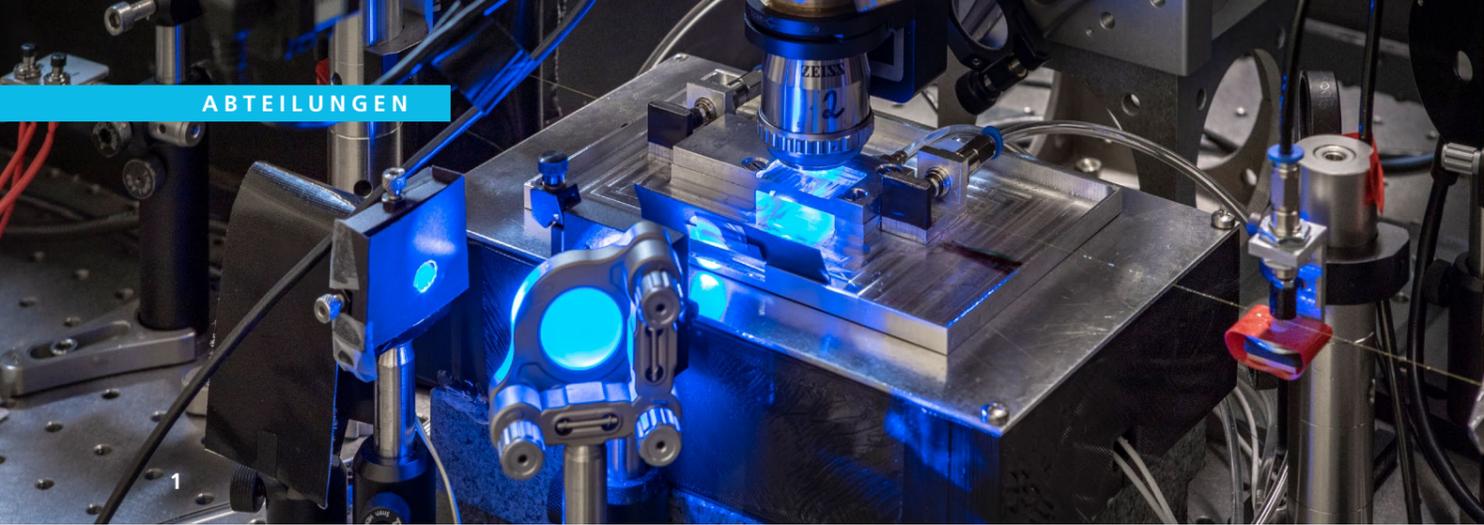
## FASEROPTISCHE SENSORSYSTEME

Die Abteilung Faseroptische Sensorsysteme arbeitet an einer neuen Generation photonischer Sensoren, die in Mess- und Regelsystemen zum Einsatz kommen. Industriell werden diese Systeme in der Gefahrenfrüherkennung, im Energie-Management, der Robotik und der Medizintechnik eingesetzt. Die Sensoren zeichnen sich durch extreme Miniaturisierung, hohe Netzwerk- und Kommunikationsfähigkeit sowie hohe Energieeffizienz aus. Um derartige Sensoren herzustellen, werden am Fraunhofer HHI nanostrukturierte Materialien erforscht und Prozessierungsmethoden für integriert-optische Komponenten mit ultrakurzen Lichtpulsen entwickelt.

---

### KONTAKT

**Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Schade**  
wolfgang.schade@hhi.fraunhofer.de



# FASEROPTISCHE SENSORSYSTEME

## Technologie-Plattform FiberLab

Mit Hilfe der Femtosekundenlaser-Technologie stellt das Fraunhofer HHI die extrem flexible und leistungsfähige faseroptische Technologie-Plattform FiberLab zur Verfügung. Diese wurde im Rahmen einer Vielzahl unterschiedlichster Forschungs- und Entwicklungsprojekte realisiert. Die FiberLab-Plattform gliedert sich in die Teilbereiche FiberNavi, FiberChem sowie FiberSens und macht unter anderem die Anwendungen 3D ShapeSensing, Cyberglove und FOMACS möglich.

**3D ShapeSensing:** Für die Rekonstruktion eines 3D-Profiles mit Hilfe einer Standard-Einmodenfaser entwickelten die Goslarer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den weltweit dünnsten faseroptischen 3D-Formsensor. Diese Sensoren werden im Erdöl- und Erdgassektor sowie einer Vielzahl von Applikationen in der Industrie, der Medizintechnik und dem maritimen Bereich eingesetzt. Durch die Kopplung mit weiteren faseroptischen Sensoren zur Druck-, Temperatur- und Dehnungserfassung entstehen kundenspezifische, multifunktionale Sensoren.

**Cyberglove:** Als innovative Mensch-Maschine-Schnittstelle zur virtuellen Steuerung von Robotern oder Bewegungserfassung mit hoher Genauigkeit hat die Abteilung einen faseroptischen Handschuh entwickelt. Um Nutzende in ihrer Bewegungsfreiheit nicht einzuschränken, können die Daten per WLAN mit geringer Latenzzeit an ein übergeordnetes System weitergegeben werden.

**FOMACS:** Das mobile, miniaturisierte faseroptische Auslesesystem FOMACS (Fiber optical measurement and control system) ermöglicht eine präzise Erfassung und Auswertung faseroptischer Sensorsignale. Per Broadcast können auch diese Daten in einem kundenspezifischen Format an ein übergeordnetes System weitergegeben werden.

## Materialprozessierung und -konfektionierung mittels Ultrakurzpulstechnik

Mit Ultrakurzpuls-Lasertechnik werden Oberflächen unterschiedlichster Materialien funktionalisiert, so dass sie sich für Elektroden von Batterien oder zur Wasserstoffherzeugung aus elektrischer Überschussenergie eignen. Ebenso können sie zur passiven Kühlung von Elektronikbauteilen bis hin zur Strukturierung von PMMA-Platten für innovative LED-Beleuchtung verwendet werden. Hierzu verfügt das Fraunhofer HHI über eine Fertigungsanlage zur großflächigen Materialprozessierung.

## Batterie- und Sensorik-Testzentrum

Am Standort Goslar wurde 2015 außerdem ein Batterie- und Sensorik-Testzentrum eröffnet. Dort werden neue und innovative Konzepte für eine erweiterte Batteriesicherheit erarbeitet und überprüft. Im Fokus stehen Lithiumionen-Speichersysteme, die mit erweiterten, sowohl passiven als auch aktiven, Sicherheitssystemen in Extrembereichen getestet werden. Neben einzelnen Zellen werden ganze Batteriespeichersysteme sowohl für stationäre als auch mobile Anwendungen untersucht. Neben zwei Brandprüföfen stehen hierfür ein Klimacontainer und mehrere Batterieprüfstände mit bis zu 1,2 MW Leistung zur Verfügung. Damit können Batterietests im Grenzbereich bis zum vollständigen Abbrand inklusive Gasanalytik durchgeführt werden.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- Faseroptische Mikrosensoren (FiberLab)
- Materialprozessierung und -konfektionierung mittels Ultrakurzpulstechnik
- Erweiterte Batteriesicherheitstechnik

1 Herstellung der faseroptischen Sensoren mittels Ultrakurzpuls laser

2 Abusetest einer Lithiumionenbatterie

3 Oberflächenfunktionalisierung mittels hochrepetierendem Ultrakurzpuls laser

# 5G

## DRAHTLOSE KOMMUNIKATION UND NETZE

Die Abteilung Drahtlose Kommunikation und Netze forscht auf dem Gebiet der funkgestützten Datenübertragung. In enger Zusammenarbeit mit zahlreichen Unternehmen und Organisationen leisten die Forscherinnen und Forscher umfangreiche Beiträge zur Theorie, Konzeptentwicklung, technischen Machbarkeit und Standardisierung von Funksystemen. Wissenschaftliche Studien, Simulationen und Bewertungen auf Link- und Systemebene, Feldmessungen sowie die Entwicklung und der Aufbau von Hardware-Prototypen runden die Dienstleistungspalette der Abteilung ab.

---

### KONTAKT

**Prof. Dr.-Ing. Slawomir Stanczak**  
slawomir.stanczak@hhi.fraunhofer.de

**Dr.-Ing. Thomas Haustein**  
thomas.haustein@hhi.fraunhofer.de



# DRAHTLOSE KOMMUNIKATION UND NETZE

## Forschung für die Zukunft der mobilen Datenübertragung

Die funkbasierte Kommunikation ist zum unverzichtbaren Bestandteil des Berufs- und Privatlebens geworden. Die Abteilung Drahtlose Kommunikation und Netze forscht an den Zukunftsthemen in diesem Bereich, um adäquate technische Lösungen bereitzustellen. Dabei sind die enormen und ständig steigenden Anforderungen an Datenrate, Sicherheit, Robustheit und Latenz zu beachten, wobei der Zugriff auf verschiedenste, oftmals weit verteilte Datenquellen möglich sein muss.

Dazu arbeitet die Abteilung gemeinsam mit nationalen und internationalen Partnern aus Regierung, Wirtschaft und Wissenschaft an den wichtigen Weichenstellungen für die Mobilfunknetze der fünften Generation (5G). Im vorangegangenen Berichtszeitraum wurden 5G-Anwendungsfälle definiert und Lösungsansätze dafür entwickelt, was unter anderem in mehreren Projekten des Rahmenprogramms 5G PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) erfolgte, das die Stärkung der 5G-Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie zum Ziel hat.

Im aktuellen Berichtszeitraum wurden die Projekte in 5G PPP weitergeführt und größtenteils abgeschlossen. Insgesamt wurde der Frequenzbereich von unter 6 GHz bis 100 GHz auf Eignung für 5G untersucht, etliche Kanalmessungen durchgeführt und zur Validierung wurden Demonstratoren aufgebaut und ausgiebig getestet. Viele der erzielten Ergebnisse sind bei der für 5G zuständigen Standardisierungsorganisation 3GPP (3rd Generation Partnership Project) und der sich mit

weltweiten Funkfragen beschäftigenden UN-Sonderorganisation ITU eingereicht worden. Auch an der Erweiterung von 5G wird geforscht, so konnten z. B. in Szenarien mit geringer Mobilität und mithilfe maschineller Lernalgorithmen mehr Eingangssignale detektiert werden als Antennen am Empfänger vorhanden waren.

## Autonome Fahrzeugkommunikation für Off-Road Anwendungen

Der Betrieb von Land- und Baumaschinen ähnelt komplexen Fertigungsprozessen in der Industrie immer mehr. Dementsprechend hoch sind auch hier die Anforderungen an Effizienz, Präzision und Sicherheit. Automatisiertes – und perspektivisch auch komplett autonomes – Arbeiten ermöglicht eine Optimierung und Intensivierung der Prozesse.

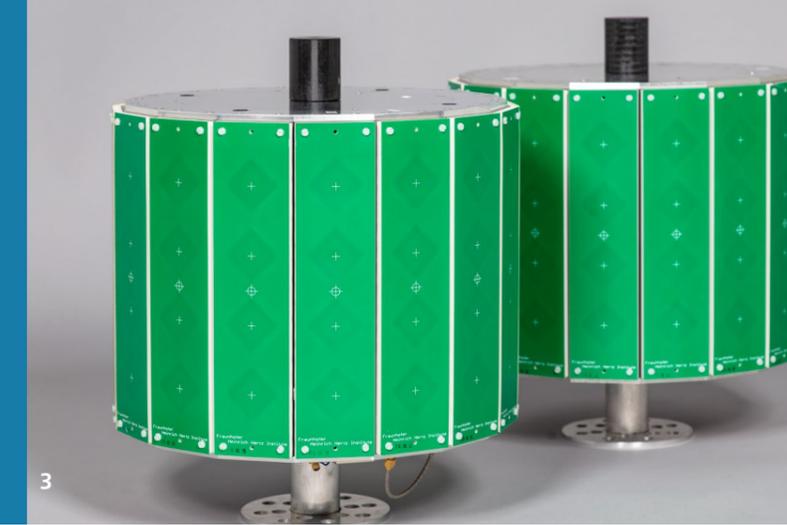
Um diesem Ziel näher zu kommen, wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern eine mobil mitführbare und infrastrukturlose 5G-Vernetzungslösung erforscht, welche die Anforderungen an taktile Kommunikation erfüllt, wobei insbesondere eine niedrige Latenz entscheidend ist. Das neuartige Kommunikationssystem soll sich automatisch in bestehende Mobilfunknetze einfügen und ist somit eine dynamische und bedarfsangepasste Erweiterung des 5G-Netzes. Zusätzlich wird eine integrierte, hochpräzise Lokalisierungslösung entwickelt, welche die besonderen Anforderungen in Land- und Bauwirtschaft berücksichtigt.



## Massive MIMO für 5G-Anwendungen: von der Theorie zur Praxis

Massive MIMO-Antennen, die aus sehr vielen Einzelantennen bestehen, ermöglichen eine gezielte Versorgung der jeweiligen Mobilfunknutzenden über sogenanntes Beamforming – dem Aussenden von designierten, schmalen Sendekulen. Diese Technik ist zur Erzielung von sehr großen Übertragungskapazitäten in 5G unerlässlich.

Im Rahmen eines 5G-Forschungsprojekts entwickelte die Abteilung eine flexible, skalierbare, reziproke Massive MIMO-Antenne aus derzeit 32 aktiven Einzelantennen. Die Leistungseffizienz jedes einzelnen Antennenmoduls wird durch eine digitale Linearisierungsstufe erheblich gesteigert. Zusätzlich kann die Winkelgenauigkeit von Empfangssignalen durch eine neu entwickelte Kalibrieremethode verbessert werden. Das Verfahren wird zur Steigerung der Empfangskapazität sowie zur Nutzerlokalisierung verwendet. Eine einfache Integration in bestehende Basisstationen erfolgt über zwei standardisierte Schnittstellen.



## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- Funknetze der fünften Generation (5G)
- Zuverlässige Industriekommunikation mit niedriger Latenz
- Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation
- Multi-Antennensysteme (MIMO, Massive MIMO)
- Kommunikation mit Millimeterwellen-Technologien
- Kognitive Radiosysteme und Netzwerke
- Software Defined Radio (SDR)
- Maschinelles Lernen für Funknetze

**1** Robuste Mikrodrohnensteuerung über das Fraunhofer HHI-3G-Sprachkanal-Modul

**2** Offene Entwicklungsplattform für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation

**3** 128-Port-Messantennen für Richtungs aufgelöste Kanalmessungen bei 3,5 GHz Trägerfrequenz

# COMPUTER VISION UND VISUALISIERUNG

Die Abteilung forscht an Spitzentechnologien für die gesamte Videoverarbeitungskette von der Erstellung und Verarbeitung von Inhalten bis hin zur abschließenden Wiedergabe. Der besondere Fokus liegt auf anspruchsvollen 2D-/3D-Analyse- und Syntheseverfahren in medialen, medizinischen und industriellen Anwendungsgebieten. Hierzu werden auch komplexe Lösungen für immersive und interaktive Systeme mit entsprechend innovativen Kamera-, Sensor-, Display- und Projektionsaufbauten entwickelt.

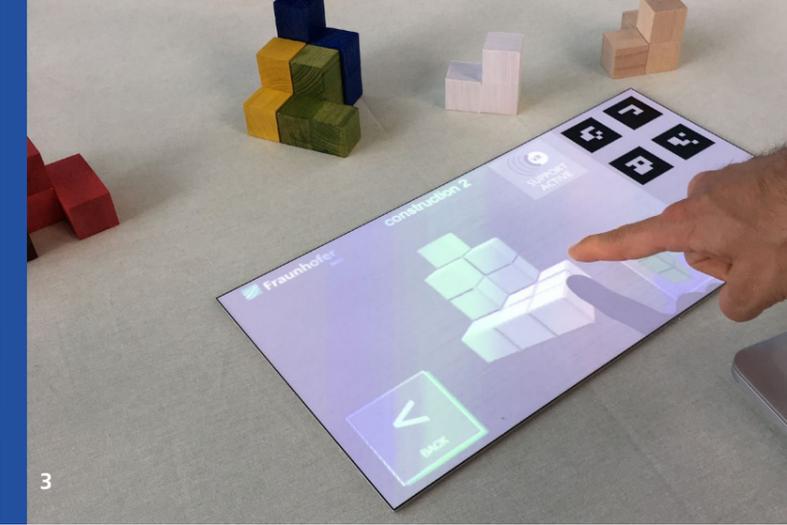
---

## KONTAKT

**Prof. Dr.-Ing. Peter Eisert**  
peter.eisert@hhi.fraunhofer.de

**Dipl.-Ing. Peter Kauff**  
peter.kauff@hhi.fraunhofer.de

**Dr.-Ing. Ralf Schäfer**  
ralf.schaefer@hhi.fraunhofer.de



# COMPUTER VISION UND VISUALISIERUNG

## Videoanalyse und Mensch-Maschine-Interaktion in medizinischen und industriellen Anwendungen

Um das Arbeitsumfeld des Arztes in kritischen Umgebungen bspw. während der Operation oder in Intensivstationen nachhaltig zu verbessern und gleichzeitig relevante Informationen intuitiv und schnell präsentieren zu können, wurden verschiedene multimodale Bilddatenanalyseverfahren entwickelt. Zum einen erlaubt eine 3D-Videoanalyseverfahren Tiefeninformationen während des chirurgischen Eingriffes zu extrahieren sowie Strukturen zu vermessen. Zum anderen lässt hyperspektrale Bildgebung tiefergehende Analysen über Gewebestrukturen und -eigenschaften sowie die Extraktion von Vitaldaten zu. Eine berührungslose Steuerung zur nutzeradaptiven Bildvisualisierung erlaubt eine umfassende Datenvisualisierung bei gleichzeitiger Beachtung der klinischen Hygienesituation. Die berührungslose Interaktion kann auch erfolgreich im industriellen Umfeld bei der Mensch-Roboter-Interaktion und der Prozessüberwachung eingesetzt werden.

## Hochauflöste Videopanoramen für kulturelle und industrielle Anwendungen

Hochqualitative 360-Grad-UHD-Videopanoramen mit einer Auflösung von bis zu 20K spielen eine immer größere Rolle in den unterschiedlichsten Anwendungen. Sie können sowohl auf entsprechend hochauflösenden VR-Brillen als auch auf großen Rotunden mit aufwendigen Multiprojektionssystemen oder LED-Panels betrachtet werden. Zur Content-Erzeugung für die 360-Grad-Videoproduktion hat das Fraunhofer HHI die OmniCam-360 entwickelt. Sie besteht aus einem speziel-

len Spiegelsystem mit 10 HD-Kameras oder in einer weiteren Ausbaustufe mit 10 4K-Kameras, deren Einzelbilder in Echtzeit nahtlos zu einem 360-Grad-UHD-Video panorama zusammengefügt werden. So können Live-Veranstaltungen über Tablets, Smartphones und VR-Brillen interaktiv erlebt werden. Der Betrachtende fühlt sich direkt in das Geschehen vor Ort versetzt. Mit einer entsprechenden Postproduktion ist es auch möglich, die Videopanoramen so aufzubereiten, dass sie z. B. für Projektionen in begehbaren 360-Grad-Rotunden geeignet sind.

Genutzt wird diese Technik unter anderem von der Deutschen Bahn zur Demonstration von Lärmschutzmaßnahmen. Dazu wurden in Kombination mit speziellen 3D-Tonsystemen Vorbeifahrten von Zügen aufgenommen und realitätsnah im sogenannten „Infopunkt Lärmschutz“ präsentiert. Zudem wurden bereits Aufnahmen von einer Vielzahl von kulturellen und öffentlichen Veranstaltungen (Konzerte, Sport etc.) erfolgreich mit dieser Technik produziert.

## 3D-Rekonstruktion von Personen, Objekten und Umgebungen für VR-Anwendungen

Neue Medienformate, wie begehbare Filme mittels VR, AR oder MR, erfordern innovative algorithmische Lösungen aus dem Bereich Computer Vision. Hier besteht die Anforderung, sehr realistische und vollständige 3D-Rekonstruktionen von sich bewegenden Personen zu erstellen. Vor diesem Hintergrund hat das Institut durch die Kombination von Computer Vision und Computergrafik neue Techniken entwickelt, um Personen durch hochqualitative, fotorealistische Modelle zu repräsentieren. Diese lassen sich in virtuelle oder reale Szenen

integrieren, wobei auch semantische Anpassungen möglich sind – beispielsweise die Änderung der Blickrichtung, Herstellung von Blickkontakt oder Animation und Korrektur von Bewegungen. Die Technologie der 3D Human Body Reconstruction (3DHBR) wurde im Juni 2018 in einer Ausgründung der Volucap GmbH mit den Partnern ARRI, UFA, Studio Babelsberg und Interlake in einem eigens entwickelten 360-Grad-Aufnahmestudio in den kommerziellen Betrieb überführt.

## Sichere Authentifizierung von Personen in Sicherheitsanwendungen

Eine sichere, automatisierte Verifikation der Identität einer Person gewinnt zunehmend an Bedeutung, beispielsweise bei der Einreise an Flughäfen oder auch bei Identitätsprüfungsaufgaben für Zugangssysteme, mobile Anwendungen im E-Commerce oder dem Finanzsektor. Dabei spielt das Gesicht als einfaches, berührungslos erfassbares und akzeptiertes biometrisches Merkmal, welches mittels Gesichtserkennungsverfahren verifiziert werden kann, eine wichtige Rolle.

In der Vergangenheit sind Angriffe auf solche Systeme bekannt geworden, wie das Einschleusen manipulierter Referenzbilder (Face Morphing Attacks) oder das Vortäuschen anderer Identitäten durch Bilder, Masken und Modelle (Presentation Attacks), die eine Bedrohung automatisierter Identitätsprüfung darstellen. Hierfür wurden neuartige Bildanalyseverfahren auf Basis des Maschinellen Lernens entwickelt, die Manipulationen an Gesichtsbildern sowie am eigenen Äußeren robust detektieren können und eine sichere Authentifizierung von Personen ermöglichen.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- 2D- und 3D-Bildsignalverarbeitung
- 3D-Erfassung und -Wiedergabe
- Höchstauflösende, audiovisuelle, immersive Systeme
- Mensch-Maschine-Interaktion und Augmented Reality
- Anwendungen: Medien, Medizin, Industrie und Sicherheit

1 Hochauflöste 360-Grad-Videopanoramen mit der OmniCam-360

2 Interaktive VR- und AR-Anwendungen

3 Berührungslose Interaktion für Remote Collaboration

# VIDEOKODIERUNG UND MASCHINELLES LERNEN

Die globalen Wachstumsraten aller Arten von Internet-basierten Videodaten sind ungebrochen. Derzeit wird eine Verdreifachung des Datenaufkommens für Internet-Video bis 2022 prognostiziert. Dabei soll der Anteil von IP-basiertem Video an dem globalen Datenaufkommen bis 2022 auf über 80 Prozent steigen. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass der Anteil an Fernsehgeräten mit 4K-Auflösung in den Haushalten auf nahezu zwei Drittel anwachsen wird. Damit kommen der effizienten Kodierung, dem Transport, der Verarbeitung und der Analyse von zunehmend höher aufgelösten Videosignalen eine immer größer werdende Bedeutung zu. Die Abteilung befasst sich mit allen relevanten Aspekten der damit verbundenen Forschungsbereiche. Sie hat bereits in der Vergangenheit mit ihren maßgeblichen Beiträgen zu den internationalen Videokodierungsstandards H.264/MPEG-AVC und H.265/MPEG-HEVC dazu beigetragen, die Schlüsseltechnologien für die zunehmende Verbreitung von digitalem Video im alltäglichen Leben bereitzustellen.

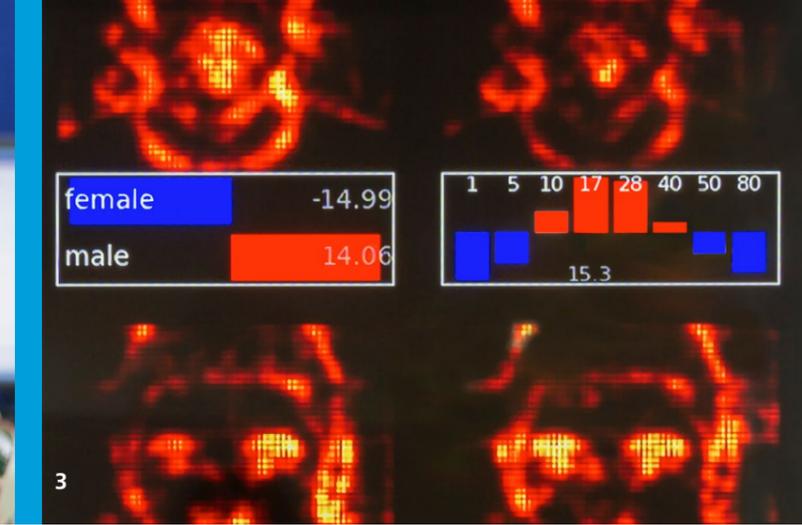
---

## KONTAKT

**Dr.-Ing. Detlev Marpe**  
detlev.marpe@hhi.fraunhofer.de

**Dr.-Ing. Thomas Schierl**  
thomas.schierl@hhi.fraunhofer.de

**Dr.-Ing. Ralf Schäfer**  
ralf.schaefer@hhi.fraunhofer.de



# VIDEOKODIERUNG UND MASCHINELLES LERNEN

## Beiträge zu Videokodierungsstandards und entsprechende Implementierungen

Während H.264/MPEG-AVC der meistverbreitete Videokodierungsstandard weltweit ist, hält mittlerweile auch sein Nachfolger H.265/MPEG-HEVC (High Efficiency Video Coding) auf fast jedem mobilen Endgerät und Fernsehgerät Einzug. An der Entwicklung beider Standards war das Fraunhofer HHI maßgeblich beteiligt. Mit den Erfahrungen aus der Standardisierung wurde in der Abteilung ein HEVC-Echtzeit-Encoder entwickelt, der mittlerweile erfolgreich von einem deutschen Industriepartner vermarktet wird. Aktuell wird dieser beispielsweise bei kommerziellen 4K/UHD-Fußball Live-Übertragungen sowie bei der Übertragung von Fernsehprogrammen in HD-Qualität über DVB-T2 eingesetzt.

So effizient die bisherigen Standards auch sind, die Wachstumsraten komprimierter Videodaten verlangen nach einer immer effizienteren Komprimierung. Um diese anspruchsvolle Herausforderung zu bewältigen, haben die ITU Video Coding Expert Group (VCEG) und die ISO/IEC Moving Pictures Expert Group (MPEG) bereits mit der Zusammenarbeit für einen neuen Standard im Rahmen des Joint Video Experts Teams (JVET) begonnen. 2018 hat die Standardisierung des Versatile Video Coding (VVC) genannten HEVC-Nachfolgers begonnen. Der Vorschlag des Fraunhofer HHI enthielt neben der konsequenten Weiterentwicklung bereits bekannter Technologien auch neue Kompressionsmethoden, die beispielsweise mithilfe Maschinellen Lernens entwickelt wurden. Im Vergleich zu HEVC erzielte dieser Vorschlag eine Bitratenreduktion von bis zu 40 Prozent bei gleicher Bildqualität. Damit gehörte

der Fraunhofer HHI-Vorschlag zu den besten in allen drei getesteten Kategorien (Standard-, High Dynamic Range- und 360-Grad-Video).

## Maschinelles Lernen

In der Grundlagenforschung zum Maschinellen Lernen am Fraunhofer HHI wird unter anderem die Umkehrung von Deep Neural Networks zur Erklärung von Klassifikationsergebnissen untersucht. Mit der entwickelten Technik kann festgestellt werden, an welcher Stelle eine bestimmte Gruppe von Neuronen eine bestimmte Entscheidung getroffen und wie stark diese Entscheidung zum Ergebnis beigetragen hat. Diese Information kann einem Experten zur Validierung (z. B. in medizinischen Anwendungen) vorgelegt oder zur Verbesserung des KI-Algorithmus genutzt werden. Darüber hinaus wird an Methoden zur Quantifizierung von Unsicherheit im Maschinellen Lernen gearbeitet. Das Wissen darüber, ob sich der Algorithmus bei der getroffenen Entscheidung sicher war oder nicht, ist für praktische Anwendungen von großer Bedeutung und fördert das allgemeine Vertrauen in das KI-System. Da beide Themen – Transparenz von Entscheidungen und das Wissen über die Unsicherheit – insbesondere für Anwendungen in der Medizin wichtig sind, wurden sie vom Fraunhofer HHI in die Standardisierungsaktivitäten der ITU/WHO-Fokusgruppe „AI for Health“ (FG-AI4H) eingebracht.

## Ein Standard für hochwertiges 360-Grad-Video

VR-Brillen schaffen eine neue Geräte-Kategorie für immersive Erlebnisse. Entsprechende Videoinhalte mit Rundumsicht müssen ressourceneffektiv über das Internet zum Endgerät übertragen werden. Der 2017 verabschiedete MPEG-OMAF-Standard ermöglicht eine deutliche Erhöhung der Qualität von 360-Grad-Videos für VR. An seiner Entwicklung war das Fraunhofer HHI maßgeblich beteiligt. Durch die Kombination mit HEVC können hochauflöste 360-Grad-Videos auf mobile Endgeräte übertragen werden. Dabei wird das Video in einzelne Tiles (dt. Kacheln) zerlegt und jedes Tile in der ursprünglichen und einer reduzierten Auflösung enkodiert. Der Empfänger wählt die Tiles in Abhängigkeit des Blickfeldes so aus, dass letztlich die hochauflöste Tiles für das Blickfeld der Benutzenden und die niedrigauflösenden Tiles für die Bereiche außerhalb des Blickfeldes übertragen werden. Am Endgerät, z. B. einer VR-Brille oder einem TV-Gerät, werden die empfangenen Tiles zu einem HEVC-kompatiblen Videostrom zusammengefasst und können mit jedem 4K-fähigen HEVC-Dekoder dekodiert werden. Der MPEG-OMAF-Standard bildet auch die Grundlage für die 2018 verabschiedete Spezifikation für kommende VR-Services für 5G-Netzwerke.

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- Bild- und Videokodierung
- Multimedia-Kommunikation
- Eingebettete Systeme
- Maschinelles Lernen
- Semantische Analyse von Bild- und Videodaten

1 Cubemap-Projektion eines 360-Grad-Videos mit Einteilung in insgesamt 24 Tiles

2 EEG-basierte Bildqualitätsanalyse

3 Ein Beispiel für die Umkehrung von Deep Neural Networks zur Erklärung von Klassifikationsergebnissen



## ARBEITEN AM FRAUNHOFER HHI

Das Fraunhofer HHI bietet neben besten Arbeitsbedingungen und modernen Laborausstattungen auch vielfältige Karrierechancen; insbesondere in den Bereichen der Natur- und Technikwissenschaften, der Informatik aber auch der Wirtschaftswissenschaften. Als Partner der Wirtschaft entwickelt das Institut gemeinsam mit der Industrie effektive und zukunftsweisende Lösungen. Für Studierende, Hochschulabsolventinnen und -absolventen, Young Professionals sowie Schulabsolventinnen und -absolventen bieten sich zahlreiche Möglichkeiten, frühzeitig einen Einblick in das Arbeitsleben zu gewinnen oder direkt einzusteigen. Sie können sich für Studentenjobs, Praktika, Bachelor- und Masterarbeiten sowie Doktorandinnen- und Doktoranden-Programme bewerben. Zudem werden die folgenden Ausbildungsplätze angeboten:

- Kauffrau/Kaufmann für Büromanagement
- Fachinformatikerin/Fachinformatiker
- Mikrotechnologin/Mikrotechnologe

### Weiterbildungsmöglichkeiten

Am Fraunhofer HHI haben alle Mitarbeitenden die Chance, die eigenen beruflichen Fähigkeiten und Kenntnisse auszubauen. Das Institut bietet eine Vielzahl an Weiterbildungsmaßnahmen, die sich nach den verschiedenen Karrierestufen und Arbeitsschwerpunkten richten.

### Attraktive Arbeitsbedingungen

Beste Arbeitsplatz- und Laborausstattungen, spannende Projekte und hohe Eigenverantwortung zeichnen das Arbeitsumfeld des Fraunhofer HHI aus. Die flexible Arbeitszeitgestaltung und das Mit-Kind-Büro unterstützen die Vereinbarkeit von Familie und Beruf. Mehrmals im Jahr wird die Teilnahme an Sportveranstaltungen für Mitarbeitende organisiert, bei denen

sich Kolleginnen und Kollegen verschiedener Abteilungen kennenlernen können. Außerdem werden Gesundheitsangebote wie Yoga-Kurse, Bildschirmsehtests, Massageterminen und vieles mehr angeboten.

### Nachwuchsförderung

Das Fraunhofer HHI forscht schon heute für die Kommunikationswelt von morgen. Dazu gehört auch die Förderung von wissenschaftlichen Nachwuchskräften und der Chancengleichheit. Einmal im Jahr beteiligt sich das Fraunhofer HHI am bundesweiten Girls' Day und lädt Schülerinnen ins Institut ein, um ihnen einen praxisnahen Einblick in die Berufswelt zu bieten. Das eigenständige Experimentieren im Labor sowie verschiedene Workshops sollen den Schülerinnen insbesondere die Berufe aus den MINT-Bereichen näher bringen.

Seit September 2015 kooperiert das Fraunhofer HHI mit dem Neuköllner Albrecht-Dürer-Gymnasium. Schülerinnen und Schüler haben seitdem die Chance, durch Besuche oder Praktika die vielfältigen Berufsmöglichkeiten in der anwendungsorientierten Forschung selbstständig kennenzulernen und den Schulstoff mit praxisnahen Erfahrungen zu ergänzen. So erhalten die Schülerinnen und Schülern über den Kontext des MINT-Unterrichts hinaus berufliche Perspektiven im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich.

### Qualitätsmanagement

Das Fraunhofer HHI hat für den Geltungsbereich Forschung, Entwicklung und Produktion im Bereich Photonik und Elektronik in allen Unternehmensfunktionen am Standort Berlin, Einsteinufer 37, ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001:2015 aufgebaut und in die Praxis umgesetzt. Die Erfüllung der Normanforderungen wurde durch ein Qualitätsaudit festgestellt.

1 CERTIFICATE

Kiwa International Cert GmbH  
certifies that

Fraunhofer Institute for Telecommunications  
Heinrich Hertz Institute

Einsteinufer 37  
10587 Berlin

with the location:

Fraunhofer Institute for Telecommunications  
Heinrich Hertz Institute, Department Fiber Optical Sensor Systems  
Am Stollen 19B  
38640 Goslar

for the scope

Research, development and production in the fields of photonics  
and electronics

has implemented and applies a Quality Management System, which is in compliance  
with the requirements of

ISO 9001:2015

Kiwa International Cert GmbH

*D. Hüttel*  
Managing Director

Kiwa International Cert GmbH

*i.v. Claies*  
Technical Manager



## „WUSSTEN SIE SCHON, DASS...“

- das Heinrich-Hertz-Institut im Jahr 2018 seinen **90. Geburtstag** gefeiert hat?
- der berühmte Firmengründer Fritz Sennheiser seine Diplomarbeit im Jahr 1936 am Heinrich-Hertz-Institut schrieb?
- das Fraunhofer HHI in Berlin ein vollausgestattetes Halbleiter-Werk unterhält, in dem einige der weltweit schnellsten optoelektronischen Bauelemente zur Datenübertragung wie etwa Photodetektoren, Laser und Photodioden hergestellt werden?
- die Forschenden des Fraunhofer HHI als Teil der internationalen Expertengruppen für Videokompressionsstandards (VCEG und MPEG) bereits viermal den Technology & Engineering Emmy gewonnen haben?
- die Grundlage für die aktuellen Weltstandards zur Übertragung von Bewegtbildern – der Videokompressionsstandard H.264/MPEG-4 AVC (für HD) und H.265/MPEG-H HEVC (für UHD) – am Fraunhofer HHI mitentwickelt wurde?
- die Übertragung des weltweit ersten 3D-Live-Konzerts mithilfe des am Fraunhofer HHI entwickelten Kamera-Assistenzsystems STAN stattfinden konnte?
- das Fraunhofer HHI ein Verfahren entwickelt hat, VLC oder Li-Fi genannt, mit dem Daten über gewöhnliche LED-Lampen übertragen werden – und das mit über 1 Gbit/s?
- dank der OmniCam-360 das Fußball-WM-Finale von 2014 im FIFA-Museum als 180-Grad-UHD-Panoramavideo erlebt oder Konzerte der Berliner Philharmoniker auf Virtual-Reality-Brillen im 360-Grad-Panorama gesehen werden können?
- ein Großteil der Qualitätsmanagement-Prozesse des Fraunhofer HHI nach DIN ISO 9001:2015 zertifiziert sind?
- der Prototyp des ersten volumetrischen Videostudios auf dem europäischen Festland im Fraunhofer HHI steht?
- die 5G-Technologie, die nächste Generation des Mobilfunknetzes, seit 2012 von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Fraunhofer HHI erforscht wird?

1 *Zertifizierung der Qualitätsmanagement-Prozesse des Fraunhofer HHI nach DIN ISO 9001:2015*

2 *Im Sommer 2018 wurde das erste kommerziell betriebene volumetrische Videostudio auf dem europäischen Festland mit Technologien vom Fraunhofer HHI eröffnet*



## TREFFEN SIE UNS AUF MESSEN UND VERANSTALTUNGEN

### Die Expertinnen und Experten des Fraunhofer HHI sind unterwegs

Das Institut ist auf einer Vielzahl von Messen und Veranstaltungen weltweit anzutreffen. Dort werden die aktuellsten Ergebnisse und Prototypen der Forschung und Entwicklung des Fraunhofer HHI vorgestellt. Unter anderem war das Institut auf folgenden Messen regelmäßig anzutreffen:

- SPIE Photonics West
- GSMA Mobile World Congress
- Embedded World Exhibition & Conference
- Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC)
- Fiber Optics Expo (FOE)
- Optics & Photonics International Exhibition (OPIE)
- National Association of Broadcasters Show (NAB Show)
- LASER World of PHOTONICS
- Hannover Messe
- CeBIT
- Internationale Funkausstellung (IFA)
- International Broadcasting Convention (IBC)
- European Conference on Optical Communication (ECOC)
- Consumer Electronics Show (CES)

### Zusätzlich nimmt das Institut an folgenden Veranstaltungen und Messen teil:

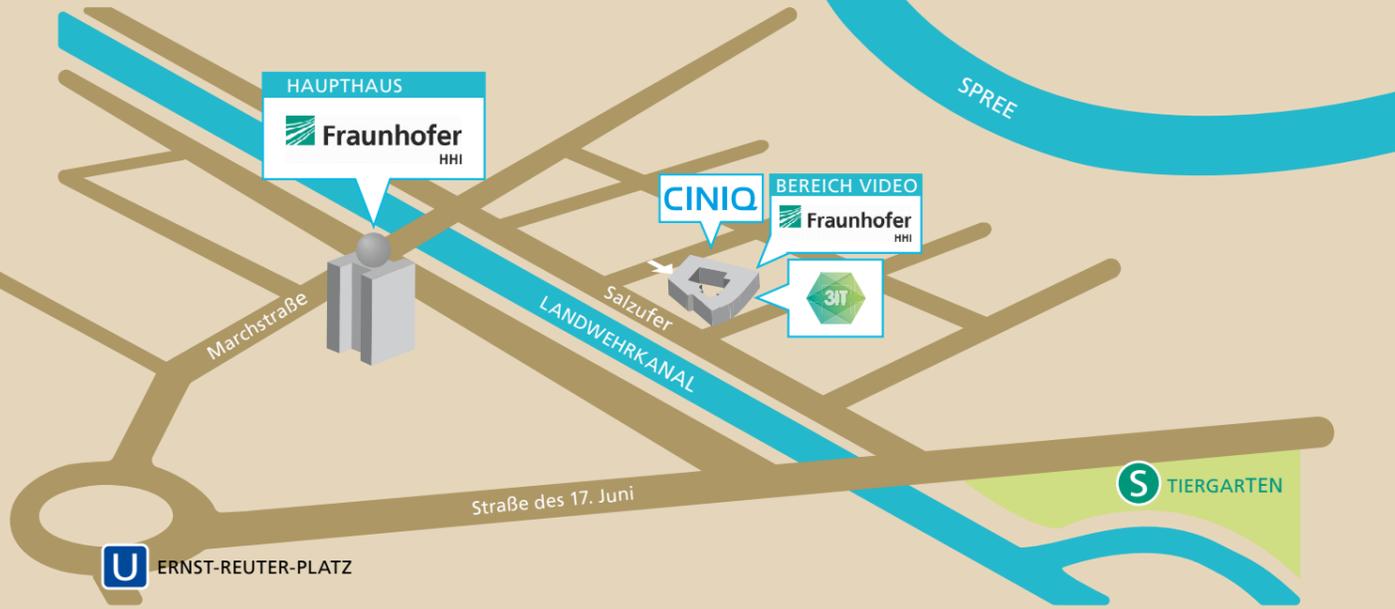
- ITG-Fachkonferenz
- Lange Nacht der Wissenschaften (LNDW)
- PolyPhotonics Berlin
- re:publica
- 3IT Summit
- Wissenschaftscampus der Fraunhofer-Gesellschaft
- SIBB Forum Digitale Transformation
- Technology Innovation Days
- Girls'Day

1 CeBIT 2018

2 NAB Show 2018

3 ECOC 2017

# KONTAKT



## Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI

Einsteinufer 37, 10587 Berlin  
 Telefon +49 30 31002-0  
 info@hhi.fraunhofer.de  
 www.hhi.fraunhofer.de

## Institutsleitung

Prof. Dr. rer. nat. Martin Schell  
 martin.schell@hhi.fraunhofer.de  
 Prof. Dr.-Ing. Thomas Wiegand  
 thomas.wiegand@hhi.fraunhofer.de

## stellvert. Institutsleitung

Dr.-Ing. Ralf Schäfer  
 ralf.schaefer@hhi.fraunhofer.de

## Kommunikation

Kathleen Schröter  
 kommunikation@hhi.fraunhofer.de

## Bewerbungen

Martina Keil  
 Manuela Roser  
 jobs@hhi.fraunhofer.de

# IMPRESSUM

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik,  
 Heinrich-Hertz-Institut, HHI  
 Corporate Communications  
 Einsteinufer 37, 10587 Berlin  
 www.hhi.fraunhofer.de

Bei Abdruck ist die Einwilligung  
 der Redaktion erforderlich.

## Redaktion

Anne Rommel, Gesine Rodenkirchen, Kathleen Schröter,  
 Ron Rothe, Stefan Granzow, Ronja Schillings,  
 Rebecca Meier zu Ummeln, Damian Brettmeister

## Satz und Layout

Juliane Grosser

## Druck

Gieselmann Medienhaus  
 GmbH & Co KG, Potsdam  
 www.gieselmann-medienhaus.de

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde auf die stete  
 Nennung der männlichen und weiblichen Form  
 verzichtet. Selbstverständlich sind immer alle  
 Mitarbeitenden gemeint.

© Fraunhofer HHI, April 2019

## Bildnachweise

- S. 01: © Fraunhofer HHI/Die Hoffotografen GmbH Berlin
- S. 02: © Dominik Lindner Photographie
- S. 10: © ARD/ZDF Förderpreis/Oliver Ziebe; © Advanced Imaging Society
- S. 11: © Fraunhofer Mikroelektronik/Uwe Steinert
- S. 13: © istockphoto/undefined undefined
- S. 15: © istockphoto/Rost-9D
- S. 16: © shutterstock/HQuality; © istockphoto/metamorworks
- S. 18: © iStock/BlackJack3D, edit by Fraunhofer HHI
- S. 19: © istockphoto/syolacan
- S. 22: © Stadt Stuttgart, Yves Schneider
- S. 23-24: © Fraunhofer HHI/seele
- S. 25: © Fraunhofer HHI/BlacPic
- S. 29: © Fotolia/SeanPavonePhoto, edit by Fraunhofer HHI
- S. 39: © Fraunhofer HHI/Johannes Stoll
- S. 41: © istockphoto/spainter\_vfx
- S. 42: © shutterstock/HQuality, edit by Fraunhofer HHI
- S. 43: © istockphoto/brave rabbit
- S. 49: © istockphoto/nicolas\_
- S. 53: © fotolia.com/xiaoliangge
- S. 57: © fotolia.com/scandinaviastock
- S. 59: © Kai Müller
- S. 61: © istockphoto.com/Petrovich9
- S. 65: © istockphoto.com/piranka
- S. 68: © istockphoto.com/Luis Alberto, Torres Salomao
- S. 70: © Fraunhofer HHI/STEFAN KNY

Alle übrigen Abbildungen:

- © Fraunhofer HHI/Julia Jung; © Fraunhofer HHI/Marvin Hoffmann;
- © Fraunhofer HHI/Pablo Ruiz



## Außenstelle des Fraunhofer Heinrich-Hertz-Instituts:

Am Stollen 19, 38640 Goslar  
 Telefon +49 5321 3816-8420