



Jahresbericht

2019 | 2020 | 2021

Impressum

Herausgeber

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

Redaktion

Martina Müller und Ronja Schillings

Design

Infografik und Layout: Juliane Grosser
Cover: Clàudia Villagrasa

Bei Abdruck ist die Einwilligung
der Redaktion erforderlich.

Inhalt

Vorwort	1
Die Zukunft gestalten	2
Neue KI-Abteilung am Fraunhofer HHI	2
Mehr als 90 Jahre Innovationen für die digitale Gesellschaft	3
Das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut	4
Zahlen und Fakten über das Fraunhofer HHI	5
Mitglieder des Kuratoriums	9
Auszeichnungen	11
Fokusthemen am Fraunhofer HHI	13
Von erklärbarer zu vertrauensvoller KI	15
Virtual Humans – Modellierung, Interaktion und Streaming	17
Digital Twins und KI im Bauwesen	19
Grüne KI	21
KI-basierte Videokodierung	23
Quantenschlüsselverteilung am Fraunhofer HHI	25
Hybride photonische integrierte Schaltungen für drahtlose 6G-Netze	27
Forschung für die Energiewende: Lithium-Ionen Batteriespeicher	29
LiFi	31
THz Kommunikation für zukünftige 6G-Netze	33
KI für Photonik und Edge	35
Abteilungen am Fraunhofer HHI	37
Organisationsplan des Fraunhofer HHI	37
Photonische Netze und Systeme	40
Photonische Komponenten	44
Faseroptische Sensorsysteme	48
Videokommunikation und Applikationen	52
Vision & Imaging Technologies	56
Drahtlose Kommunikation und Netze	60
Künstliche Intelligenz	64
Über uns	68
Showrooms	68
Kooperationen & Fraunhofer-Verbünde	70
Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland	72
ITU-Fokusgruppen am Fraunhofer HHI	74
Karrierechancen: Arbeiten am Fraunhofer HHI	76
Wo Sie uns treffen können	78
Kontakt	80



Prof. Martin Schell (l.) und
Prof. Thomas Wiegand (r.)

Vorwort

Die Digitalisierung ist ein umfassender Lösungsansatz, um gesellschaftlichen Herausforderungen effektiv zu begegnen. Ein gutes Leben, geprägt von einer nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion, einer flächendeckenden Gesundheitsversorgung und gesicherten persönlichen Daten, basiert maßgeblich auf dem Funktionieren digitaler Prozesse. Die Digitalisierung voranzutreiben, ist eines unserer Leitprinzipien am Fraunhofer HHI. Diese Maxime spiegelt sich in allen unseren Forschungsbereichen wider. Thematisch sind wir breit aufgestellt, um den gesellschaftlichen Fortschritt in vielen Bereichen mitzugestalten.

Während der Corona-Pandemie konnten Videokonferenzen in großem Umfang stattfinden und die Forschung zur Videokompression am Fraunhofer HHI hat erheblich dazu beigetragen. Mittlerweile sind mehr als 50% aller Bits im Internet mit denen von uns mitentwickelten Video-Codecs formatiert.

In den letzten Jahren haben wir vermehrt Cyberangriffe erlebt. Daher ist es nötig, an der Quanten-Verschlüsselung zu arbeiten, welche die Kommunikation über den Austausch von Quantenschlüsseln wieder sicher macht. Im Rahmen der QuNET-Initiative arbeiten wir mit Partnern daran, die Quantenkommunikation voranzubringen.

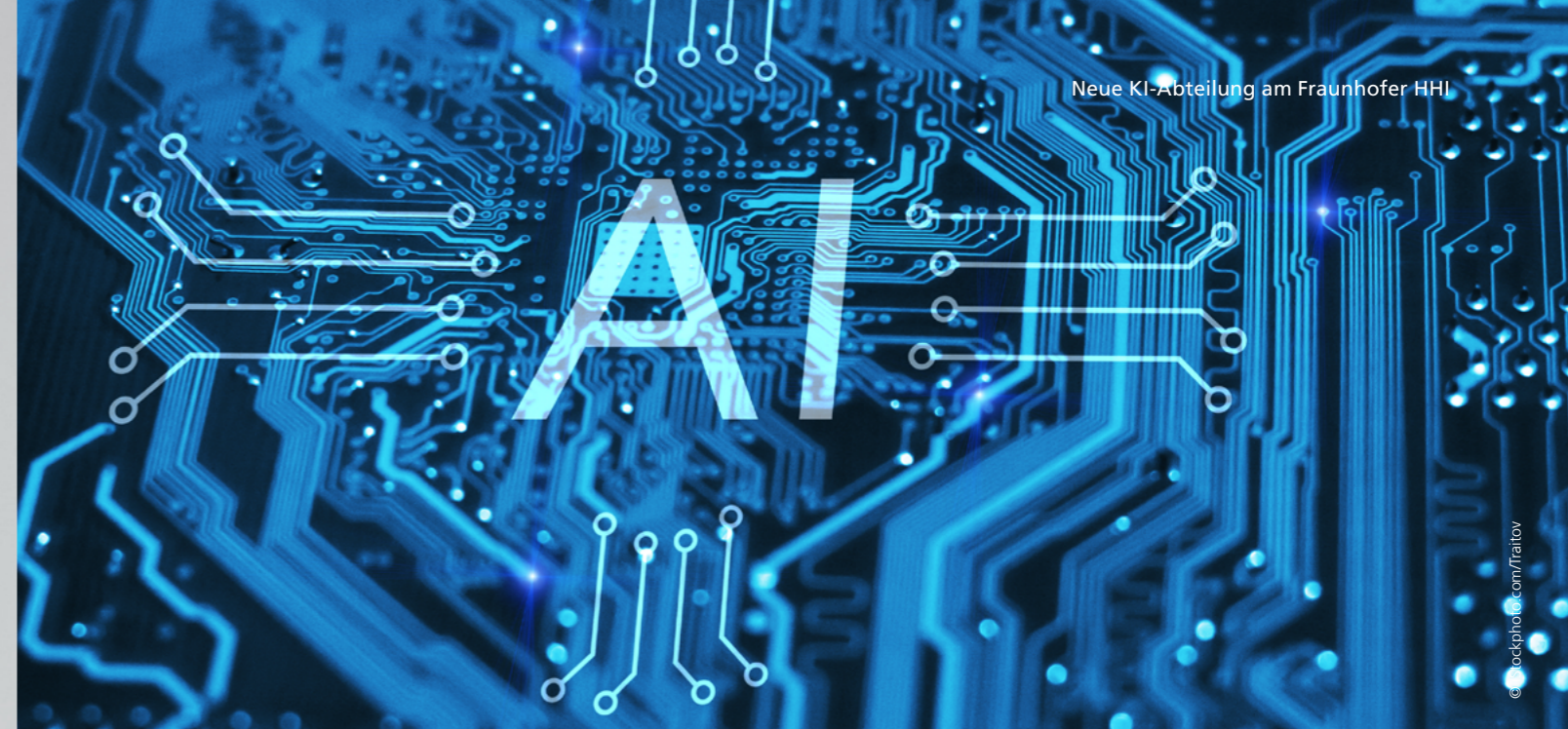
Mit unseren Arbeiten zur Erklärbarkeit von KI tragen wir dazu bei, dass KI bald in sicherheitskritischen Bereichen zuverlässig eingesetzt werden kann. Die KI-Arbeiten werden auch im Rahmen der internationalen Standardisierung sowie in Fokusgruppen der ITU mit der WHO, der WMO und der FAO in die Welt getragen.

Unsere Expert*innen für drahtlose Kommunikation haben damit begonnen, den Mobilfunkstandard der nächsten Generation 6G zu entwickeln. Ihnen ist es gelungen, dazu das größte vom BMBF geförderte Projekt 6G-RIC einzuzerlegen. Mit 6G wird es möglich werden, Digital Twins und Augmented Reality, die unsere Expert*innen für Computer Vision entwickeln, flächendeckend einzusetzen.

Im Bereich Sensorik haben unsere Wissenschaftler*innen Performancegewinne erzielt und neue industrielle Anwendungen erschlossen. Dabei können sie ressourcenschonend arbeiten und die Glasfaser-Infrastruktur für zusätzliche Anwendungen nutzen.

In unserem Jahresbericht präsentieren wir Ihnen unsere Forschungsabteilungen, unsere Highlights sowie alles andere, was für uns wichtig war.

© Fraunhofer HHI



Die Zukunft gestalten Neue KI-Abteilung am Fraunhofer HHI

Das Fraunhofer HHI gehört zu den Vorreitern in der Forschung rund um Künstliche Intelligenz (KI) in Deutschland. Um diese Position weiter zu stärken, hat das Institut im Jahr 2021 eine neue Forschungsabteilung etabliert, die sich diesem bedeutenden Thema widmet. Prof. Wojciech Samek und sein Team arbeiten seitdem daran, ihre mehrfach ausgezeichnete KI-Grundlagenforschung weiter voranzutreiben und in Richtung industrielle Anwendung zu entwickeln.



Prof. Wojciech Samek

Die neue Abteilung ist aus der Forschungsgruppe „Maschinelles Lernen“ der Abteilung „Videokommunikation und Applikationen“ hervorgegangen. Somit war gleich ein eingespieltes Team am Start, das auf dem Fundament geleisteter Forschungsarbeiten thematisch aufbauen konnte. Die Forschungsgruppen „Erklärbare Künstliche Intelligenz“, „Angewandtes Maschinelles Lernen“ und „Effizientes Deep Learning“ arbeiten an Lösungen für aktuelle Herausforderungen bei KI: Erklärbarkeit, Energie-Effizienz und Erweiterung von Anwendungsfeldern.

Mit der neuen Abteilung bringt das Fraunhofer HHI seine Expertise am KI-Standort Berlin sowie innerhalb der weltweiten KI-Community ein. Die Forschenden arbeiten bereits an mehreren internationalen Projekten. Sie beschäftigen sich mit der Entwicklung von KI-Systemen im Bereich Hautkrebserkennung, Luftqualitätsverbesserung, medizinische Assistenzsysteme, Hitzeschutz in urbanen Räumen, Frühwarnsysteme und digitaler Bahnbetrieb.



Wir wollen KI ganz neu denken: Weg von einer daten- und energiehungrigen, zentral trainierten, intransparenten KI, hin zu einer vernetzten, kontinuierlich lernenden, ‚grünen‘ KI, die ihre Entscheidungen erklären kann und sich ihrer inhärenten Unsicherheiten bewusst ist.“

Prof. Wojciech Samek
Leiter der Abteilung
Künstliche Intelligenz
am Fraunhofer HHI

76 Institute

● Hauptstandorte
○ Nebenstandorte



Die Fraunhofer-Gesellschaft (FhG)

Mit rund 30 000 Mitarbeitenden und 76 Instituten ist die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung.

Mehr als 90 Jahre Innovationen für die digitale Gesellschaft

Mit seinen Forschungsleistungen zur digitalen Infrastruktur hat das Fraunhofer HHI die Digitalisierung maßgeblich mitgeprägt und vorangetrieben.

Das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut

Das Berliner Forschungsinstitut wurde im Jahr 1928 als Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung gegründet. Seit 2003 ist das Institut Teil der Fraunhofer-Gesellschaft. Mit seinen Forschungsleistungen zur digitalen Infrastruktur hat das Fraunhofer HHI die Digitalisierung maßgeblich mitgeprägt und vorangetrieben.

- Mit der Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent trifft ein Bit bei der Übertragung über das Internet auf eine photonische Komponente, deren Kern am Fraunhofer HHI entwickelt wurde. Häufig wurde diese auch im Reinraum des Instituts gebaut.

Mindestens **50%** der Bits im Internet werden auf der Basis der vom Fraunhofer HHI entwickelten Videokodier-technologie erzeugt.



Fraunhofer HHI-Gebäude, Berlin

Die Anforderungen an die Breitband-Kapazität steigen ständig an. Der Ausbau der digitalen Infrastruktur hinkt diesen Anforderungen auch in den Industrieländern stets hinterher. Im Rahmen seiner Forschung arbeitet das Fraunhofer HHI daran, die digitale Infrastruktur kontinuierlich leistungsfähiger zu machen.

Im Laufe der Jahre ist es mehrfach gelungen, die Innovationen der Fraunhofer HHI-Forschenden zu weltweiter Anerkennung und Sichtbarkeit zu führen. So wird heute fast jedes zweite Bit im Internet gleich an zwei Stellen von Fraunhofer HHI-Technologie geprägt:

- Etwa 50 Prozent der Bits im Internet werden bei der Datenübertragung mit dem Videokodierstandard H.265/HEVC formatiert, den das Fraunhofer HHI maßgeblich mitentwickelt hat.

Unterteilt in sieben Forschungsabteilungen arbeiten rund 570 Mitarbeitende an zahlreichen Digitalisierungsthemen. An drei Standorten beschäftigen sie sich mit optischen Netzen und Systemen, photonischen Komponenten, faseroptischen Sensorsystemen, drahtloser Kommunikation und Netzen, Videokommunikation und Applikationen, Vision- und Imaging-Technologien sowie mit künstlicher Intelligenz.

Kontakt

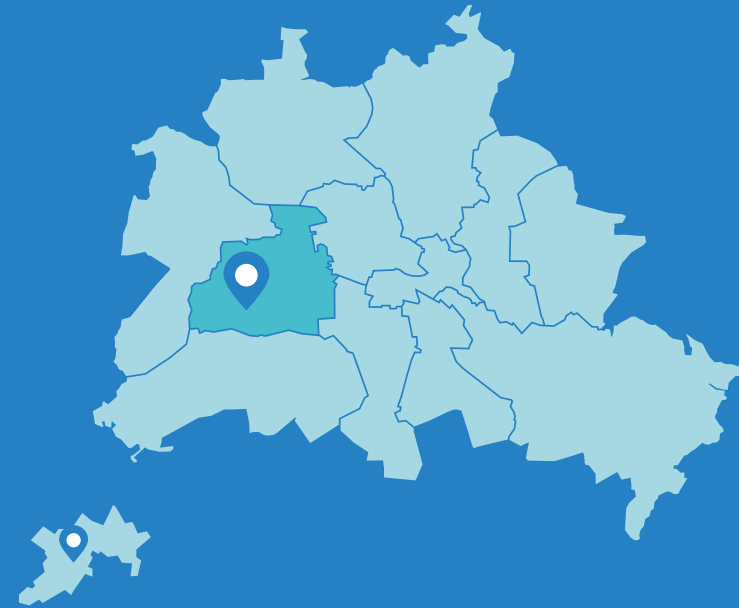
Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI Einsteinufer 37, 10587 Berlin

Telefon +49 30 31002-0
info@hhi.fraunhofer.de
www.hhi.fraunhofer.de

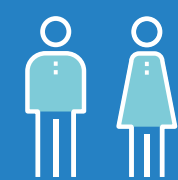
Zahlen und Fakten über das Fraunhofer HHI

Standorte

Berlin
Goslar



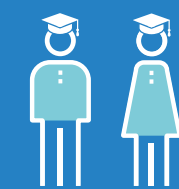
Personal*



331 2017
339 2018
375 2019
361 2020
386 2021

* pro Kopf

Stammpersonal



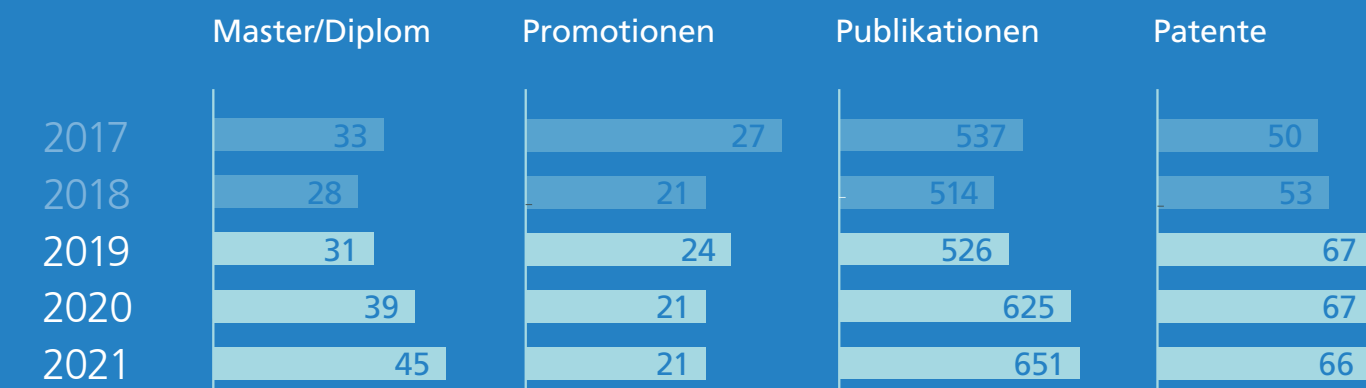
206 2017
236 2018
240 2019
304 2020
281 2021

Studierende

Lehrstühle

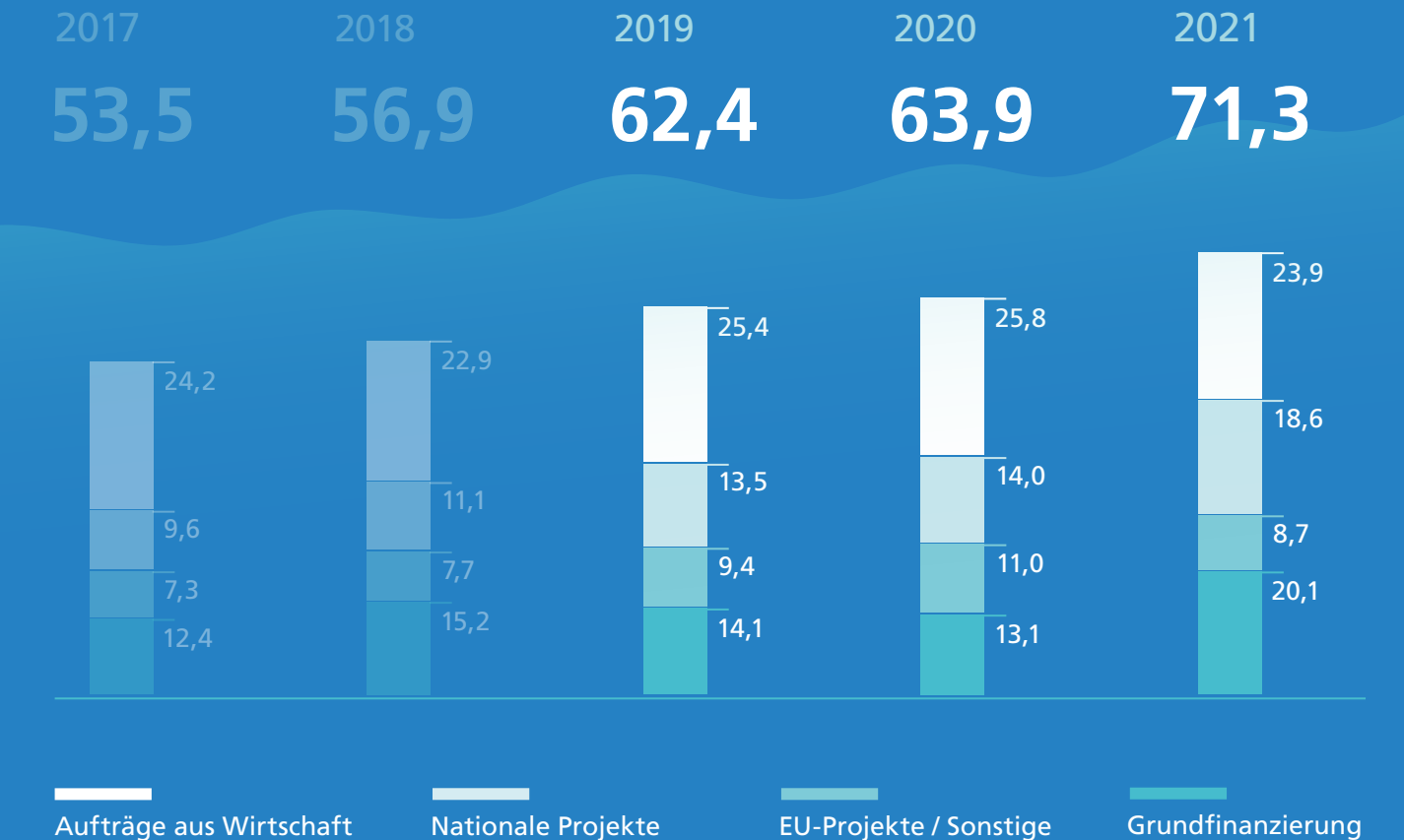
Universität	Fachbereich	seit
Technische Universität Berlin	Optische und Optoelektronische Integration Prof. Dr. rer. nat. Martin Schell	2012
	Medientechnik Prof. Dr.-Ing. Thomas Wiegand	2008
	Photonische Kommunikationssysteme Prof. Dr.-Ing. Ronald Freund	2017
	Netzwerk-Informationstheorie Prof. Dr.-Ing. habil. Slawomir Stanczak	2015
	Terahertz Sensorik (im Rahmen des ECDF) Prof. Dr. rer. nat. Björn Globisch	2019
	Advanced Wireless Communications Prof. Dr. rer. nat. habil. Volker Jungnickel	2021 vormals PD
	Privatdozent PD Dr.-Ing. Oliver Schreer	2006
Humboldt Universität Berlin	Visual Computing Prof. Dr.-Ing. Peter Eisert	2009
Freie Universität Berlin	Bildsignalverarbeitung Prof. Dr.-Ing. Heiko Schwarz	2017
Universität Potsdam	Architekturen eingebetteter Systeme für die Signalverarbeitung Prof. Dr.-Ing. Benno Stabernack	2008
Technische Universität Clausthal	Angewandte Photonik Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Schade	1998
	Außerplanmäßige Professur apl. Prof. Dr. Eike Hübner	2016

Wissenschaftliche Exzellenz

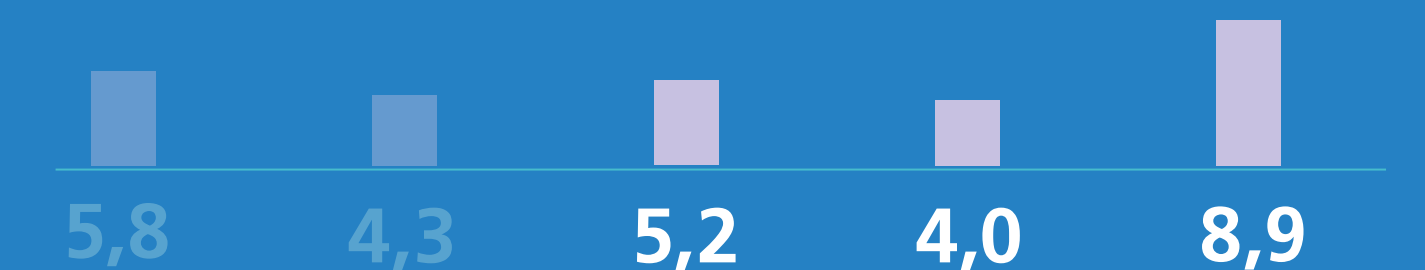


* feldspezifische Zitationsrate der FhG

Gesamthaushalt in Euro (Mio.)



Investitionen



Mitglieder des Kuratoriums

Hochrangige
Vertreter*innen
aus Industrie
und Wissenschaft
begleiten die
Arbeit des
Fraunhofer HHI.

Zeitraum
2019-2021

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

Thomas Caspers

Leiter der Abteilung Technik-
Kompetenzzentren,
Bundesamt für Sicherheit
in der Informationstechnik

Dr. Thomas Engel

Principal Key Expert Research Scientist
"Sensoren und optische Technologien",
Corporate Technology, Siemens AG

Dr.-Ing. Christoph Glingener

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

MinR Dr. Alexander Tettenborn

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

Prof. Dr.-Ing. Josef Hausner

Division Vice President,
Apple Mobile B.V. & Co KG

Dr. rer. nat. Wilhelm G. Kaenders

Vorstand,
TOPTICA Photonics AG

Prof. Franz Kraus

Vorstand,
ARRI AG

Ph.D. Michael Liehr

Executive Vice President of
Technology and Innovation,
SUNY Polytechnic Institute

Senatsrat Bernd Lietzau

Referat Ingenieurwissenschaften,
Technologietransfer,
Senatsverwaltung für Wissenschaft
und Forschung Berlin

Dr. rer. pol. Michael Meyer

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

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

Fachgebiet Maschinelles Lernen,
Institut für Softwaretechnik und
Theoretische Informatik,
Technische Universität Berlin

Prof. Dr. Susanne Stürmer

Präsidentin,
Filmuniversität Babelsberg Konrad Wolf

Prof. Dr. Lothar H. Wieler

Präsident,
Robert-Koch-Institut

Dr. Fiona Williams

Research Director,
Ericsson Eurolab Deutschland GmbH

Antje Williams

Senior Vice President,
Deutsche Telekom AG

Dr. Christian Winkler

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



Auszeichnungen der letzten Jahre

Wissenschaftler*innen des Fraunhofer HHI wurden in den Jahren 2019 bis 2021 für ihre Forschungsarbeiten in verschiedenen Bereichen ausgezeichnet:

2019

1. **Leopoldina**
Die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina hat Prof. Thomas Wiegand zum Mitglied in die Sektion Informationswissenschaften gewählt.
2. **Photonic Integrated Circuit Lifetime Achievement Award**
Prof. Martin Schell wurde bei den PIC Awards auf der PIC International Conference der "Lifetime Achievement Award" verliehen. Damit wird seine Lebensleistung im Bereich der PIC-Entwicklung geehrt.
3. **Klung-Wilhelmy-Wissenschafts-Preis**
Die Fakultät Elektrotechnik und Informatik der TU Berlin hat den ehemaligen Fraunhofer HHI-Forscher Dr. Christian Schmidt mit dem Promotionspreis der Dr. Wilhelmy-Stiftung ausgezeichnet. Der Preis würdigt seine am Fraunhofer HHI abgeschlossene Dissertation.

2020

4. **Förderpreis-ARD/ZDF**
Die ehemalige Fraunhofer HHI-Wissenschaftlerin Dr. Jennifer Rasch hat den ARD/ZDF Förderpreis „Frauen + Medientechnologie“ erhalten. Ihre Dissertation, die sie am Fraunhofer HHI verfasst hat, wurde unter die besten drei Abschlussarbeiten des Jahres gewählt.
5. **Hugo-Geiger-Preis**
Dr. Sebastian Lapuschkin, Leiter der Gruppe „Erklärbare Künstliche Intelligenz“ am Fraunhofer HHI, wurde mit dem renommierten Hugo-Geiger-Preis ausgezeichnet. Den Preis erhielt er für seine Doktorarbeit, in deren Rahmen er das XAI-Verfahren „Layer-wise Relevance Propagation“ entwickelt hat.
6. **Beste Auszubildende**
Die kaufmännische Auszubildende Charlyn Domke wurde von der Fraunhofer-Gesellschaft als eine der besten Auszubildenden des Jahres geehrt. Sie hat ihre Ausbildung am Fraunhofer HHI mit der Note „sehr gut“ bestanden. Neben ihr wurde ihre Ausbilderin Martina Keil für die gute Betreuung ausgezeichnet.

2021

7. **Applied Photonics Award**
Die TU Clausthal-Studentin Luise Hoffmann erhielt den Nachwuchspreis „Applied Photonics Award“. Ihre ausgezeichnete Masterarbeit wurde am Fraunhofer HHI mitbetreut.
8. **Best Open Source Project Awards der ICME**
Die am Fraunhofer HHI entwickelte Software „Fraunhofer Versatile Video Encoder“ (VVenC) hat bei den „Best Open Source Project Awards“ der IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME) den ersten Platz gewonnen.

Oben links: Prof. Martin Schell bei den PIC Awards; mitte: Dr. Sebastian Lapuschkin bei der Auszeichnung des Hugo-Geiger-Preis; rechts: Dr. Schmidt bei der Auszeichnung mit dem Promotionspreis der Dr. Wilhelmy-Stiftung

Fokusthemen Fraunhofer HHI



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 Forschenden in vermehrt abteilungsübergreifenden Projekten. Von Künstlicher Intelligenz über Quantenkommunikation, LiFi, Augmented Reality und Mixed Reality, Bildanalysen für Industrie 4.0 bis hin zu medizinischen Anwendungen.

Kontakt

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

Einsteinufer 37
10587 Berlin
Deutschland



We might consider the perceptron as a black box.«

Frank Rosenblatt, 1957

The perceptron – A perceiving and recognizing automaton

Von erklärbarer zu vertrauensvoller KI

KI bietet ein großes Potenzial in verschiedenen Anwendungsbereichen, in denen neben der im Labor messbaren Leistungsfähigkeit des jeweiligen KI-Systems die Transparenz der Vorhersagen eine tragende Rolle spielt. Infolgedessen hat das Fraunhofer HHI die Forschung zur Erklärbaren KI (Englisch: explainable artificial intelligence oder kurz "XAI") als Kernthema etabliert. Das gemeinsam mit der TU Berlin entworfene Verfahren „Layer-wise Relevance Propagation“ (LRP) ermöglicht es Benutzenden, die Entscheidungsgrundlage einer einzelnen KI-Vorhersage zu verstehen. LRP ist eine der weltweit am meisten eingesetzten Techniken im Bereich XAI.

Erklärbare KI über Transparenz hinaus

Das LRP-Verfahren wurde in den letzten vier Jahren systematisch weiterentwickelt und für verschiedene KI-Probleme über die Klassifikation hinaus (z.B. Clustering, Anomalieerkennung, Regression) und Anwendungsbereiche wie Medizin (z.B. Ganganalyse, Histopathologie, Dermatologie, Neurobildgebung, Epidemiologie) optimiert und erfolgreich zum Einsatz gebracht. Auf LRP aufbauend wurden weitere XAI-Werkzeuge entwickelt. Hierzu gehören die Spectral Relevance Analysis (SpRAY) oder das Class Artifact Compensation Framework (CIaRC). Während SpRAY es den Benutzern ermöglicht, systematische Verhaltensweisen und Vorhersagestrategien in KI-Modellen über

Einzelentscheidungen hinaus aufzudecken und zu erklären, lässt sich mit CIaRC eine präzise sowie effiziente Korrektur unerwünschter, jedoch erlernter Verhaltensweisen des KI-Modells realisieren. Diese neuartigen XAI-Werkzeuge erlauben das systematische Debuggen des KI-Modells. Sie ebnen somit den Weg von einer erklärbaren zu einer vertrauenswürdigen KI.

Weitere Anwendungsbereiche der am Fraunhofer HHI entwickelten XAI-Methoden erstrecken sich weit über den Zweck des Transparenzgewinns hinaus. So ermöglichen z.B. Funktionalitätsbewertungen interner Strukturen von KI-Modellen über LRP die Kompression oder Entfernung nichtfunktionaler Elemente. Dies bringt enorme Effizienzgewinne hinsichtlich Modellgröße, Vorhersagezeit und Energiebedarf mit sich. Nach dem Motto: „Keep the best and remove the rest“ lassen sich sehr große Modelle auf ein Hundertstel ihrer Ausgangsgröße zusammenschrumpfen. Dies geschieht ohne Performanzverlust.

Mit großem Enthusiasmus erforscht das Fraunhofer HHI aktuell ganz neue Ansätze zur Erklärbarkeit (XAI 2.0), mit deren Hilfe man KI-Vorhersagen in einer auf den Menschen zugeschnittenen Art und Weise erklären kann. Dies erfolgt in Form allgemein verständlicher Konzepte, die darüber hinaus als Schnittstelle für alle Arten von Interaktionen mit dem KI-Modell fungieren (z.B. Korrektur des Modells durch Korrektur der Erklärung).

Auditierung und Zertifizierung von KI-Systemen

In kritischen Anwendungsbereichen wie Mobilität, Biometrie und Medizin sind neben der Transparenz vor allem die Sicherheit, Robustheit und Zuverlässigkeit von KI-Systemen entscheidend. Um sicherzustellen, dass KI-basierte Systeme diese Anforderungen erfüllen, müssen ein KI-Auditierungsprozess sowie spezifische KI-Zertifizierungsverfahren entwickelt werden. Zu diesem Zweck haben das Fraunhofer HHI, der TÜV Verband und das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) zwei „Auditing AI Systems“ Workshops organisiert, die jeweils im Oktober 2020 und 2021 stattfanden. Hier trafen sich internationale KI-Forscher*innen im Berliner CINIQ Center/Forum Digitale Technologien, um die Grundlagen für eine auditierbare KI zu schaffen. Das Ergebnis der Diskussionen haben die Teilnehmenden in zwei Whitepapers* veröffentlicht. Mit seiner Expertise in den Bereichen Erklärbare KI, Modell-Debugging sowie Verifizierung / Validierung moderner KI-Systeme arbeitet das Fraunhofer HHI mit Hochdruck an zukünftigen KI-Standards für den verantwortungsvollen Einsatz der Technologie im Gesundheitsbereich und anderen sicherheitskritischen Gebieten wie dem autonomen Fahren. Diese Standards müssen sowohl qualitative als auch quantitative Qualitätskontrollverfahren entlang des gesamten KI-Lebenszyklus abdecken, um sicherzustellen, dass die KI-Tools genau, robust, fair und insgesamt vertrauenswürdige sind.

KI-Standards für Gesundheit und Medizin: Die ITU/WHO-Fokusgruppe "AI for Health"

Die klinische und öffentliche Gesundheit bietet eine breite Palette an Anwendungsfällen, die von der KI-gestützten Automatisierung profitieren können. Vor und während der Verwendung eines bestimmten KI-Tools in der Praxis muss sichergestellt werden, dass die Methode und ihre Implementierung sicher und effektiv sind und darauf vertraut werden kann, sie für den beabsichtigten Zweck einzusetzen. Hierbei ist auch wichtig, dass die KI-Tools – entwickelt und getestet unter „Laborbedingungen“ – im klinischen Arbeitsumfeld funktionieren. Im besten Fall sollten sie in unterschiedlichen Umgebungen, Kliniken und Ländern gleichermaßen einsatzfähig sein.

Im Jahr 2018 haben die Internationale Fernmeldeunion (ITU) und die Weltgesundheitsorganisation (WHO) eine Fokusgruppe zum Thema „AI for Health“ (FG-AI4H) als gemeinsame Initiative zur Exploration von Standardisierungsmöglichkeiten in diesem Bereich gegründet. Die FG-AI4H wird von Prof. Thomas Wiegand, Institutsleiter am Fraunhofer HHI, geleitet und von der KI-Abteilung fachlich und organisatorisch unterstützt. Die FG-AI4H etabliert Prozesse und die dazugehörigen Richtlinien und erstellt Referenzdokumente mit Best Practices. Hierzu gehören auch Annotations-Tools und eine KI-Prüfplattform.

* Zu den Whitepapers



Virtual Humans – Modellierung, Interaktion und Streaming

Aufbauend auf der von Forschenden des Fraunhofer HHI entwickelten und ausgezeichneten Technologie für Volumetrisches Video wurden Methoden zur Modellierung interaktiver virtueller Menschen sowie Streaming-Technologien zur latenzfreien Übertragung entwickelt. Diese sollen die Begegnungen und Interaktion mit virtuellen Menschen erfahrbar machen. Die neuen Methoden machen Interaktion mit realistischen virtuellen Menschen in Virtual-Reality-(VR) und Augmented-Reality-Umgebungen (AR) möglich.

Volumetrisches Video

Die Technologie zur Erzeugung von Volumetrischem Video nimmt reale Personen gleichzeitig mit mehreren Kameras auf und erzeugt so hochrealistische dynamische 3D-Modelle, die aus unterschiedlichen Blickrichtungen in einer virtuellen Szene betrachtet werden können. Das Fraunhofer HHI besitzt ein eigenes Aufnahmesystem, bestehend aus 16 Stereokameras und ca. 150 Light Panels, die die 3D-Information über die Person aus allen Richtungen erfassen können. Vergleichbar mit dem dreidimensionalen Sehen des menschlichen Auges kann so die 3D-Geometrie erfasst, fusioniert und in eine konsistente, natürliche und dynamische 3D-Darstellung der Person überführt werden. Diese Technologie hat sich weltweit als wichtiger Entwicklungsschritt in der Medienproduktion etabliert.

Vom Fraunhofer HHI produzierte Inhalte wurden in zahlreichen VR-Produktionen präsentiert. Unter anderem können Besuchende der Gedenkstätte Sachsenhausen mit Hilfe von Virtual Reality-Brillen eine virtuelle Begegnung mit dem NS-Zeitzeugen Ernst Grube dreidimensional und lebensgroß erfahren.

Vom Volumetrischen Video zu Virtuellen Menschen

Volumetrisches Video erlaubt die Wiedergabe bzw. passive Betrachtung von hochrealistischen dynamischen Modellen zuvor aufgenommener Handlungen. Nun haben Forschende des Fraunhofer HHI basierend auf diesen hochrealistischen Daten Methoden zur Generierung interaktiver virtueller Menschen erarbeitet. Dabei werden hybride Modelle genutzt, die semantische Informationen animierbarer Computer-Grafik-Modelle mit den hochrealistischen volumetrischen Videodaten sowie neuesten Methoden zu KI-basierter Animation und Neural Rendering kombinieren.

Dafür wird zunächst die Geometrie des Computermodells an den volumetrischen Scan angepasst. Nach diesem Anpassungsprozess wird die Übereinstimmung zwischen den beiden Formaten berechnet, so dass die Animationen und semantischen Informationen des Computergrafikmodells auf den volumetrischen Scan übertragen werden können. Dadurch kann

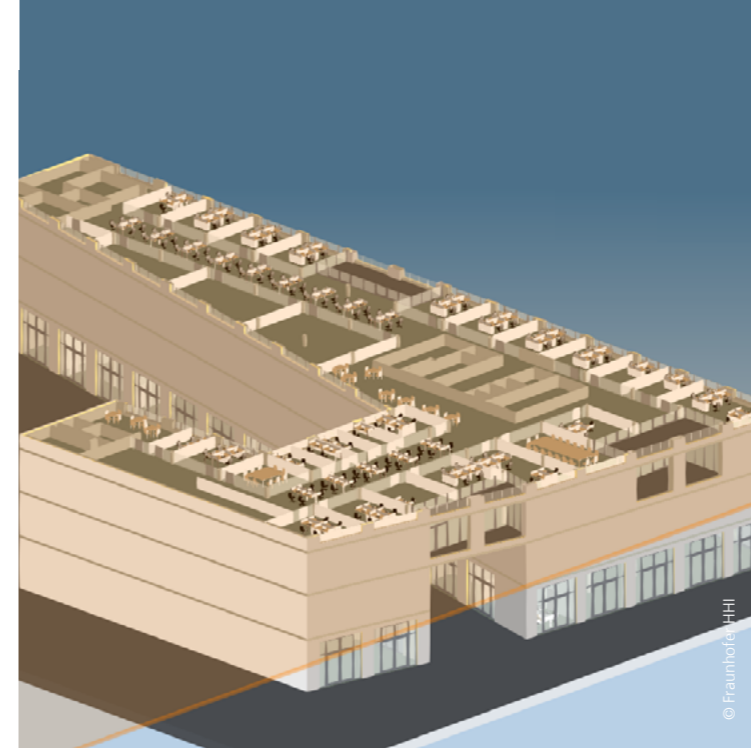
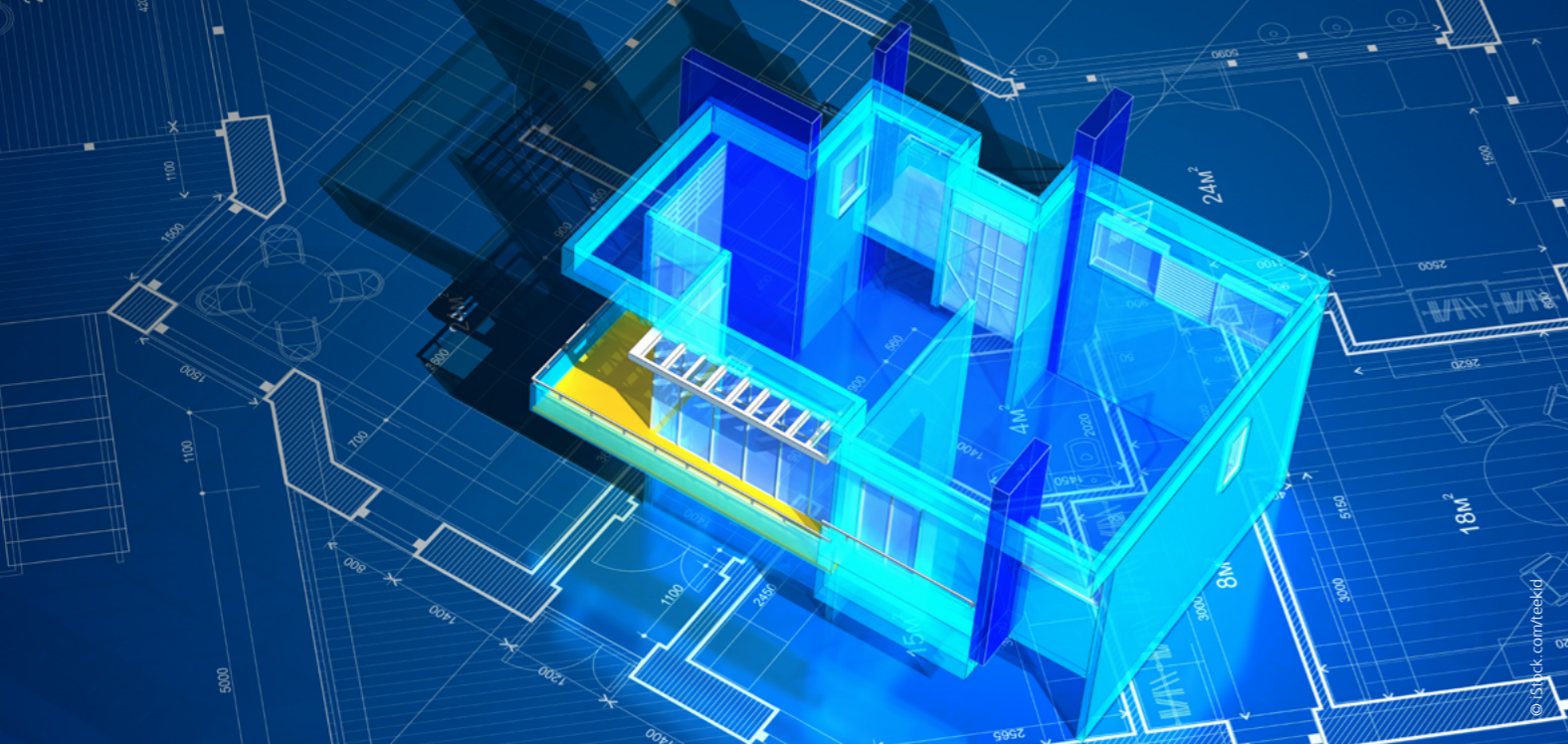
eine virtuelle Person zum Beispiel Blickkontakt mit Nutzenden aufrechterhalten. Diese Technologie konnte erfolgreich in den neuen MPEG-Standard eingebracht werden.

Auch die Synthese völlig neuer Bewegungen wird möglich: personentypische Bewegungsmuster oder Gesichtsmimik werden durch neueste KI-Methoden aus den so angereicherten volumetrischen Videodaten erlernt, so dass generative Modelle neue Bewegungen oder Gesichtsanimationen synthetisieren können, und zwar in der für die individuelle Person speziellen Art und Weise. Unter anderem wurden so Methoden zur Generierung personalisierter animierbarer Gesichtsmodelle zur visuellen Sprachsynthese entwickelt, die eine Animation in Abhängigkeit von gesprochenem Text oder Sprache realistisch synthetisieren. Auch Gestikulation und Bewegungen können abhängig von der Sprache gelernt und synthetisiert werden. Dies ermöglicht zum Beispiel immersive Videokonferenzsysteme in virtuellen Räumen. Auch die Online-Lehre können diese Technologien enorm vorantreiben: durch hochrealistische Avatare von Dozent*innen, mit denen die Lernenden über ein AR/VR-Headset interagieren können, kann die Interaktivität der Präsenzlehre mit der Flexibilität und Inklusion der Online-Lehre verbunden werden.

Wichtig in diesem Zusammenhang sind neben den technischen Entwicklungen vor allem auch ethische und wahrnehmungstheoretische Aspekte, die in enger Zusammenarbeit mit Ethiker*innen und Neurowissenschaftler*innen untersucht werden.

Streaming und Übertragung

Um die interaktiven Volumetrischen Videos auch auf mobile Geräte effizient übertragen und anzeigen zu können, haben die Forschenden des Fraunhofer HHI ein Übertragungsverfahren entwickelt, welches das energieintensive Rendering auf eine Edge-Cloud auslagert. Das gerenderte Bild wird als normales 2D-Video übertragen, dekodiert und auf der Brille in die Szene integriert. Umgekehrt überträgt die Brille Informationen zur Blickrichtung an die Edge-Cloud, um die Render-Kamera am Server synchron zum Nutzer zu positionieren und z.B. den Kopf des Avatars in die entsprechende Richtung schauen zu lassen. Dies muss natürlich schnell gehen – schließlich macht es keinen sonderlich realistischen Eindruck, wenn der Professor mit seinem Blick immer dorthin schaut, wo der Studierende vor kurzer Zeit gestanden hat und somit immer ein wenig an ihm vorbeiblickt. Die notwendige Latenz dafür liegt in beiden Richtungen unter 40 Millisekunden. Diese Latenz erreicht das entwickelte System durch die Optimierung aller Komponenten des aus Webkonferenzen bekannten Standards WebRTC, einer Machine Learning basierten Schätzung der zukünftigen Bewegung des Nutzers und einer extrem schnellen Ratenanpassung an die verfügbaren Bandbreiten des Mobilfunkkanals durch direktes Feedback aus dem Netzwerk.



Digital Twins und KI im Bauwesen

Die Bauindustrie steht aktuell vor gewaltigen Herausforderungen, um den großen Bedarf an Neubau, Instandhaltung, Energiesanierung, Wartung oder Rückbau von Gebäuden zu realisieren. Digitale Zwillinge können helfen, Planungen zu vereinfachen und Prozesse effizienter zu gestalten. In diesem Zusammenhang erforscht das Fraunhofer HHI KI-basierte Methoden zur automatischen Erstellung und Nutzung von Digitalen Zwillingen im Bauwesen.

KI-Methoden zur Digitalisierung und Bestandserfassung

Der Großteil heutiger Baumaßnahmen betrifft bereits existierende Bestandsgebäude. Während für diese Gebäude häufig zwar große Mengen an Rohdaten vorhanden sind, sind diese Daten oft nicht ausreichend digitalisiert, inkonsistent oder es fehlt an hochwertigen Building Information Modeling (BIM)-Modellen. Ziel des vom BMWK geförderten Forschungsprojekts BIMKIT (Bestandsmodellierung von Gebäuden und Infrastrukturbauwerken mittels KI zur Generierung von Digital Twins) ist es daher, mit Hilfe von KI-Methoden multimodale Rohdaten automatisiert oder durch unterstützende Tools in detaillierte BIM-Modelle umzuwandeln. Dabei werden 2D-Pläne in Vektor- oder Rasterform, Bilder und 3D-Punktwolken der aktuellen Bauwerke genauso genutzt wie Dokumente und Unterlagen von Bau, Betrieb und Wartung. In einem

modularen System führen einzelne Module mit spezialisierten neuronalen Netzwerken Teilaufgaben durch, deren Ergebnisse wiederum fusioniert und mit Expertenwissen validiert, bzw. angereichert werden.

Das Fraunhofer HHI trägt dabei mit seiner Expertise im Bereich der Bildanalyse über maschinelle Lernverfahren bei, um hochwertige Informationen aus Plänen, Bildern und Punktwolken zu extrahieren und daraus detaillierte 3D-Modelle zu erstellen. Neue Methoden der Geometriekonstruktion ermöglichen eine schnelle Live-Erfassung von Räumen über Mobilgeräte oder Stereokameras, z.B. in einen Helm integriert. Neben geometrischen Informationen können die KI-Verfahren Rohdaten bereinigen oder semantische Segmentierung, das heißt Zuordnung der 3D-Punkte bzw. Pixel zu semantischen Klassen (z.B. Tür, Wand, Fenster, Einbauten), durchführen. Genauso können CAD-Plandaten analysiert und zu semantisch angereicherten Modellen erweitert werden. Beziehungen zwischen Plandaten und Fotos von Gebäudeteilen können über eine neuartige 2D-3D-Registrierung, die auf semantischer Ähnlichkeit beruht und die Aufnahmeposition im Plan lokalisiert, hergestellt werden. Materialklassifizierungen in den aufgenommenen Daten bereichern das Modell weiter an. Sie bilden die Basis für Schallsimulationen, mit denen raum- und bauakustische Eigenschaften am digitalen Zwilling evaluiert werden können.

Digitale Zwillinge zur Montageunterstützung

Digitale Zwillinge können nicht nur die Planungsprozesse sondern auch Montage und Neubau von Bauwerken unterstützen. Das vom BMWK geförderte Projekt DigitalTwin macht es sich zum Ziel, mit digitalen Tools einzelne Beteiligte entlang der Wertschöpfungskette des Bauwesens besser miteinander zu vernetzen. Mittels Extended-Reality (XR)-Brillen können Zusatzinformationen raumstabil im Sichtfeld von Anwender*innen eingeblendet werden, um Daten aus dem digitalen Zwilling kontextspezifisch zu visualisieren. Umgekehrt lassen sich Daten über Arbeitsprozesse, die vor Ort mittels Kameras erfasst werden, wieder zurück in das digitale Modell spielen. Die Schnittstelle bildet ein am Fraunhofer HHI entwickeltes XR-Visualisierungs-Framework mit umfangreichen Möglichkeiten zur individuellen Anpassung.

Ein konkreter Anwendungsfall ist die Montageunterstützung für die Stahl-Glas-Fassadenkonstruktionen des Projektpartners see/e. Eine Herausforderung ist dabei die geometrische Ähnlichkeit einzelner Stahlknotenelemente, die der sphärischen Gitterschalenkonstruktion ihre Form geben. Um die Knoten trotz dieser Ähnlichkeit identifizieren zu können, wurde eine KI-basierte kombinierte Lokalisation, Klassifizierung und Posen-schätzung für 3D-Objekte aus 2D-Bildern entwickelt. Den Ansatz zeichnet aus, dass annotierte Trainingsdaten für das neuronale Netzwerk rein synthetisch generiert werden. Eine Erweiterung für neue Objekte ist somit leicht und automatisiert

Links: Generierung von BIM-Modellen aus 2D-Plänen;
mitte: BIM-Modell als Digitaler Zwilling eines Gebäudes;
rechts: AR- Assistenz für die Unterstützung komplexer
Montageaufgaben

möglich. Das Verfahren ist in der Lage, mehrere Objekte gleichzeitig bezüglich ihrer Lage im 3D-Raum in Echtzeit im Video zu verfolgen, was z.B. die Baufortschritterfassung ermöglicht. Während der Montage weisen Pfeilbeschriftungen in der AR-Brille darauf hin, an welcher Position und in welcher Ausrichtung ein Objekt positioniert werden muss, was Zeit beim Aufbau einspart und das Risiko für Montagefehler reduziert. Anhand eines 3D-gedruckten Gitterschalenmodells wurde in DigitalTwin die Montageunterstützung für einen kompletten Bauvorgang implementiert. Ein interaktiver Demonstrator wird derzeit im Forum Digitale Technologien in Berlin ausgestellt.



Zur Energiereduktion von KI-Verfahren werden Hardware-optimierte Systeme, effiziente Codierverfahren und spezielle verteilte Lernverfahren mit ressourcensparenden Geräten entwickelt.

Grüne KI

Im Zuge der weltweiten Bemühungen, CO₂-Emissionen zu senken, kommt der Effizienzsteigerung KI-spezifischer Algorithmen und Verfahren eine besondere Rolle zu. Künstliche Intelligenz wird z.Zt. in vielen wichtigen Themenfeldern eingesetzt und erschließt sich immer neue Anwendungsfelder. Die dafür verwendeten neuronalen Netze sind in den letzten Jahren immer komplexer geworden und benötigen typischerweise sehr große Rechenleistungen für Training und Ausführung und haben einen entsprechend hohen Energiebedarf. Zusätzlich haben sich verteilte Lernverfahren entwickelt, bei denen zunehmend mehr Daten in Form von Parameteraktualisierungen für die tiefen neuronalen Netze regelmäßig übertragen werden müssen.

Energieeffiziente KI am Fraunhofer HHI

Im Rahmen der Arbeiten des Fokusthemas „Grüne KI“ werden am Fraunhofer HHI Lösungen für einen geringeren Energiebedarf von KI-Anwendungen entwickelt. Dies umfasst Methoden, um neuronale Netze und damit KI energieeffizienter zu trainieren, anzuwenden und übertragen zu können. Dazu zählen Hardware-optimierte Systeme zur energiesparenden Ausführung von KI, verteilte Lernverfahren sowie Codierverfahren für neuronale Netze zur effizienten Übertragung. Dabei kooperiert das Fraunhofer HHI mit Partnern, wie der

dena (Deutsche Energie-Agentur GmbH) sowie Akteur*innen im Bereich KI-Anwendungen in Rechenzentren und weiteren Institutionen im Rahmen von Projekten zur energieeffizienten KI, sowie der internationalen Standardisierung zur Neuronalen Netzwerkcodierung.

CO₂-reduzierte KI in Rechenzentren

Ein Schwerpunkt der Tätigkeiten bildet die Entwicklung spezieller Hardware für eine energiereduzierte Ausführung neuronaler Netze. Diese Verfahren sind speziell für Rechenzentren konzipiert, um den CO₂-Fußabdruck heutiger komplexer KI-Verfahren, wie der Datenklassifikation mittels neuronaler Netze, zu reduzieren. Aktuell werden in Rechenzentren primär Systeme verwendet, die aus Trägerrechnern mit einer Anzahl spezialisierter Rechenbeschleuniger, wie z.B. Grafikkarten (GPU), bestehen und damit einen sehr hohen Energiebedarf zum Rechnen benötigen. Als Alternative entwickelt das Fraunhofer HHI daher spezielle Rechenbeschleuniger auf FPGA-Basis, die zudem per Netzwerk-Interface direkt an das Netzwerk eines Rechenzentrums angeschlossen sind. Dadurch ergeben sich Energieeinsparungen von bis zu 70% - zum einen durch die FPGA-Architektur, zum anderen durch die autonome Architektur des entsprechenden Beschleunigers (sog. Network Attached Accelerator, NAA), der abgekoppelt von einem Trägerrechner betrieben wird. Die FPGAs werden dabei speziell für das jeweilige neuronale Netz

parametrisiert, bzw. angepasst, sodass auch der Stromverbrauch im Vergleich zu einer GPU minimiert wird.

Verteilte KI

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung verteilter KI-Systeme mit speziellem Fokus auf Energieeffizienz. Verteilte Lernsysteme kommen insbesondere in Anwendungsbereichen mit hohen Datenschutzanforderungen zum Einsatz, da (im Gegensatz zum zentralen Lernansatz) nur Parameter neuronaler Netze ausgetauscht werden. Damit können z.B. Akteur*innen eines Geschäftsfeldes mit sensiblen Daten ein gemeinsames neuronales Netz trainieren und für die weitere Datenanalyse verwenden, ohne ihre lokalen Daten preisgeben zu müssen. Z.B. trainieren mehrere Krankenhäuser auf ihren jeweiligen lokalen CT-Daten, um im Ergebnis ein akkumuliertes neuronales Netz aller Teilnehmenden mit verbesserter Diagnosefähigkeit (z.B. zur Erkennung von Tumorzellen) zu erhalten, ohne ihre CT-Daten teilen zu müssen. Weiterhin kann sich auch ein Energieeinsparpotenzial in verteilten Lernsystemen gegenüber zentralisiertem Training in großen Rechenzentren ergeben, weil üblicherweise in verteilten Lernsystemen mit ressourcenarmen Geräten auf energieintensive Kühlung verzichtet werden kann. Daher entwickelt das Fraunhofer HHI insbesondere föderierte Lernverfahren, bei denen der lokale Lernprozess speziell an die verwendeten Client-Geräte angepasst wird, sowie die trainierten Parameter neuronaler Netze effizient übertragen werden.

Standardisierte KI-Codierung und Übertragung

Ein wesentlicher Aspekt energieeffizienter verteilter KI-Verfahren ist die effiziente Übertragung der neuronalen Netzwerkparameter. Insbesondere bei den Trainingsverfahren müssen regelmäßig Updates neuronaler Netze übertragen werden. Daher hat das Fraunhofer HHI in den letzten Jahren effiziente Codierverfahren zur Kompression neuronaler Netze entwickelt und arbeitet seit 2019 an der internationalen Standardisierung dieser Verfahren innerhalb des ISO/IEC MPEG-Gremiums. Im Ergebnis entstand der NNC-Standard (Neural Network Coding – ISO/IEC 15938-17), zu dem das Fraunhofer HHI 2/3 der Technologien beigetragen hat, wie etwa DeepCABAC als besonders effiziente Codiermethode. Der NNC-Standard ermöglicht die Kompression neuronaler Netze auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Größe (z.B. < 5% für ein VGG16-Netzwerk), ohne die Klassifizierungsgenauigkeit zu verringern. Aktuell wird der NNC-Standard um eine 2. Edition speziell für Updates neuronaler Netze erweitert, welche weitere Bitrateneinsparungen ermöglicht.

In Machbarkeitsstudien wurde gezeigt, dass der NNC-Standard auch zur Reduktion des Energieverbrauchs, z.B. in verteilten Lernumgebungen beiträgt. Insbesondere ergibt sich eine positive Energiesparbilanz, da die Übertragung der stark komprimierten neuronalen Netze wesentlich mehr Energie einspart, als für die zusätzlich notwendige Encodierung und Decodierung aufgewendet werden muss.



Beim Design neuartiger Videokodierverfahren werden zunehmend mit Erfolg datengetriebene Ansätze verfolgt.«

Dr.-Ing. Detlev Marpe,
Videokommunikation und Applikationen

KI-basierte Videokodierung

Kommunikation in Form von Videokonferenzen, Video-Streaming oder neuartigen Formaten wie virtueller oder augmentierter Realität bildet einen festen Bestandteil des Alltags moderner vernetzter Gesellschaften. Der Umfang an Videodaten, welche für derartige Anwendungen weltweit übertragen werden, nimmt stetig zu. Auf Grund der begrenzten Bandbreite der zur Verfügung stehenden Übertragungskanäle besteht deshalb ein großer Bedarf an Möglichkeiten zur effizienteren Kodierung von Videodaten.

In der Abteilung VCA werden Videokodierverfahren entwickelt, welche die Kodiereffizienz gegenüber dem State-of-the-Art Videokodierstandard Versatile Video Coding (VVC) verbessern sollen. Beim Design dieser Verfahren werden zunehmend datengetriebene Methoden eingesetzt. Im Folgenden sollen drei Beispiele für die aktuellen Forschungsaktivitäten der Abteilung auf diesem Gebiet näher beschrieben werden.

Kombinierte Intra- und Inter-Prädiktion

Die prädiktive Kodierung ist ein Grundbaustein moderner hybrider blockbasierter Video-Codecs. Hierbei wird für einen aktuell zu kodierenden Block eines Bildes einer Videosequenz eine Signalvorhersage aus bereits rekonstruierten Abtastwerten vorgenommen. Um die Bitrate der zu übertragenden

Prädiktionsfehler zu verringern, wird in der Abteilung VCA an der Entwicklung neuer effizienter Prädiktionsverfahren für die Videokompression gearbeitet. In modernen Video-Codecs findet die Prädiktion eines Blockes auf Basis entweder von benachbarten Abtastwerten innerhalb desselben Bildes oder von Abtastwerten aus einem anderen bereits dekodiertem Bild statt. Im ersten Fall spricht man von Intra-, im zweiten Fall von Inter-Prädiktion. Zum Erreichen einer Rauschunterdrückung erfolgt die Inter-Prädiktion häufig durch Mittelung von zwei einzelnen Prädiktionsignalen, der sogenannten Bi-Prädiktion. Die in der Abteilung VCA entwickelte Prädiktionsmethode verbindet Intra- und Inter-Prädiktion miteinander. Das Prädiktions-signal wird hierfür durch ein Faltungsnetz erzeugt, welches die beiden individuellen Inter-Prädiktions-signale der Bi-Prädiktion sowie die benachbarten rekonstruierten Abtastwerte eines Blockes gemeinsam verarbeitet. Es konnte gezeigt werden, dass die entwickelte Prädiktionsmethode den Prädiktionsfehler der ursprünglichen Inter-Prädiktions-signale deutlich reduzieren kann. Die entwickelte Methode wurde in das Framework des VVC-Codecs als Prädiktionsmethode integriert. Durch diese Modifikation des VVC-Codecs können signifikante Kodiergewinne erzielt werden.

Datengetriebenes Design von In-Loop-Filtern

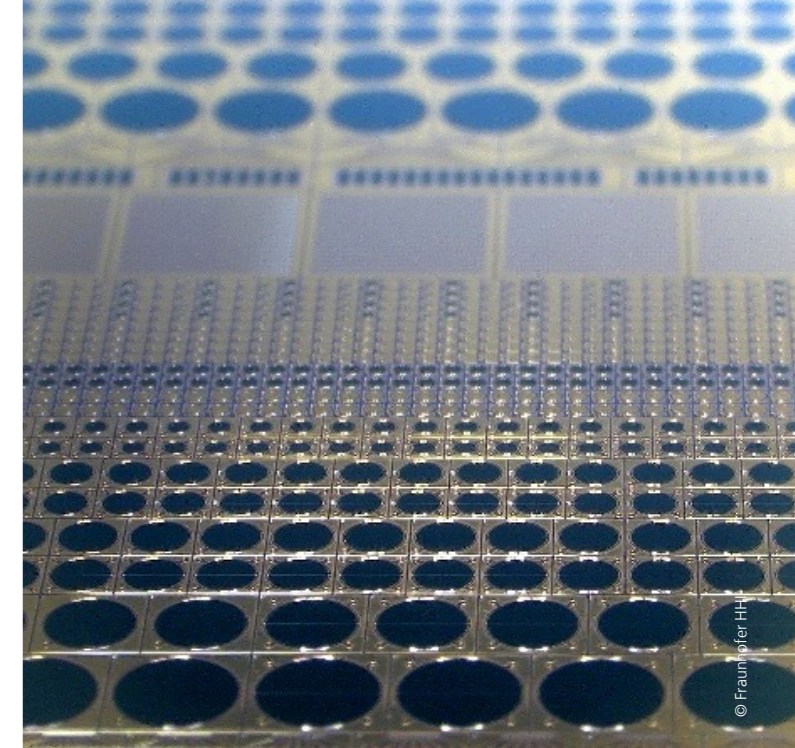
Im Dekodierprozess eines Videosignals können nach der Addition von Prädiktions-signal und rekonstruiertem Restfehler

Störungen auftreten. Durch die zeitliche Prädiktion zwischen den Bildern können sich solche Störungen zusätzlich verstärken. Deshalb werden in heutigen Video-Codecs spezifische Signalanpassungen, sogenannte In-Loop-Filter, auf die einzelnen Bilder einer Videosequenz angewandt, bevor diese angezeigt oder für die Vorhersage weiterer Bilder verwendet werden. Der VVC-Standard zeichnet sich durch eine große Anzahl möglicher Kodieroptionen aus, wie etwa zahlreiche Kombinationen verschiedener Transformationen und Prädiktionsmethoden. Eine einfache Beschreibung und Verringerung möglicher Kodierartefakte, welche diese vielfältigen Kodierverfahren verursachen können, ist hier nur schwer möglich.

In der Abteilung VCA wurde deshalb ein datengetriebener Ansatz verfolgt, um einen In-Loop-Filter für einen VVC-basierten Codec zu entwickeln. Die Signalanpassung eines Bildes erfolgt hierbei durch eine gewichtete Summe von FIR-Filterungen. Die Gewichte variieren pro Abtastwert und werden aus dem Signal mit Hilfe eines Faltungsnetzes berechnet. Sie können als Indikatoren für die Zugehörigkeit eines Abtastwertes zu verschiedenen Klassen von Kodierartefakten interpretiert werden. Mit Hilfe des vom Fraunhofer HHI entwickelten In-Loop-Filtern können signifikante Kodiergewinne gegenüber dem VVC-Standard erzielt werden. Im Vergleich zu anderen Ansätzen weist die entwickelte Methode eine deutlich niedrigere Komplexität auf. Darüber hinaus liefert die Aufteilung in Klassifizierung und Filterung eine interpretierbare Architektur für faltungsbasierte In-Loop-Filter.

Vektorquantisierung und Bewegungsrepräsentation im Kontext der End-To-End-basierten Kompression

Der Grundidee sogenannter End-To-End-basierter Kompressionsverfahren besteht darin, nichtlineare Transformationen für die Kodierung bestimmter Typen von Eingangssignalen zu verwenden. Für die Übertragung eines Signals werden dessen Transformationskoeffizienten quantisiert und die Quantisierungsindizes übertragen. Es ist bekannt, dass hierbei eine optimale Quantisierung nur durch Vektorquantisierung erzielt werden kann. Da im End-To-End-Kontext die benutzten Transformationen aber nicht normerhaltend und sogar nichtlinear sind, führt hier eine effizientere Quantisierung der Transformationskoeffizienten nicht automatisch zu einer effizienteren Übertragung der ursprünglichen Signale. Der Abteilung VCA ist es jedoch gelungen, den Lernalgorithmus für die Bestimmung der nichtlinearen Transformationen im Hinblick auf die Verwendung einer Vektorquantisierung zu konfigurieren und zu modifizieren. Hierdurch können signifikante Kodiergewinne gegenüber bestehenden End-To-End-basierten Bildkompressionsverfahren realisiert werden. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt der Abteilung VCA liegt auf der Entwicklung von effizienten Bewegungsrepräsentationen für die Videokodierung mittels End-To-End-basierter Ansätze. Hierbei werden die Bewegungsfelder für die Prädiktion eines Bildes aus einem Vorgängerbild beschrieben und übertragen. Es konnte ein erster auf diesem Konzept basierender Video-Codec realisiert werden.



Quantenschlüsselverteilung am Fraunhofer HHI

Um den stetig wachsenden Herausforderungen an zukunftssichere und langfristige Datensicherheit zu begegnen, arbeitet das Fraunhofer HHI an der Entwicklung neuartiger Lösungsansätze zur Quantenschlüsselverteilung. Diese kamen unter anderem während der ersten quantengesicherten Videokonferenz zwischen zwei deutschen Bundesbehörden erfolgreich zum Einsatz.

Anwendungsoptimierte Quantentechnologien

Die Abteilungen Photonische Netze und Systeme und Photonische Komponenten des Fraunhofer HHI arbeiten in zahlreichen Projekten gemeinsam mit Partnern aus Forschung, Industrie und Behörden an Systemen, Komponenten und Konzepten für quantensichere Kommunikationsnetze. Dabei ist ein Schwerpunkt, die Quantenschlüsselverteilung an die spezifischen Anforderungen verschiedener Anwendungsszenarien anzupassen und eine reibungslose Integration in existierende Infrastrukturen zu gewährleisten. Als eines der vier Kerninstitute der nationalen QuNET-Initiative hat das Fraunhofer HHI dafür eine modulare Entwicklungsplattform basierend auf dem Zeit-Phasen-kodierten BB84-QKD-Protokoll umgesetzt. Diese erlaubt, schrittweise neue Technologien und Anwendungsmöglichkeiten zügig zu integrieren und in Labor- und Feldexperimenten zu demonstrieren. Als erstes praktisches Beispiel eines typischen Anwendungsfalls

der Quantenschlüsselverteilung lieferte das QKD-System des Fraunhofer HHI über mehrere Wochen an den Standorten des BMBWF und BSI in Bonn hochsichere Schlüssel. Hierdurch wurde die erste quantengesicherte Videokonferenz zwischen beiden Bundesbehörden ermöglicht.

Erhöhte Schlüsselraten für zukünftige Quanten-Backbones

Moderne optische Fasernetze ermöglichen die gleichzeitige Übertragung einer großen Anzahl an Kommunikationskanälen mit verschiedenen Wellenlängen. Das Fraunhofer HHI untersucht daher, inwieweit sich dieser Ansatz zur Erhöhung der Übertragungsraten in der Quantenkommunikation anwenden lässt. Gemeinsam mit universitären und industriellen Partnern wurden dafür bis zu 11 QKD-Kanäle gleichzeitig über eine gemeinsame Faser übertragen. Dank einer am Fraunhofer HHI entwickelten schnellen FPGA-Auswertung konnte eine Schlüsselrate von über 14 Mbit/s erreicht werden, welche zukünftig hochsichere Quanten-Backbones zwischen Metropolregionen ermöglicht. Auch die gleichzeitige Übertragung eines Quantenkanals mit klassischen Kommunikationskanälen über eine einzige gemeinsame Glasfaser konnte erfolgreich mit Hilfe der QKD-Entwicklungsplattform des Fraunhofer HHI gezeigt werden.

Schlüsseltechnologien für Quantenrepeater

Mit dem Ziel, technologische Grenzen heutiger Quantenkommunikationsdistanzen zu überwinden, entwickelt das Fraunhofer HHI als einer von 26 Verbundpartnern im Projekt QR.X seine innovativen Schlüsseltechnologien für sogenannte Quantenrepeater weiter. Als einer der fundamentalen Bausteine zukünftiger Quantenrepeaterarchitekturen entwickelt das Fraunhofer HHI dafür ein verschränkungsbasiertes Quantenkommunikationssystem, das Quantenteleportationsexperimente mit den Partnern ermöglichen soll. Weiterhin baut das Fraunhofer HHI seine Testumgebung aus verlegten Glasfasern durch hybride Anbindung eines fasergekoppelten Freistrahllinks nachhaltig aus. Hierdurch können die im Verbund entwickelten Konzepte und Module getestet werden.

Hochleistungsdetektoren für die Quantenkommunikation

Im Rahmen der BMBWF-geförderten QuNET-Initiative werden am Fraunhofer HHI auch die notwendigen Hardwarekomponenten entwickelt. Eine relevante Technologie für den Quantenschlüsselaustausch sind sogenannte Single Photon Avalanche Diodes (SPADs). Diese InP-Komponenten machen es möglich, einzelne Photonen zu detektieren. Im Gegensatz zu Superconducting Nanowire Single Photon Detectors müssen SPADs nicht bei

Links: Bundesministerin Anja Karliczek und Fraunhofer HHI-Institutsleiter Prof. Martin Schell während der quantengesicherten Videokonferenz; mitte: Inbetriebnahme des QKD-Systems des Fraunhofer HHI am Bonner Standort des BMBWF; rechts: am Fraunhofer HHI entwickelte Einzelphotonendetektoren auf InP-Halbleiterbasis

extrem tiefen Temperaturen betrieben werden. Hierdurch sind sie besonders für den Einsatz in Quantenkommunikationsnetzen geeignet. Die Detektorgruppe unter der Leitung von Dr.-Ing. Patrick Runge hat entscheidende Fortschritte in der SPAD-Entwicklung gemacht und kann nach einer dreijährigen Entwicklungsphase hochperformante Bauelemente vorweisen.

Die am Fraunhofer HHI entwickelten SPADs sind in ihren Eigenschaften wie z.B. Detektionseffizienz, Dunkelzählrate, Afterpuls-Wahrscheinlichkeit und Jitter konkurrenzfähig und bilden als kritische Komponenten im Quantenschlüsselaustausch einen weiteren Baustein für die technologische Unabhängigkeit des Quantenkommunikations-Standorts Deutschland. Im weiteren Verlauf der QuNET-Initiative ist vorgesehen, die am Fraunhofer HHI entwickelten SPADs in den von der Abteilung Photonische Netze und Systeme entwickelten Systemen einzusetzen.

Hybride photonische integrierte Schaltungen für drahtlose 6G-Netze – und darüber hinaus

Die Gruppe Hybrid PICs hat in Zusammenarbeit mit der InP-Foundry und der Gruppe Terahertz-Sensorsysteme erstmals vollständig integrierte photonische mmW/THz-Transceiver demonstriert, die den Weg für den Einsatz der Photonik in drahtlosen 6G-Netzen ebnen.

Auf einen Blick

Die hybride photonische Integrationsplattform PolyBoard des HHI ermöglicht die weltweit ersten vollständig integrierten mmW/THz-Sender und -Empfänger-PICs. Damit wird das Potenzial der Photonik für drahtlose 6G-Netze demonstriert.

Verwendung bestgeeigneter Materialsysteme für photonische Funktionsbausteine

Die photonische Erzeugung von mm-Wellen- (mmW) und THz-Frequenzsignalen gilt aufgrund der hohen Bitraten, die mit photonischen Komponenten erreicht werden können, als Schlüssel für die drahtlose Kommunikation in 6G-Netzen und darüber hinaus. In der Fachliteratur wurden zahlreiche Sender- und Empfängerdemonstratoren beschrieben, die auf separaten Lasern, Modulatoren und photonischen THz-Sendern und -Empfängern basieren, was diese Systeme unhandlich macht und ihre Verwendung in Netzwerkmodulen erschwert. Darüber hinaus werden zur Stabilisierung der Laserquellen, z. B. zur Erzeugung eines mmW/THz-Trägers mit hoher Stabilität und spektraler Reinheit, in der Regel Injection-Locking-Verfahren auf der Grundlage optischer Frequenzkämme und faserbasierter optischer Isolatoren oder Zirkulatoren eingesetzt, was zu zusätzlicher Komplexität führt und diese Module noch unhandlicher macht.

Im Rahmen des europäischen TERAway-Projekts wurden erstmals voll integrierte mmW/THz-Sender- und Empfänger-PICs für die drahtlose Kommunikation demonstriert, die auf der hybriden photonischen Integrationsplattform PolyBoard des Fraunhofer HHI basieren. Ziel ist, die Herausforderungen der Miniaturisierung durch die Verwendung des am besten geeigneten Materialsystems für jedes photonische Funktionselement anzugehen. Die PolyBoard-Plattform stellt beispielsweise abstimmbare Laser und optische Isolatoren für die optische Signalerzeugung und die On-Chip-Implementierung des Injection-Locking-Schemas bereit. InP-basierte Modulator-PICs aus der InP-Foundry des Fraunhofer HHI ermöglichen die Erzeugung optischer Frequenzkämme zur Stabilisierung

der Laserfrequenz und zur Modulation des Datensignals. Im Emitter-PIC ermöglichen spezielle optische Filter auf SiN-Basis, hergestellt vom niederländischen Partner LioniX, den benötigten Einseitenbandbetrieb. InP-basierte photonische Terahertz-Sender und -Empfänger des Fraunhofer HHI dienen dabei der photonischen Erzeugung und Detektion von mmW/THz-Signalen. Die Chipllets wurden zunächst am Fraunhofer HHI assembliert und anschließend von der niederländischen Firma PHIX zusammengebaut und verpackt. Damit wurden weltweit erstmals vollständig integrierte photonische mmW/THz-Sende- und Empfangsmodule für 6G-Netze demonstriert.

Was kommt als nächstes?

In den nächsten Generationen von photonischen drahtlosen Sende- und Empfangs-PICs wird die Anzahl der Laser und Modulatoren auf dem PIC erhöht, um gleichzeitig mehrere mmW/THz-Signale mit unterschiedlichen Frequenzen erzeugen zu können. Außerdem werden Arrays von photonischen Sendern und Empfängern integriert, die eine Strahlsteuerung ermöglichen, um die mmW/THz-Signale ausrichten und bewegliche Knoten (z. B. Drohnen) anvisieren zu können.

Links: Hybrid-integrierte photonische mmW/THz-Sender- und Empfänger-PICs für die Kommunikation in drahtlosen 6G-Netzen



Forschung für die Energiewende: CO₂-neutrales Reallabor zur Aufbereitung, Wiederverwertung und Sicherheit von Lithium-Ionen Batteriespeichern

Im CO₂-neutralen Reallabor des Fraunhofer HHI werden Lithium-Ionen Batteriespeicher mit einem Energieinhalt von bis zu 150 kWh im Rahmen thermischer und elektrischer Abuse-Versuche untersucht. Im Fokus dieser Untersuchungen stehen verschiedenste Sicherheitsaspekte für mobile und stationäre Anwendungen sowie daraus entwickelte Konzepte zur Wiederverwertung von Lithium-Batterien aus der Elektromobilität (Second-Life-Batteriespeicher). Ein Beispiel sind modulare, containerbasierte Mini-Grid-Systeme zur dezentralen Energieversorgung in Entwicklungsländern, die am Fraunhofer HHI entwickelt wurden und im Rahmen von Pilotstudien bereits vor Ort eingesetzt werden.

Lithium-Ionen-Batteriespeicher (LIB) sind gegenwärtig die maßgeblichen Energieträger sowohl im Bereich der Elektromobilität als auch bei stationären Speichern. Hier leisten sie einen wertvollen Beitrag zur Gewährleistung der Netzstabilität oder ergänzen Photovoltaikanlagen im privaten oder industriellen Maßstab. Die Akzeptanz und damit verbunden die erfolgreiche wirtschaftliche Umsetzung dieser Speichersysteme stellt besondere Anforderungen an damit einhergehende Sicherheitskonzepte einschließlich notwendiger Löschmittel im Fall einer Havarie. LIB speichern große Energiemengen, jedoch können

mitunter kleinste technische Defekte oder unsachgemäße Behandlung zu einer unkontrollierten Abgabe der chemisch gespeicherten Energie führen. Im schlimmsten Fall kann dies einen Brand und/oder eine Explosion zur Folge haben. Im Reallabor des Fraunhofer HHI am Standort Goslar werden thermisch und elektrisch induzierte Abuse-Versuche unter definierten Bedingungen durchgeführt. In Fokus steht einerseits die Entwicklung neuer Sicherheits- und Löschkonzepte auf der Basis innovativer Sensorik. Andererseits werden in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie etablierte Sicherheitslösungen getestet und mit dem VDE zertifiziert. Neben Speichermusername mit einem Energieinhalt von bis zu 150 kWh werden Transport- und Lagerbehälter für LIB, Löschmittel und Löschanlagen getestet sowie Langzeit-Zyklisierungsversuche durchgeführt. Die Besonderheit des Reallabors am Fraunhofer HHI besteht darin, dass die gesamte Energieversorgung der Anlage einschließlich der Abgasbehandlung über Photovoltaik und einen Lithium-Ionen-Großspeicher dargestellt wird. Dabei werden ausschließlich sogenannte Second-Life-Photovoltaik (PV)-Module und Second-Life-LIB für den Speicher eingesetzt. Dieses Konzept zeigt exemplarisch, wie eine Reduktion von CO₂-Emissionen bei der Entwicklung und beim Testen von LIB erfolgen kann. Damit wird gleichzeitig ein wertvoller Beitrag zur Circular Economy geleistet, indem gebrauchte PV-Module

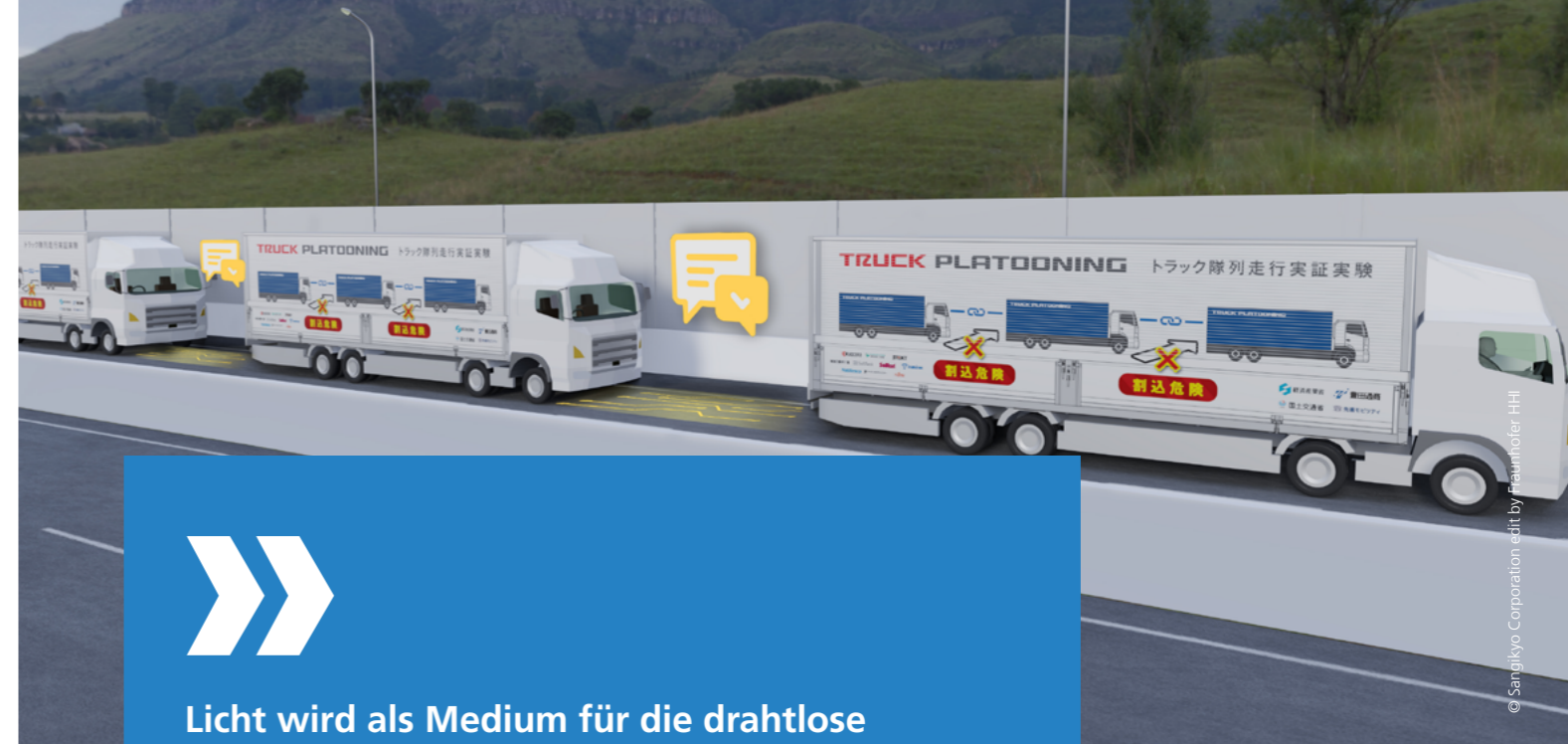
und LIB ökologisch und ökonomisch sinnvoll in einem industriellen Prozess wiederverwertet werden. Second-Life-LIB-Speicher in Kombination mit Second-Life-Photovoltaik finden bei der Bereitstellung sogenannter Mini-Grid-Systeme für die dezentrale Elektrizitätsversorgung in Entwicklungsländern bislang ein nur wenig beachtetes Anwendungsfeld. Offiziellen Schätzungen zufolge haben etwa 86% der Menschen in ländlichen Gebieten Subsahara-Afrikas keinen Zugang zu Elektrizität. Die Internationale Energieagentur (IEA) erwartet, dass bis 2040 rund 140 Millionen Menschen in Subsahara-Afrika über Mini-Grids Zugang zu elektrischem Strom erhalten werden. Neben der Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen ist die Verfügbarkeit von Elektrizität die wichtigste Voraussetzung für die lokale Entwicklung und insbesondere für den Zugang zu sauberem Trinkwasser. Das Fraunhofer HHI hat hierzu in Zusammenarbeit mit dem Start-up Unternehmen VoltaView GmbH ein modulares, containerbasiertes Mini-Grid-System zur dezentralen Stromversorgung und Trinkwasseraufbereitung entwickelt. Eine erste Anlage wurde durch die NewEnergyFoundation (UK) finanziert und wird im November 2022 in Tanzania zur Versorgung einer Schule mit elektrischem Strom und Trinkwasser aufgebaut. Weitere Anlagen sind im Bau und werden Ende 2022 in Westafrika (Gambia) installiert. Zusätzlich zur Bereitstellung von Trinkwasser dienen die

Links: Batterie-Abuse-Test;
mitte: Langzeit Batterie-
Zyklisierungsversuche;
rechts: e-Fischerboot



Container-basierte Mini-Grid-Anlage mit Batterieladesevice und Trinkwasseraufbereitung.

Mini-Grids dort als Ladestation für mobile, tragbare LIB-Packs (Battery to Go, Energieinhalt 3 kWh), die einerseits Haushalte mit Strom versorgen oder andererseits als Energiequelle für elektrisch betriebene Fischerboote eingesetzt werden. Ein wesentlicher Vorteil dieser Technologie ist, dass sie keine aufwändige Infrastruktur erfordert. In Zusammenarbeit mit der University of Gambia und unterstützt durch die United Nations Industrial Development Organization entsteht hierzu ein erstes Pilotprojekt auf der Insel Jinack in Gambia.



LiFi

Nachrichtenübertragung mit Licht ist fast so alt wie die Menschheit selbst. Ob Leuchttürme oder Morsezeichen mit Licht, es funktioniert über mehrere Kilometer. Das optische Spektrum wird bereits seit 1965 sehr erfolgreich für die Glasfaserkommunikation verwendet.

Im 21. Jahrhundert wird das sichtbare und nahinfrarote Licht auch für die drahtlose Kommunikation in Innenräumen, mit Geschwindigkeiten bis in den Gigabit-pro-Sekunde Bereich genutzt. Angelehnt an den englischen Begriff für WLAN, Wi-Fi, wird diese Technologie als LiFi (Light Fidelity) bezeichnet. Insbesondere in Umgebungen, wo Funktechnologien vor besonderen Herausforderungen stehen, stellt LiFi eine Alternative für die drahtlose Kommunikation dar. Mit Licht kann man ungestört drahtlos kommunizieren, auch in Anwesenheit starker elektromagnetischer Störungen, wie z.B. in der industriellen Produktion oder beim Einsatz empfindlicher Messgeräte im medizinischen Umfeld.

Das Fraunhofer HHI war bereits in frühen LiFi-Demonstrationen involviert und entwickelt die Technologie seitdem stetig weiter. LiFi macht viel zusätzliches Spektrum nutzbar, um das überfüllte Funkspektrum zu entlasten. Es kann durch den Netzausbau mit mehreren LiFi-Zellen höchste Datenraten für alle Nutzenden zur Verfügung stellen. Insbesondere im Kontext von 6G wird LiFi international als neue optische Luftschnittstelle untersucht. LiFi

kann einen wichtigen Beitrag für die Digitalisierung in vielen Bereichen leisten. Die kontinuierliche Arbeit des Fraunhofer HHI und die enge Zusammenarbeit mit Partnern weltweit stärkt die Technologieführerschaft Deutschlands und Europas in diesem Bereich.

Unterstützt durch LiFi: Digitalisierung der Medizin und Industrie

Digitalisierung ist ein wichtiges Thema in allen täglichen Lebensbereichen. Auch in der Medizin wird der Einsatz digitaler Technologien immer wichtiger. Anders als im Büro oder zuhause ist hier der Bedarf an robuster und sicherer drahtloser Kommunikation größer. Ein Beispiel ist die lückenlose Aufzeichnung des Patientenwegs vom Unfallort bis in den OP-Saal oder die Bereitstellung hochauflösender Inhalte von bildgebenden Verfahren während der Behandlung. In solchen Anwendungen kann LiFi helfen, die Gesundheitsversorgung in smarten Krankenhäusern zu verbessern.

Im LINCNET-Projekt sollen gemeinsam mit dem Carl-Thiem-Klinikum in Cottbus und anderen Projektpartnern maßgeschneiderte LiFi-Lösungen entwickelt werden, die an die Bedingungen im medizinischen und industriellen Umfeld angepasst sind. Damit soll der flächendeckende Einsatz in diesen Bereichen vorbereitet werden. Insbesondere in Krankenhäusern kommen



Licht wird als Medium für die drahtlose Kommunikation immer wichtiger. LiFi-Systeme verhalten sich wie ein Kabel, sie sind sicher, bieten hohe Datenraten, geringe Latenz und hohe Zuverlässigkeit.

empfindliche Messgeräte zum Einsatz, die die Verwendung derzeitiger aber auch zukünftiger funkbasierter Übertragungstechnik erschweren. Darüber hinaus gibt es Abteilungen, wie z.B. die Radiologie, die aufgrund ihrer Bauweise und der verwendeten Röntgen-Abschirmungen in den Wänden nicht effizient mit Funk versorgt werden können. LiFi stellt dort eine echte Alternative dar. Die Ansprüche an die Datensicherheit sind bei sensiblen medizinischen Patientendaten besonders hoch. LiFi-Netzwerke können sehr einfach abgeschirmt werden. Die Daten bleiben im Lichtkegel, also genau dort wo sie benötigt werden, und können nicht von außen abgehört werden. Darüber hinaus sollen Methoden zur vereinfachten Installation von LiFi evaluiert und neue optischen Quellen für sehr hohe Datenraten untersucht werden.

LiFi für Anwendungen in Gebäuden

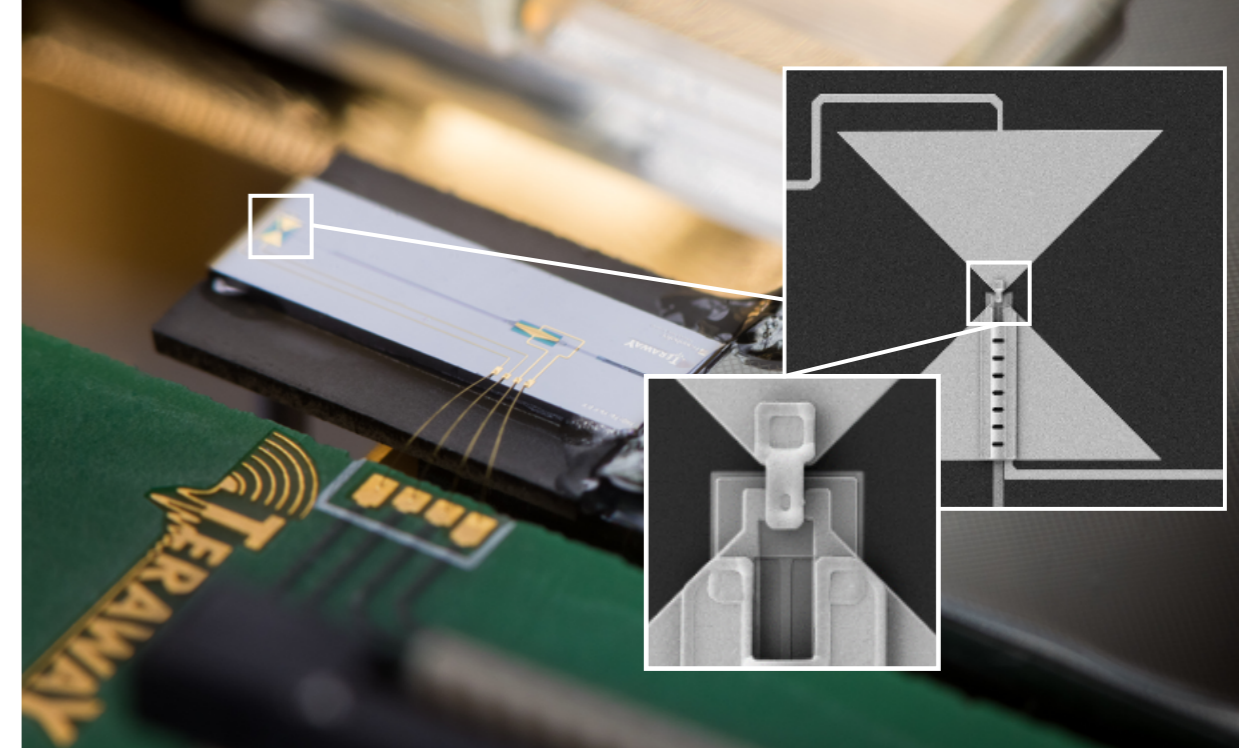
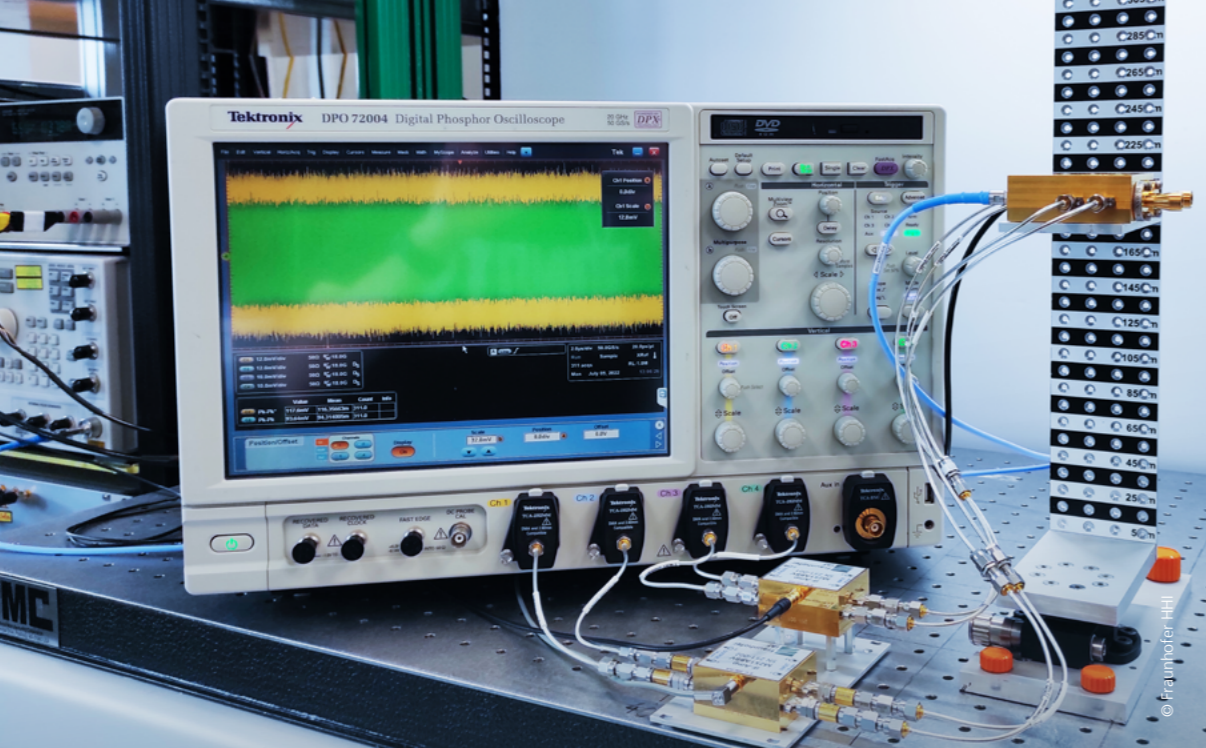
Die Anwendungen im zukünftigen Internet der Dinge und die damit verbundenen hohen Datenraten pro Nutzer*in machen LiFi auch für Anwendungen in Gebäuden interessant. Augmented und Virtual Reality finden immer breiteren Einzug in die Wohnzimmer und erfordern eine stabile drahtlose Kommunikation mit hoher Geschwindigkeit. Um etablierte Funktechnologien wie WLAN zu ergänzen, können LiFi-Hotspots mit exklusivem Medienzugriff und extrem hoher Datendichte verwendet werden. Ein Vorteil ist, dass es im optischen Spektrum keine Interferenzen

mit bestehenden funkbasierten Systemen gibt, wie zum Beispiel die zahllosen WLAN-Netzwerke der Nachbarn oder ein Bluetooth Lautsprecher. LiFi kann leicht überall nachgerüstet werden und dringt nicht durch Wände, wodurch die Daten zusätzlich gesichert sind. Die Vision ist, die zukünftige Beleuchtungsinfrastruktur als Verteilnetz für LiFi zu nutzen. Erste Demonstrationen einer Kombination aus Powerline Communication und LiFi haben das Potenzial dieses Ansatzes bereits aufgezeigt.



LiFi-System des Fraunhofer HHI mit Gbit/s Datenrate

Oben links: Einsatz von LiFi für Punkt-zu-Punkt-Gebäudevernetzung, Smart City und Fixed-Wireless-Access-Anwendungen; oben rechts: robuste Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation mit LiFi



THz Kommunikation für zukünftige 6G-Netze

– von optoelektronischen Komponenten bis zu feldtauglichen Systemen

Anwendungen wie Industrie 4.0, Autonomes Fahren, Smart Cities oder Augmented Reality erfordern in Zukunft extrem hohe Bandbreiten. Diese können mit der drahtlosen THz-Kommunikation erreicht werden. Mit Frequenzen weit oberhalb jener des 4G-LTE- und 5G-Mobilfunks fügt sich diese Technologie ideal in bestehende Kommunikationsnetze ein. Perspektivisch ermöglicht sie hundertfach höhere Datenraten als 5G.

Technologien zur Nutzung der Frequenzbänder oberhalb von 100 GHz für die drahtlose THz-Kommunikation stehen aktuell im weltweiten Fokus der Forschung und Entwicklung. Sie werden als Schlüsseltechnologien für die Erfüllung der ambitionierten Leistungskennzahlen zukünftiger 6G-Netze angesehen. Diese sollen einen massiven Anstieg der drahtlosen Datenraten, eine deutlich verringerte Latenz und eine höhere Zuverlässigkeit und Netzabdeckung gegenüber heutigen 5G-Netzen ermöglichen.

Optoelektronische Komponenten für die THz-Kommunikation

Das Fraunhofer HHI forscht in verschiedenen Arbeitsgruppen auf dem Gebiet der THz-Kommunikation. Der Schwerpunkt der Gruppe Terahertz-Sensorsysteme der Abteilung Photonische Komponenten liegt in der Entwicklung der Sende- und

Empfangseinheiten für diesen besonderen Frequenzbereich. Dabei wird auf langjähriger Erfahrung in der Entwicklung photonischer Komponenten für die glasfaserbasierte Telekommunikation aufgebaut. Die hierfür entwickelten Lösungen werden nun konsequent für die THz-Kommunikation weiterentwickelt.

THz-Sender auf Basis ultraschneller Photodioden

Als optoelektronische THz-Sender dienen ultraschnelle Photodioden, die in der qualifizierten InP-Prozesslinie des Fraunhofer HHI gefertigt werden. In der Photodiode wird ein optisches Schwingungssignal zweier leicht zueinander verstimmt Laserlinien direkt in THz-Strahlung konvertiert (Photomischung). Mit diesem Ansatz kann ein sehr großer Frequenzbereich (0,1 THz – 4,5 THz) mit einem einzelnen THz-Sender abgedeckt werden. Für die Datenübertragung wird eine der Laserlinien in Amplitude/Phase moduliert und so das Datensignal auf die THz-Trägerfrequenz übertragen. Durch den kohärenten Betriebsmodus können auch komplexe Modulationsformate, wie QAM oder QPSK, genutzt werden, so dass Datenraten >100 Gb/s bereits demonstriert werden konnten.

Photomischer als kohärente THz-Empfänger

Aktuell werden sogenannte Photomischer als THz-Empfänger für die Datenübertragung weiterentwickelt. Diese basieren auf

speziellen, ultraschnellen Halbleitermaterialien, die per Molekularstrahlepitaxie am Fraunhofer HHI hergestellt werden. Auch diese Photomischer werden mit einem optischen Schwingungssignal angeregt, welches mit der einfallenden THz-Strahlung mischt. Unterscheiden sich dabei die Frequenz der optischen Schwebung und die des THz-Signals (heterodyne Detektion), so ergibt die Mischung eine Zwischenfrequenz, die für die Datendemodulation genutzt wird.

Photonische Integration der THz-Systeme

Großes Potenzial für die weitere Miniaturisierung von optoelektronischen THz-Systemen liegt in der photonischen Integration. Denn alle benötigten Bausteine eines solchen Systems, wie Laser und Photodioden, können mit der InP-Technologie des Fraunhofer HHI hergestellt werden. An dieser Herausforderung wird aktuell in verschiedenen EU-Projekten TERAway und TERAmeasure intensiv gearbeitet.

Breitbandige THz-Kommunikation

Die Gruppe Submarine and Core Systems der Abteilung Photonische Netze und Systeme beschäftigt sich mit der Übertragung von sehr hohen Datenraten über den drahtlosen THz-Kanal und die Integration von THz-Links in die bestehende (faser-optische) Infrastruktur. Als Meilenstein in Richtung einer

Links: Laboraufbau einer THz-Empfangseinheit, mitte: Modell einer Dual-Aperture THz-Antenne; rechts: Hybrid integrierte, photonische THz-Sendeeinheit aus dem Projekt TERAway.

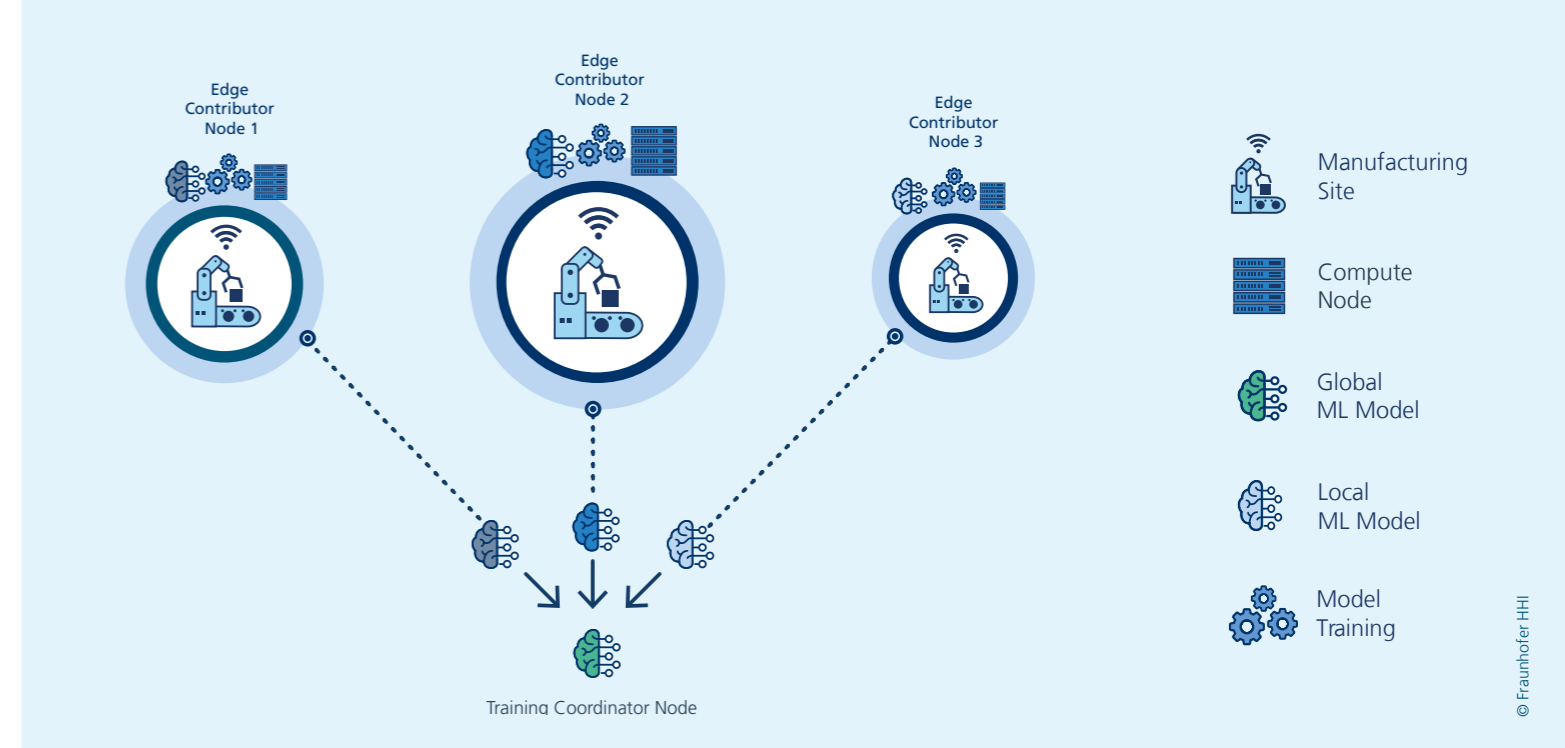
frühen Markteinführung konnte in den Projekten TERRANOVA und KONET die weltweit erste Echtzeitdatenübertragung über eine Strecke mit kombinierten faser-optischen und THz-drahtlosen Segmenten mit einem kommerziellen 100 Gb/s-Modem gezeigt werden. In Feldversuchen auf dem Campus der Technischen Universität Berlin gelang außerdem die fehlerfreie Übertragung eines 100-Gb/s Datensignals über eine Strecke von 500 m.

Entwicklung von feldtauglichen THz-Prototypen

Gemeinsam mit dem Fraunhofer- Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF) in Freiburg entwickelt die Gruppe Submarine and Core Systems aktuell einen feldtauglichen Prototypen für die Punkt-zu-Punkt-THz-Kommunikation mit einer Trägerfrequenz von 300 GHz bei Datenraten bis 100 Gb/s über eine Freiraumstrecke von bis zu 1 km. Dieser wurde bereits auf verschiedenen Ausstellungen vorgestellt. Ausgerüstet mit einem wetterfesten Gehäuse und einer faser-optischen Datenschnittstelle soll dieser Prototyp zunächst in städtischen Front- und Backhaul-Netzwerken zum Einsatz kommen, um Erfahrungen im anwendungsnahen Dauereinsatz zu sammeln.



© Fraunhofer HHI



© Fraunhofer HHI

KI für Photonik und Edge

Künstliche Intelligenz (KI) verändert fast alle Branchen. Sie gilt als der wichtigste technologische Wegbereiter für 5G/6G-Kommunikationsnetze. Es wird erwartet, dass KI und Machine Learning (ML) den Status quo verändern und die Funktionsblöcke im gesamten optischen Transportnetz revolutionieren werden, das von unseren Zimmern und Büros (Fiber to the Room (FTTR)) bis zu anderen Städten, Ländern oder Kontinenten (Metro-/Kern-/Submarine-Netze) reicht. Am Fraunhofer HHI entwickeln wir KI-gestützte Lösungen für das diverse Ökosystem der optischen Kommunikationsnetze sowie modernste Algorithmen, um die Vision der KI-basierten Netzautomatisierung Wirklichkeit werden zu lassen.

Die Verwirklichung einer solchen Netzautomatisierung erfordert umfangreiche Forschung und Entwicklung in mehreren Schlüsselbereichen, darunter: 1) Netzüberwachung und Programmierbarkeit, 2) Telemetrieerfassung und Streaming, 3) Erzeugung von Referenzdatensätzen, 4) Algorithmenentwicklung, 5) experimentelle Prüfung und Validierung sowie 6) Erklärbarkeit, Zertifizierung und Bereitstellung. Bei diesen Entwicklungen sollten die grundlegenden Merkmale des Telco-Ökosystems berücksichtigt werden, d. h. das Vorhandensein zahlreicher Interessengruppen. Einerseits ist ein hohes Maß an Interoperabilität im Entwicklungsprozess sicher zu stellen. Andererseits ist die KI-gestützte Netzautomatisierung

substantiell auf die gemeinsame Nutzung von Daten angewiesen. Diese Faktoren führen zu hoher Komplexität im Hinblick auf Fragen der Datenvertraulichkeit und der Regulierung. Im Datenschutz begründete Bedenken motivieren die Einbeziehung von Lösungen, die Sicherheit, Vertrauen und den Schutz der Privatsphäre von allen Beteiligten anbieten.

In der Abteilung für Photonische Netze und Systeme forscht die Gruppe Datenanalyse und Signalverarbeitung (PN-DSP) in all diesen Schlüsselbereichen – und darüber hinaus. Wir entwickeln innovative Lösungen für die gesamte ML-Pipeline und validieren sie mithilfe unserer groß angelegten Testinfrastruktur. Die Erforschung von datenschutzfreundlicher und dezentraler KI, Edge KI und föderiertem Lernen für Telekommunikationsnetze und andere datenzentrierte Branchen gehört zu unseren strategischen Forschungsbereichen.

Datensätze für die Netzautomatisierung

Als primärer Wegbereiter für die Netzautomatisierung entwickeln und veröffentlichen wir Referenzdatensätze für eine Vielzahl von Anwendungsfällen (z. B. Schätzung der Übertragungsqualität, vorausschauende Wartung, Verkehrsprognose). Wir haben bereits eine erste Sammlung von Datensätzen für die Schätzung der Übertragungsqualität öffentlich verfügbar

gemacht. Die Datensatzsammlung wird derzeit um experimentelle Messungen erweitert, die sich auf optische Multibandnetze im S-, C-, und L-Band konzentrieren.

Carrier-grade ML-Pipeline für den Echtzeitbetrieb

Die Realisierung autonomer Netze erfordert eine zuverlässige und leistungsstarke Pipeline für ML. Die ML-Pipeline ermöglicht das Streaming von Überwachungsdaten über die gesamte Infrastruktur, um ML-gestützte Netzapplikationen (ML-APPs) auszuführen. Wir haben eine Echtzeit-ML-Pipeline entwickelt, die ein Telemetrie-Framework mit Datenhoheit, einen skalierbaren Datensee und ein Analysemodul zur Ausführung von ML-APPs umfasst. Wir haben unsere Implementierung in das Telemetry Work Item der ETSI ISG F5G Standardisierungsgruppe eingebracht und eine erfolgreiche Proof-of-Concept-Demonstration für Echtzeit-Verkehrsüberwachung und -analyse durchgeführt.

DLFi: Das Framework für verteiltes Lernen

Das Entstehen einer Datenwirtschaft und datenzentrierter Lösungen erfordert fortschrittliche Techniken zum Schutz der Gewährleistung der Vertraulichkeit, der Privatsphäre und der Daten. Wir entwickeln eine Softwarelösung namens DLFi, die hochmoderne Algorithmen zum Schutz der Privatsphäre

für die Realisierung von KI-basierten Produkten bietet. DLFi unterstützt verschiedene Anwendungsfälle in unterschiedlichen Sektoren wie Telekommunikation, Industrie 4.0 und Gesundheitswesen.

Verteilte Intelligenz für die Industrieautomatisierung

Edge Clouds spielen eine wichtige Rolle bei der aktuellen digitalen Transformation der Industrieautomation, bei der Betriebstechnologien (OT) und Informationstechnologien (IT) zusammenwachsen. Wir betreiben eine Instanz der Fraunhofer Edge Cloud (FEC), die eine Forschungsplattform zum Testen und Validieren von Industrie 4.0-Anwendungsfällen bietet. Die FEC bietet eine Virtualisierungsschicht auf Basis von OpenStack, GPU-Beschleunigung und Datenhoheit auf Basis des International Data Spaces. Gemeinsam mit unserem Partner German Edge Cloud haben wir mehrere Proof-of-Concept-Demonstrationen mit der FEC durchgeführt. Darüber hinaus haben wir DLFi erfolgreich in einem Kubernetes-basierten Einsatz auf der FEC demonstriert, um föderierte Lernsituationen zum Training eines YOLOv5-Modells für die visuelle Inspektion durchzuführen.

Verwaltung

Institutsleitung

Verwaltung
Dipl.-Betriebsw., MBA
Michael Klee

Qualitätsmanagement und Sicherheit
Dipl.-Ing. (FH) Mario Perkowski

Kommunikation
M. A.
Martina Müller

Prof. Dr.-Ing.
Thomas Wiegand
Institutsleiter

Prof. Dr. rer. nat.
Martin Schell
Institutsleiter

Bereich Video
Dr. Ing. Ralf Schäfer

Drahtlose Kommunikation und Netze ^B
Prof. Dr.-Ing. Slawomir Stanczak
Dr.-Ing. Thomas Haustein

Videokommunikation und Applikationen ^B
Dr.-Ing. Detlev Marpe
Dr.-Ing. Thomas Schierl

Vision and Imaging Technologies ^B
Prof. Dr.-Ing. Peter Eisert
Dr.-Ing. Anna Hilsmann

Künstliche Intelligenz ^B
Prof. Dr. rer. nat.
Wojciech Samek

Photonische Komponenten ^B
Prof. Dr. rer. nat.
Martin Schell

Faseroptische Sensorsysteme ^G
Prof. Dr. rer. nat.
Wolfgang Schade

Photonische Netze und Systeme ^B
Prof. Dr.-Ing.
Ronald Freund

System-bewertungen
Dr.-Ing.
Lars Thiele

Technologien und Standards
Dr.-Ing.
Thomas Haustein

Signal- & Informations-verarbeitung
Dr.-Ing.
Martin Kasparick

Optimization and Learning for Communications
Dr. phil. nat.
Renato Cavalcante

Smart Wireless Connectivity
Dr.-Ing.
Zoran Utkovski

mm-Welle
Dr.-Ing.
Michael Peter

Intelligente Netzwerk-architektur
Dr.-Ing.
Julius Schulz-Zander

Prototypen Entwicklung & Systemintegration
Dipl. Ing. (FH)
Andreas Forck

Multimedia-Kommunikation
Dr.-Ing.
Cornelius Hellge
Dr.-Ing.
Thomas Schierl

Videokodierungs-technologie
Dr. rer. nat.
Jonathan Pfaff
Prof. Dr.-Ing.
Heiko Schwarz

Eingebettete Systeme
Prof. Dr.-Ing.
Benno Stabernack

Videokodierungs-systeme
Dipl.-Ing.
Benjamin Bross
Dipl.-Ing.
Adam Wieckowski

Computer Vision und Grafik
Dr.-Ing.
Anna Hilsmann

Immersive Medien & Kommunikation
Dipl.-Ing.
Ingo Feldmann
PD Dr.-Ing.
Oliver Schreier

Aufnahme- und Anzeigesysteme
Dipl.-Ing.
Christian Weißig

Interaktive und Kognitive Systeme
Dr.-Ing.
Sebastian Bosse

Erklärbare Künstliche Intelligenz
Prof. Dr. rer. nat.
Wojciech Samek
Dr. rer. nat.
Sebastian Lapuschkin

Angewandtes Maschinelles Lernen
Dr. rer. nat.
Jackie Ma

Effizientes Deep Learning
Dr.-Ing.
Karsten Müller

Modulatoren und Detektoren
Dr.-Ing.
Patrick Runge

Laser
Dr. rer. nat.
Martin Möhrle

Photonic InP Foundry
Dipl.-Phys.
Klemens Janiak

Hybrid PICs
Dipl.-Ing.
Norbert Keil

Terahertz-Sensorsysteme
Dr. rer. nat.
Robert Kohlhaas

Epitaxie
Dr. rer. nat.
Christoph Hums

Prozessierung
Dr. rer. nat.
Kristijan Posilovic

Backend
M. Sc.
Maximilian Herzog

Packaging
B. Sc.
Felix Ganzer

Betriebstechnik
Dipl. Ing.
Clemens Kleimann

FiberLab
Dr. rer. nat.
Martin Angelmahr

Batteriesensorik
Dr. rer. nat.
Antonio Nedjalkov

Oberflächenbearbeitung
apl. Prof. Dr.
Eike G. Hübner

Optische Unterseeund Kernnetze
Dr. rer. nat.
Colja Schubert

Optische Zugangs-, Haus-, & Anschlussnetze
Prof. Dr. rer. nat. habil.
Volker Jungnickel

Optische Freistrahlsysteme
Dr.-Ing.
Nicolas Perlot

Digitale Signalverarbeitung
Dr.-Ing.
Johannes Fischer

B – Berlin
G – Goslar

Organisationsplan

DIN EN ISO 9001-2015 zertifiziert
Stand: 2022

Photonische Netze und Systeme

Auf einen Blick

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

© istockphoto/brave rabbit

Kontakt

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



© Fraunhofer HHI



© Fraunhofer IAF



© Fraunhofer HHI

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 mit 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, sogenannten „Edge Clouds“, um zukünftige 6G-Services mit geringer Latenz bedienen zu können. Das Fraunhofer HHI entwickelt experimentell validierte Algorithmen für die Planung und effiziente Steuerung von optischen Netzen.

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- μ rad-Bereich) genügen. Die geforderten Datenraten im Terabit/s-Bereich werden mithilfe der Wellenlängen-Multiplex-Technologie im 1550-nm-Transmissionsfenster der Atmosphäre realisiert. Die im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation konzipierten Prototypen ermöglichen eine bidirektionale Übertragung zwischen Bodenstation und Satellit, auch bei atmosphärischen Turbulenzen. Die entwickelten Freistrahll-Übertragungssysteme werden zudem im terrestrischen Bereich und für die Untersuchung von sicheren Quantenschlüsselverteilungssystemen eingesetzt. Das Fraunhofer HHI entwickelt und testet Freistrahll- als auch Glasfaser-basierte Systeme für den Quantenschlüsselaustausch.

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 eine drahtlose Übertragung mit Datenraten im Terabit/s-Bereich über kurze bis mittlere Entfernungen (1 – 5 km). Diese Übertragungskapazität wurde bisher ausschließlich von optischen Glasfaserübertragungssystemen erreicht. Es konnte bereits ein feldtauglicher Prototyp mit einer Trägerfrequenz von 0,3 THz bei Datenraten bis 100 Gbit/s über eine Punkt-zu-Punkt-Freiraumstrecke von 1 km demonstriert werden. 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 (auch LiFi genannt) 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 Raumbeleuchtung genutzt werden, Daten drahtlos übertragen können. Mit dieser Technik werden schon heute Datenraten im Gbit/s-Bereich pro Wellenlänge erreicht. Aktuelle Arbeiten umfassen die Untersuchung der LiFi-Technologie für Anwendungen im industriellen und medizinischen Umfeld. Weiterhin wird die Entwicklung fortgeschrittener Kommunikationsprotokolle zur Erweiterung der Netzwerkfunktionalität für die hohen Anforderungen dieser Anwendungsfälle hinsichtlich Zuverlässigkeit, Latenz und Jitter untersucht sowie deren Standardisierung vorangetrieben.

Links: Laser-Kommunikationsterminal mit optischer Antenne für Freistrahübertragung; mitte: THz-Outdoor-Antenne für 100 Gbit/s Datenübertragung; rechts: LiFi-System für den Betrieb mehrerer Access-Punkte zur Abdeckung größerer Flächen

Photonische Komponenten

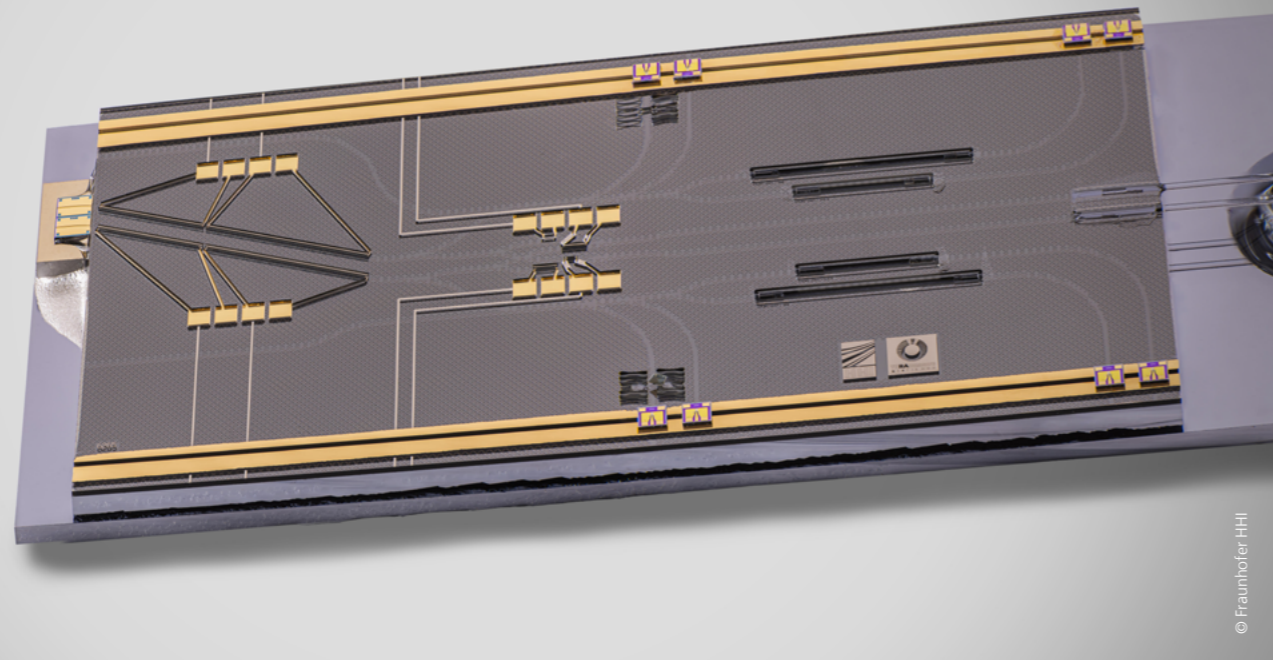
Auf einen Blick

Die im Internet übertragene Datenmenge verdoppelt sich etwa alle drei Jahre. Die Abteilung Photonische Komponenten hat mit ihren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dazu beigetragen, dass das Internet dennoch weiter funktioniert. Inzwischen berührt etwa jedes zweite Bit im Internet Technologie aus dem Fraunhofer HHI. Neben optoelektronischen Halbleiterbauteilen zur Datenübertragung werden integriert-optische Schaltkreise entwickelt. Darüber hinaus erforschen die Berliner Wissenschaftler*innen verwandte Gebiete wie die Sensorik, die Terahertz-Spektroskopie und Hochleistungs-Halbleiterlaser für industrielle Anwendungen.

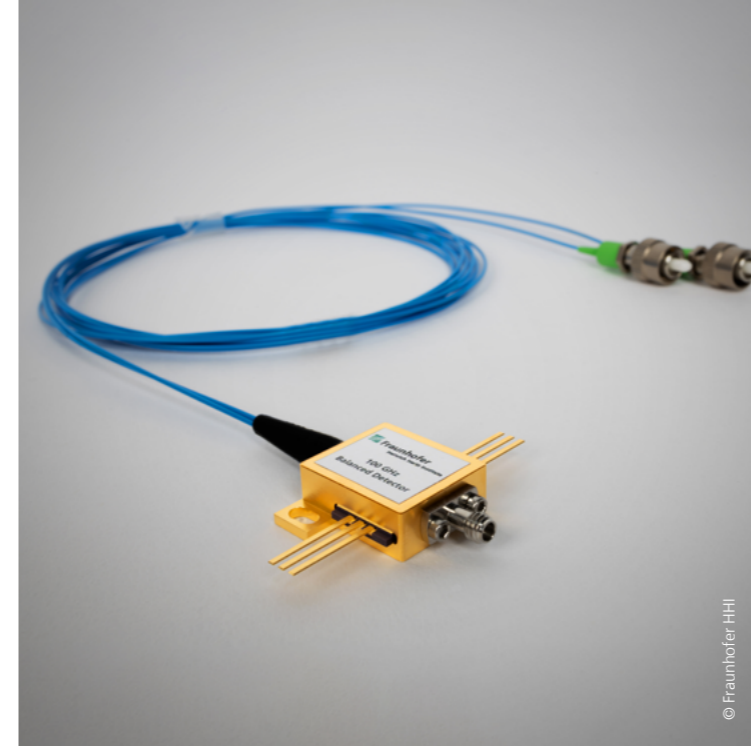
© istockphoto/nicolás...

Kontakt

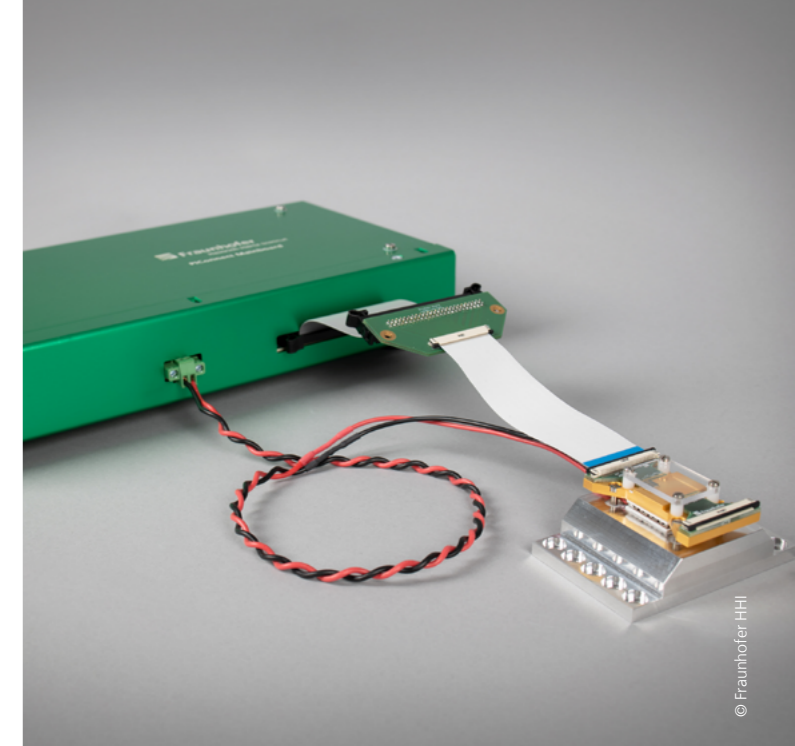
Prof. Dr. rer. nat. Martin Schell
martin.schell@hhi.fraunhofer.de



© Fraunhofer HHI



© Fraunhofer HHI



© Fraunhofer HHI

Photonische Komponenten

100 GBaud InP- Sender und Empfänger

Das Datenvolumen im Internet verdoppelt sich etwa alle drei Jahre. Dafür werden immer schnellere optische Sender und Empfänger mit Wellenlängen zwischen 1260 nm und 1625 nm benötigt. Das Fraunhofer HHI entwickelt dafür InP-basierte einmodige Laser mit integriertem Absorptionsmodulator für niedrige Reichweiten und Mach-Zehnder-Modulatoren für hohe Reichweiten sowie zugehörige Photodetektoren. Auf einem InP-Wafer befinden sich 1000 Modulatoren oder 30.000 Laser. Dadurch ist die InP-Technologie sehr effizient.

Neben den hohen Datenraten ist dabei das vorrangige Ziel, den Energieverbrauch pro übertragenem Bit weiter zu reduzieren. Aktuell werden Symbolraten von 100 GBaud mit ungekühlten InP-Komponenten erreicht, und 200 GBaud ist in der Entwicklung. Bei so hohen Geschwindigkeiten ist das Co-Design von InP-Sende- und Empfangschips mit der Treiber- bzw. Vorverstärkerelektronik essentiell.

Terahertz-Sensorik und -Kommunikation

Im Terahertz-Frequenzbereich zwischen 100 GHz und 10 THz sind viele wirtschaftlich relevante Materialien transparent. Im Gegensatz zur Ultraschalltechnik erlaubt die Terahertz-basierte zerstörungsfreie Prüftechnik eine berührungsfreie Analyse. Dies ist z.B. in der Automobilindustrie für die Bestimmung der Dicke der Einzellagen eines mehrschichtigen Lacksystems und für das Monitoring der Trocknung dieses Lacks relevant. Außerdem ist die Analyse gewichtsreduzierter, schaumartiger Substanzen mit hohem Luftanteil möglich. Am Fraunhofer HHI werden Terahertz-Sender und -Empfänger sowie -Spektrometer entwickelt und mit unseren industriellen Partnern vermarktet. Wir gehen davon aus, dass weltweit mindestens jedes zweite Terahertz-Spektrometer auf Fraunhofer HHI-Technologie beruht. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die drahtlose Kommunikation bei Trägerfrequenzen oberhalb von 100 GHz sowie Prüf- und Messtechnik für diese Systeme. So hohe Trägerfrequenzen erzielen wesentlich höhere Datenraten. Die gute Kompatibilität mit bestehender, faserbasierter Telekommunikationstechnik ist dabei ein großer Vorteil der am Fraunhofer HHI entwickelten optoelektronischen Lösungen.

Quantensender und -empfänger

Datensicherheit spielt eine immer wichtigere Rolle in unserer Gesellschaft. Quantenkommunikation, die Hardware-gesicherte Quantenschlüsselverteilung, kann einen sicheren Datenaustausch gewährleisten. Dabei verwenden wir die bestehende Glasfaserinfrastruktur und ersetzen nur die optischen Sender und Empfänger durch entsprechende Quantenkomponenten.

In der etablierten InP-Technologie entwickelt das Fraunhofer HHI für diesen Bedarf Quantensender und -empfänger als Weiterentwicklung von Komponenten für die klassische Kommunikation. Zum Beispiel werden besonders rauscharme kohärente Empfänger und InGaAs-Einzelphtonenlawinendetektoren (SPAD) im Telekom-Wellenlängenbereich entwickelt. Derzeit ist das Fraunhofer HHI die einzige Quelle für SPAD-Chips in Europa.

In einem zweiten Schritt werden solche und andere Komponenten mit der Polymerplattform hybrid integriert. Neben abstimmbaren, schmalbandigen Lasern in allen Wellenlängenbereichen erlaubt diese z.B. die Wellenleiterintegration von nichtlinearen Kristallen wie LiNbO₃ und KTP für die Erzeugung verschränkter Photonenpaare, eine essentielle Basistechnologie auch im Quantensensing und im Quantencomputing.

Photonisch Integrierte Schaltkreise

Das Fraunhofer HHI bietet die Möglichkeit, InP-basierte, photonisch integrierte Schaltkreise (PICs) kostengünstig und zeitnah herstellen zu lassen. Damit folgt die Photonik dem seit den 1960er Jahren etablierten Erfolgsmodell der CMOS-Welt. Vierteljährlich werden Multi-Projekt-Wafer (MPW) mit kundenspezifischen PICs gestartet. Mittels PICConnect, einer nutzerfreundlichen Verbindung zu den jeweiligen PICs, wird die direkte Vermessung der auf dem Wafer befindlichen photonischen Komponenten erleichtert.

Die Sensorik oder die Quantentechnologien erfordern oft Wellenlängen unter 1200 nm und sind so nicht für InP zugänglich. Hier bietet das Fraunhofer HHI seine hybride photonische Integrationsplattform PolyBoard an. PolyBoard ist von NIR bis VIS transparent und gestattet mittels seiner mikro-optischen Bank die Integration von Isolatoren und Zirkulatoren sowie die Einbindung nichtlinear-optischer Kristalle. Durch die Kombination mit weiteren Materialplattformen wie SiN und LNOI kann das Fraunhofer HHI nahezu alle Anwendungsfelder abdecken: von Medizintechnik über Analytik bis hin zu neuartigen THz-basierten Transceiver-Demonstratoren für drahtlose Netzwerke jenseits von 6G.

Selbstkalibrierende Laserquelle (mit integrierter Wellenlängenmessung); mitte: 100 GHz Balanced Fotodetektor-Modul; rechts: PICConnect-Board (mit assembliertem PIC)

Faseroptische Sensorsysteme

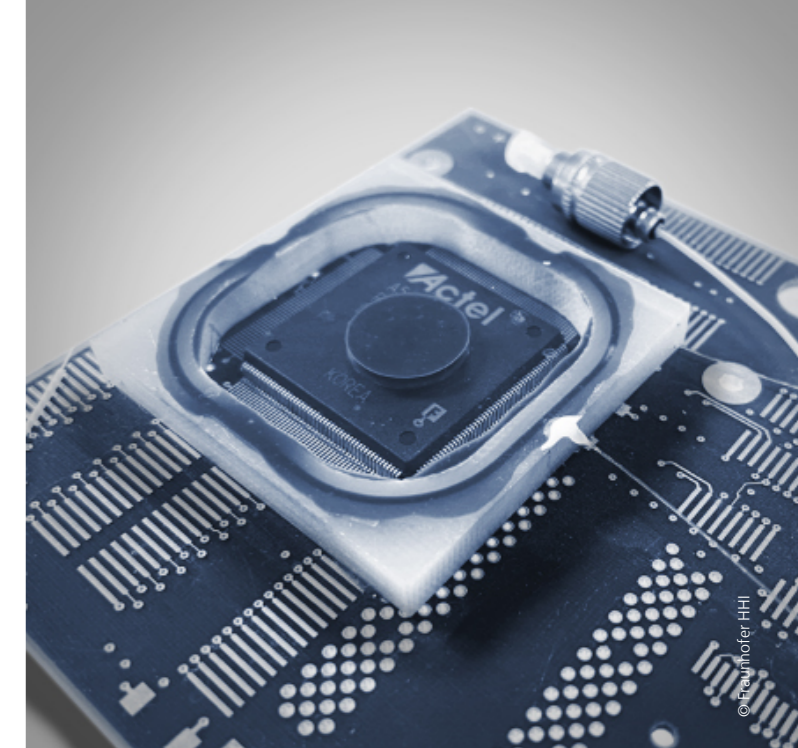
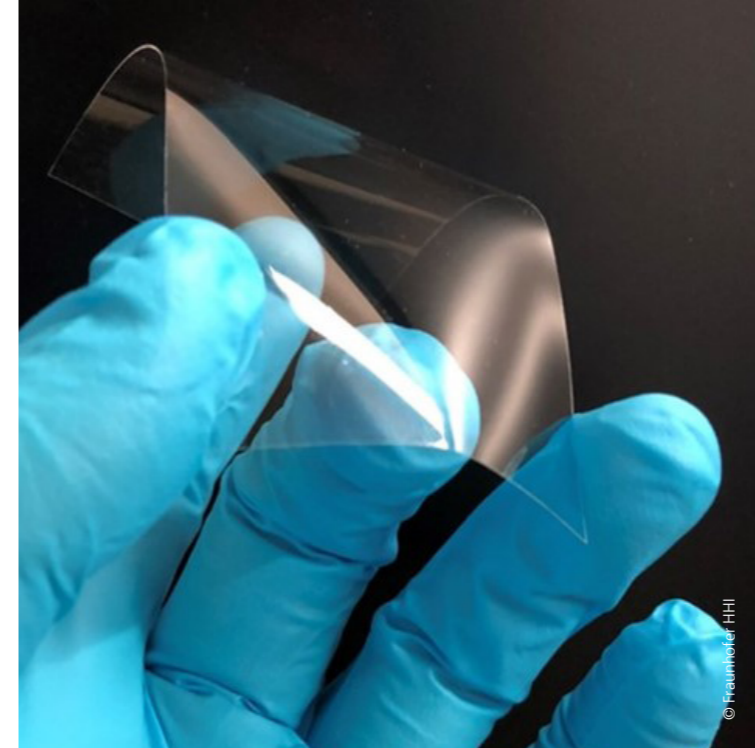
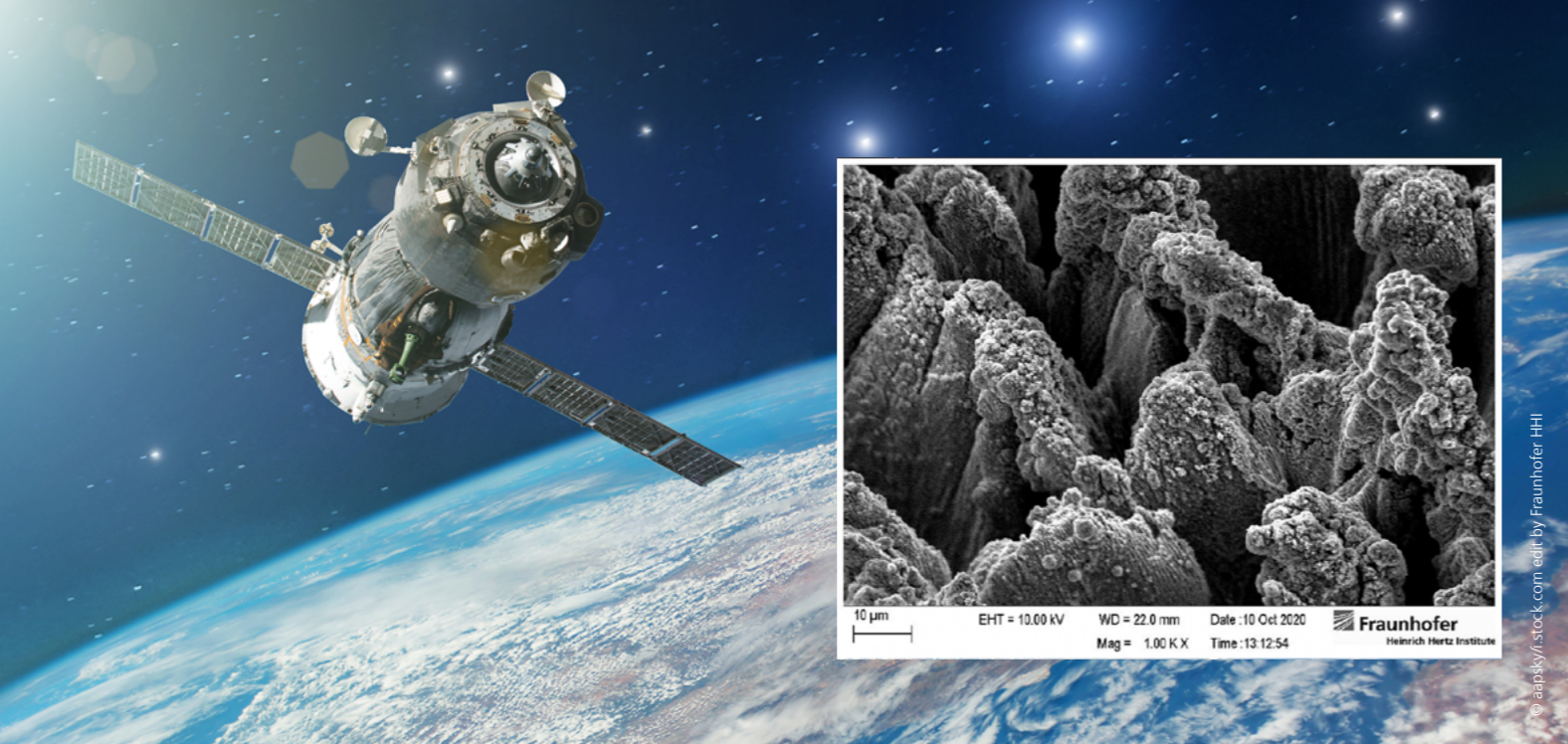
Auf einen Blick

Die Umstellung unserer Gesellschaft auf elektrischen Strom als Primärenergieträger führt zu einem kontinuierlich steigenden Strombedarf. Um diesen zukünftig bereitzustellen – sei es für Elektromobilität, grünen Wasserstoff oder Gebäudeheizung und -kühlung, bedarf es einer stetigen Verbesserung der Effizienz eingesetzter Technologien. Neben der Entwicklung neuer Materialien und Materialeigenschaften spielt Sensorik dabei eine wichtige Rolle. Dieser Thematik widmet sich die Abteilung Faseroptische Sensorsysteme: Mit Femtosekunden-Lasertechnik werden integriert-optische Komponenten und Systeme auf Glas- und Polymerbasis entwickelt, neuartige Oberflächenfunktionalisierungen für Sensoren bereitgestellt und hocheffiziente Elektrodenmaterialien für Wasserstofferzeugung und -speicherung prozessiert.

© fotolia.com/xiaoliangge

Kontakt

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



Faseroptische Sensorsysteme

Sensorik und funktionalisierte Materialien für die Energiewende

Die Wechselwirkung von Femtosekunden Laserpulsen mit verschiedenen Materialien eröffnet ein weites Spektrum zur gezielten Einstellung von Materialeigenschaften sowohl auf der Oberfläche als auch im Inneren des Materials. Im Direktschreibverfahren werden mit Multiphotonenprozessen in Glasfasern, Ultradünngläsern oder Polymeren optische Wellenleiter und photonische Komponenten bis hin zu integriert-optischen Mikrospektrometern hergestellt. In Kombination mit faser- und planaroptischer 3D-Formerfassung ergeben sich so völlig neue Ansätze für eine Multikomponenten-Sensorik. Zusätzlich lassen sich bei der Bearbeitung von Metallen die Benetzbarkeit, die Größe der aktiven Oberfläche, aber auch die thermische Wärmeabgabe und katalytischen Eigenschaften gezielt einstellen.

3D-Formerfassung und optische Siegel

Der am Fraunhofer HHI entwickelte faseroptische 3D-Form-sensor wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Basel dahingehend weiterentwickelt, dass über künstliche Intelligenz (KI) die dreidimensionale Form einer 30 cm langen Faser mit

einer Genauigkeit von etwa 2 mm im Vergleich zur Referenz rekonstruiert werden kann. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten bei der Steuerung technischer und medizinischer Endoskope. Das Projekt „fleX-RAY“ (Horizon 2020) beschäftigt sich mit der Entwicklung neuer flexibler Röntgenbildgebungsdetektoren. Hierfür entwickelt das Fraunhofer HHI einen 3D-Form-sensor auf Basis funktionalisierter, ultradünner Glasfolien zur Bestimmung der Detektorgeometrie für die anschließende Bildberechnung.

Im BMVD-Vorhaben „OTP“ wurde gemeinsam mit *OHB Systems AG* eine sensorische Sicherheitshülle entwickelt, die eine permanente Überwachung mobiler PRS-Sicherheitsmodule des europäischen Satellitennavigationssystems GALILEO ermöglicht. Dazu werden die zu schützenden Elektronikkomponenten mit einer optischen Sensorhülle aus Ultradünnglas umgeben. In diese Glashülle ist eine fälschungssichere, unitäre optische Signatur integriert, die eine kryptografisch sichere Initialisierung ermöglicht.

Faseroptische Wasserstoffsensoren

Im ZIM-Projekt „H₂Security“ werden faseroptische Sensoren mit integrierten Bragg-Gittern zur selektiven Detektion von Wasserstoff entwickelt. Das physikalische Messprinzip beruht auf der Evaneszenzfeld-Spektroskopie. Zur Erhöhung von Empfindlichkeit und Selektivität wird die Faser an den Messpositionen mit Pd-Nanopartikeln beschichtet. Es wird eine Messgenauigkeit von 0.05% für Wasserstoffkonzentrationen zwischen 0.1% und 4% erreicht.

Materialprozessierung mittels Ultrakurzpuls Lasertechnik

Mit Ultrakurzpuls-Lasertechnik werden Oberflächen unterschiedlichster Materialien funktionalisiert und so deren Eigenschaften maßgeschneidert eingestellt. Dabei können die Lichtabsorption, die Benetzbarkeit, die thermische Emissivität oder auch die Größe der aktiven Oberfläche verändert werden. So optimierte Materialoberflächen eignen sich als hocheffiziente Elektroden für die Wasserelektrolyse mit minimierter Überspannung, als Kühlkörper für die Wärmeabfuhr im Weltall oder als Katalysatorträger für chemische Reaktionen. Diese Arbeiten sind im Fraunhofer Cluster of Excellence - Advanced

Links: Femtosekundenlaser Materialprozessierung für die Temperaturregulierung in der Raumfahrt; mitte: 3D-Formerfassung mit ultradünner Glasfolie; rechts: Optisches Siegel

Photon Sources und in der Euro-Material-Ageing-Kampagne der europäischen Weltraumorganisation ESA integriert.

Batterie- und Sensorik-Testzentrum

Das Batterie- und Sensorik-Testzentrum des Fraunhofer HHI wurde 2021 weiter ausgebaut, so dass aktuell thermische und elektrische Abuse-Versuche mit Batteriesystemen von bis zu 150 kWh Energieinhalt unter definierten Bedingungen durchgeführt werden können. Zusätzlich werden neue und innovative Konzepte für eine erweiterte Batteriesicherheit erarbeitet, überprüft und in Zusammenarbeit mit dem VDE werden Zertifizierungen vorbereitet. Zusätzlich werden auch Transportbehälter und neue Löschmittel sowie Löschsysteme getestet. Neben zwei Brandprüföfen stehen hierfür ein Klimacontainer und mehrere Batterieprüfstände mit bis zu 1.2 MW Leistung zur Verfügung. Damit werden Batterietests im Grenzbereich bis zum vollständigen Abbrand inklusive Gasanalytik ermöglicht.

Videokommunikation und Applikationen

Auf einen Blick

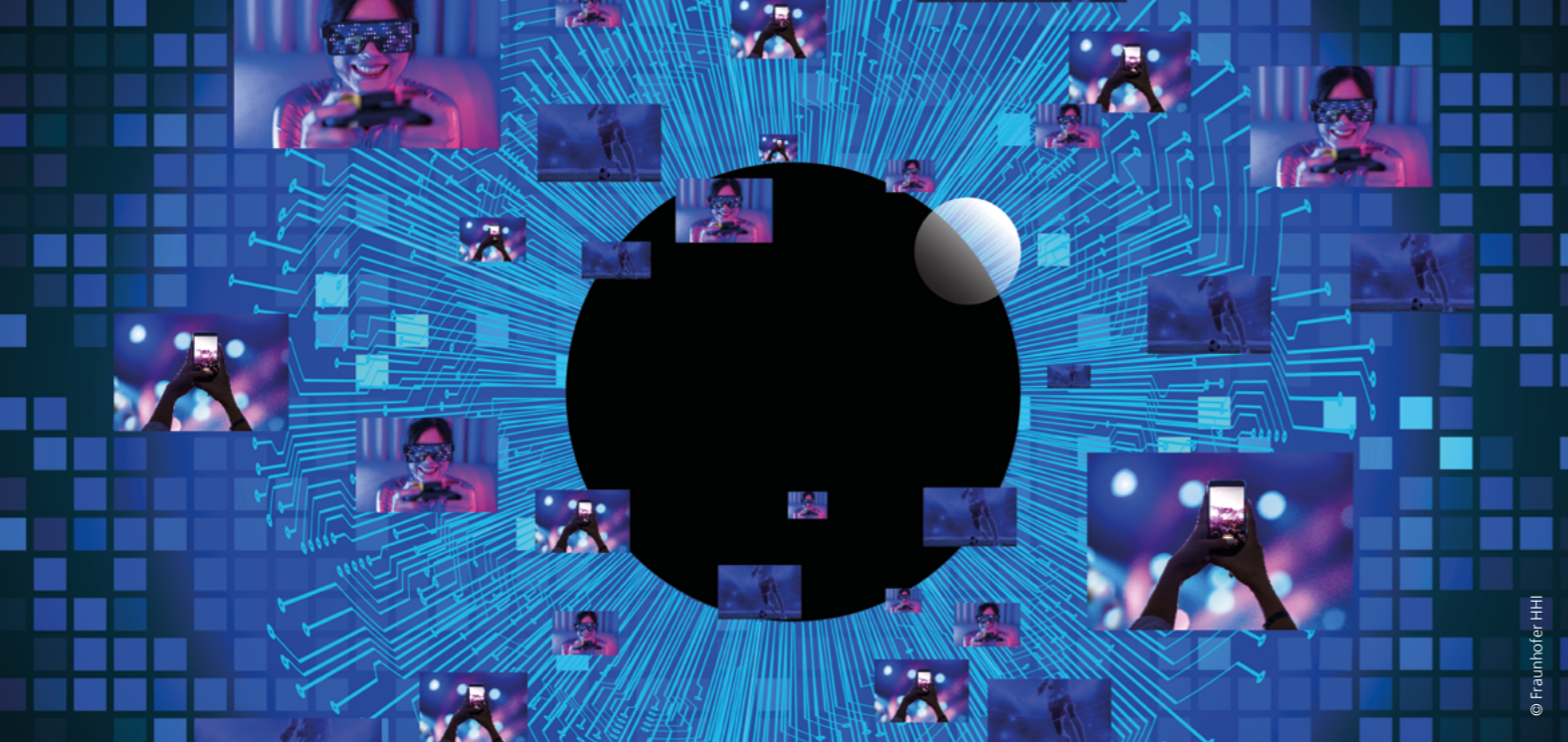
Die Abteilung Videokommunikation und Applikationen (VCA) befasst sich mit allen relevanten Aspekten der Forschungsbereiche Bild- und Videocodierung, Transport von Multimediadaten, eingebettete Systeme zur Multimedia-Verarbeitung, Kommunikationsprotokolle für Mobilfunknetze sowie der effizienten Repräsentierung und Codierung neuronaler Netze.

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



© Fraunhofer HHI



© Shutterstock.com/you, Design edit by Fraunhofer HHI



© Fraunhofer HHI

Videokommunikation und Applikationen

Videodaten machen heute den bei weitem größten Anteil an Bits im globalen Internetverkehr und im mobilen Datenverkehr aus. Um diese Herausforderung zu meistern, entwickelt die Abteilung Videokommunikation und Applikationen (VCA) kontinuierlich neue Videokompressionstechnologien. Gemeinsam mit Branchenführern bringt VCA diese Kompressionstechnologien in internationale Standards ein. Solche Standards ermöglichen die interoperable Übertragung und Speicherung von Multimedia-Inhalten und werden weltweit in Milliarden von Geräten eingesetzt. Mit dem Aufkommen von neuronalen Netzen in fast jeder Anwendung erweitert sich der Fokus der Kompression auf die Verwendung von neuronalen Netzen bei der Videokompression sowie auf die Kompression der neuronalen Netze selbst.

Die Abteilung VCA befasst sich mit allen relevanten Aspekten der Forschungsbereiche Bild- und Videocodierung, Transport von Multimediadaten, eingebettete Systeme zur Multimedia-Verarbeitung, Kommunikationsprotokolle für Mobilfunknetze sowie der effizienten Repräsentierung und Codierung neuronaler Netze.

Beiträge zur Standardisierung von Videocodern

Die Abteilung hat maßgeblich zum Entwicklungsprozess von drei Generationen von Videokodierstandards beigetragen – inklusive deren Erweiterungen sowie der zugehörigen Transport- und Speicherformate: H.264 / Advanced Video Coding (AVC), H.265 / High Efficiency Video Coding (HEVC) und H.266 / Versatile Video Coding (VVC). Milliarden von Endgeräten weltweit nutzen die Videokompressionsstandards AVC und HEVC. Jedes zweite Bit im Internet wird durch eine von VCA entwickelte Kompressionstechnologie erzeugt und verarbeitet.

Der zuletzt von VCA wesentlich mitentwickelte H.266/VVC-Standard bietet bei gleicher wahrgenommener Bildqualität eine 50-prozentige Reduzierung der Bitrate gegenüber dem aktuellen Stand der Technik, dem HEVC-Standard. VVC ist mit seiner ersten Version im Juli 2020 fertiggestellt worden und enthält neben der Weiterentwicklung bereits bekannter Technologien auch fundamental neue Kompressionsmethoden, die beispielsweise mithilfe Maschinellen Lernens entwickelt wurden. Zudem verfügt VVC bereits in seiner ersten Version über spezielle Kodierwerkzeuge und System-Funktionalitäten

für einen breiten Bereich an Anwendungen, wie z.B. adaptives Streaming mit wechselnder Auflösung, 360-Grad immersives Video, Streaming mit extrem geringer Latenz sowie Spieleanwendungen und das Teilen von Bildschirmhalten.

Beiträge zur Implementierung von Videocodern

Die in der Abteilung VCA entwickelte Open-Source-Software „Fraunhofer Versatile Video Encoder“ (VVenC) wurde während der IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME) 2021 bei den „Best Open Source Project Awards“ mit dem ersten Platz ausgezeichnet. VVenC ist eine schnelle und effiziente Encoder-Implementierung des H.266/VVC-Standards.

VVenC ermöglicht es, die signifikante Reduktion der Datenrate, welche der neue VVC-Standard bietet, in zahlreichen Multimedia-Anwendungen der heutigen vernetzten Gesellschaft, wie etwa Streaming oder Virtual- und Augmented-Reality, zu nutzen. Hierbei kann die Software entsprechend der jeweiligen unterschiedlichen Anforderungen an Qualität und Encoder-Laufzeit flexibel konfiguriert werden.

Beiträge zur Standardisierung von Multimediasystemen

Nach zwei Jahren Standardisierungsarbeit hat die Moving Picture Experts Group (MPEG) ihre Arbeit zur Scene Description mit einer Erweiterung des „Graphics Language Transmission Format“ (gITF) abgeschlossen. Der gITF-Standard ist ein von dem Konsortium Khronos Group für die Beschreibung dreidimensionaler Modelle und Szenen entwickelter Industriestandard. Die neue Erweiterung ermöglicht es, erstmals volumetrisches Video und Audio in eine immersive Szene zu integrieren. Das Fraunhofer HHI war maßgeblich an der Forschung und Entwicklung des neuen Standards beteiligt.

Teil der MPEG-Erweiterung von gITF ist die vom Fraunhofer HHI entwickelte Mesh-Linking-Technologie. Sie ermöglicht es, den hohen Realismus von volumetrischen Videos mit der Animierbarkeit von Computergrafikmodellen zu kombinieren. Fotorealistische virtuelle Personen können nun in Mixed-Reality-Szenen integriert werden, um mit den Nutzenden zu interagieren. So kann zum Beispiel ein fotorealistischer Avatar jetzt aktiv den Blickkontakt mit Nutzer*innen halten. Dies war bisher nur mit Computergrafikmodellen möglich, nicht aber mit den viel realistischer aussehenden, aber komplexeren volumetrischen Videoinhalten.

Vision & Imaging Technologies

Auf einen Blick

Die Abteilung forscht an Spitzentechnologien für die gesamte Verarbeitungskette visueller Daten, von der Erfassung und Analyse visueller Inhalte über die Modellierung in digitale Repräsentationen bis hin zur realistischen Visualisierung und Mensch-Maschine-Interaktion. Der besondere Fokus liegt auf anspruchsvollen KI-Technologien in den Bereichen Computer Vision, Visual Computing, 3D-Modellierung und Simulation sowie kognitive Systeme und immersive Medien. Mit unseren Technologien bieten wir Lösungen für ein breites Spektrum von Anwendungen in Industrie, Medizintechnik, Landwirtschaft, Bauwesen, Sicherheit sowie für Virtual, Augmented und Extended Reality.

Kontakt

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

Dr.-Ing. Anna Hilsmann
anna.hilsmann@hhi.fraunhofer.de



Vision & Imaging Technologies

Ein Verständnis und Interpretation der visuellen Welt durch Computer, die digitale Repräsentationen der realen Welt in originalgetreue digitale Modelle sowie die Interaktion mit digitalen Inhalten in immersiven Umgebungen hat in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen. Die von Forschenden des Fraunhofer HHI entwickelten Technologien detektieren, verfolgen und analysieren Objekte und Personen, ihre Bewegung sowie Texturen und rekonstruieren originalgetreue digitale Abbilder. Moderne Verfahren der Modellierung und Animation digitaler Modelle erlauben die Synthese von visuellen Inhalten, z.B. für mediale Anwendungen, zur Simulation industrieller Prozesse oder zum Training hochkomplexer KI-Lösungen. Weiter entwickeln die Forschenden Technologien, die Mensch und Maschine durch neue Interaktionsmodalitäten, intelligente Umgebungen und Visualisierungstechniken effektiv zusammenarbeiten lassen.

Technologien für Industrie, Bau, Landwirtschaft und computergestützte Medizin

Moderne Computer-Vision und KI-Lösungen können Arbeitsabläufe in der Industrie, im Bauwesen und in der Landwirtschaft

unterstützen, effizienter und sicherer machen. Unter anderem sind virtuelle Repräsentationen realer Objekte (digital twins) Grundlage moderner Automatisierungs- und Engineering-Prozesse. Die Technologien reichen von Lösungen für die visuelle Inspektion mittels hochmoderner KI-Lösungen, über bildbasierte Methoden zur hochgenauen und robusten Vermessung, Prozessüberwachung, Analyse und 3D-Erfassung von komplexen Bauteilen sowie Gebäuden und Räumen bis hin zu Augmented-Reality-Assistenz und Mensch-Maschine-Interaktion zur Unterstützung von Workflows in Produktion, Bauwesen und Landwirtschaft. Auch in der Medizin unterstützen moderne Computer Vision und AR-basierte Technologien Arbeitsabläufe, z.B. durch intraoperative Assistenzsysteme. Unter anderem erlaubt eine echtzeitfähige 3D-Vermessung mittels Endoskopen oder OP-Mikroskopen eine individuelle Anpassung von Implantaten. Arbeiten zu hyperspektral-basierter Gewebeanalyse sowie videobasierter Durchblutungs- und Vitalparameterüberwachung ermöglichen eine intraoperative Echtzeit-Bereitstellung von Zusatzinformation. Berührungslose Mensch-Maschine-Interaktion und nutzeradaptive Daten- und Bildvisualisierung stellen eine intuitive Handhabung bei gleichzeitiger Beachtung der klinischen Hygienesituation dar. Durch die entwickelten Methoden können Eingriffe sicherer gemacht, Arbeitsabläufe vereinfacht und das medizinische Arbeitsumfeld nachhaltig verbessert werden.

Technologien für mehr Immersivität in XR

Neue Medien- und Kommunikationsformate, wie Extended, Virtual und Augmented Reality (XR, VR, AR), erfordern innovative Lösungen. Hier besteht die Herausforderung, die virtuellen Inhalte und Umgebungen so realistisch wie möglich zu gestalten, um eine möglichst hohe Immersivität zu erreichen. Insbesondere die realistische Modellierung virtueller Menschen, mit denen Nutzende interagieren können, ist essentiell für zahlreiche immersive Anwendungen. Das Fraunhofer HHI hat basierend auf der Technologie des Volumetrischen Videos neuartige hybride Repräsentationen virtueller Menschen mit Hilfe moderner KI-Methoden entwickelt. So können individuelle Bewegungsmuster und Gesichtsmimik einer Person zum Beispiel abhängig von Sprache erlernt und neue Animationen realitätsgetreu synthetisiert werden. Moderne neuronale Visualisierungsmethoden sorgen für ein realistisches Erscheinungsbild. Zur Erforschung der Wahrnehmung virtueller Menschen arbeiten die Forschenden eng mit Neurowissenschaftler*innen zusammen. Darüber hinaus entwickelt die Abteilung neue Medienformate zur immersiven audio-visuellen Darstellung für unterschiedliche Anwendungen. Dabei stehen immersive Video- und Audiottechnologien, Aufnahme- und Wiedergabeverfahren sowie latenzarme Übertragungsverfahren im

*Links: intraoperative Assistenzsysteme;
mitte: AR-Unterstützung in Produktion und Montage; rechts: Erkennung von Angriffen auf Authentifizierungssysteme*

Mittelpunkt der Entwicklungen. Ziel ist die Vermittlung einer größtmöglichen Immersion, ob bei der virtuellen Teilnahme an Live Events, virtuellen Trainings (z.B. für medizinisches Personal) als auch der Simulation von Infrastrukturmaßnahmen im Städtebau.

Sichere Authentifizierung durch KI

Die Abteilung VIT entwickelt robuste Algorithmen zur Erkennung von Angriffen auf bild- und videobasierte Authentifizierungsverfahren mit gefälschten Identitäten. Insbesondere adressieren wir robuste KI-Verfahren zur Detektion von sogenannten Morphing Attacks (manipulierte Referenzbilder), Presentation Attacks (Vortäuschen falscher Identitäten durch Präsentation von Bildern, Masken oder Modellen) sowie Deep Fakes (synthetisierte Bilder oder Videos durch KI-Methoden). In dieser Hinsicht wurde insbesondere die Robustheit und Interpretierbarkeit der KI-Methoden für sicherheitsrelevante Anwendungen adressiert.

Drahtlose Kommunikation und Netze

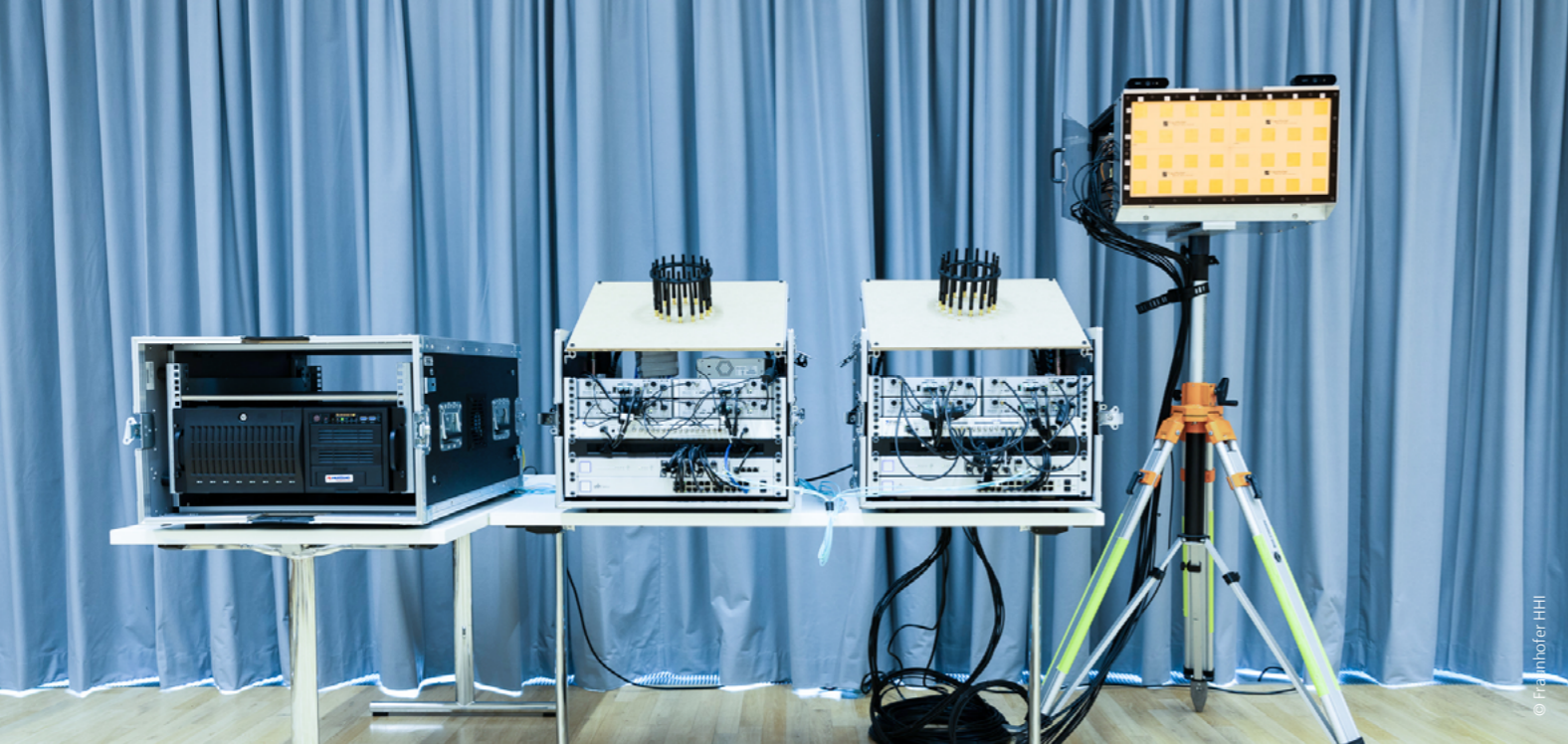
Auf einen Blick

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

Kontakt

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

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



Drahtlose Kommunikation und Netze

Forschung und Standardisierung für 5G und 6G

Der Ausbau der öffentlichen Mobilfunknetze der fünften Generation (5G) ist weltweit in vollem Gange. Parallel zum Ausbau schreitet die Forschung und Standardisierung für 5G voran. Es werden zusätzliche Funktionalitäten und Protokolle entwickelt und von 3GPP standardisiert, damit weitere Anwendungen der vertikalen Industrien unterstützt werden können. Dabei rückt der Fokus zunehmend auf lokale und kundenspezifisch angepasste 5G-Mobilfunknetze - sogenannte Campusnetze. Der Aufbau und Betrieb von Campusnetzen einschließlich unterschiedlicher Betreibermodelle sind weitgehend unerforscht. Dabei müssen spezielle, branchenspezifische Anforderungen der vertikalen Anwendungen sowie deren Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Das birgt große Herausforderungen. Es gilt, maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln, die den spezifischen Anforderungen und Rahmenbedingungen von Campusnetzen gerecht werden. Daraus ergeben sich einzigartige Möglichkeiten für deutsche Startups, den Mittelstand sowie für Innovationen im 5G-Umfeld. Die Abteilung Drahtlose Kommunikation und Netze entwickelt 5G-Lösungen für offene Campusnetze auf Basis von Open RAN und trägt somit zur Schaffung neuer Wertschöpfungsketten in Campusnetzen bei.

Neben den Arbeiten an offenen 5G-Campusnetzen hat inzwischen auch die Forschung an der sechsten Generation von Mobilfunknetzen (6G) begonnen. Die Herausforderungen für die Forschung ergeben sich vor allem aus den radikal erhöhten Datenraten der anvisierten 6G-Anwendungen (z.B. Mixed Realities). Hinzu kommen neue Herausforderungen, die sich aus der Integration von Sensordiensten ergeben (Netz als Sensor). Künstliche Intelligenz (KI) wird eine der wichtigsten Innovationsquellen für 6G werden. Dabei soll die Konvergenz von Informations- und Kommunikationstechnologie herbeigeführt werden. Schließlich wird 6G nicht-terrestrische Kommunikation und Netze (Satelliten- und Drohnen-Kommunikation usw.) integrieren, um weltweit eine extrem hohe Netzabdeckung zu erreichen (z. B. in ländlichen und dünn besiedelten Gebieten).

Kontinuierliche Vitaldatenübertragung und -Verarbeitung über 5G-Campusnetze

Patient*innen mit Endstadium einer chronischen Herzinsuffizienz benötigen häufig eine dauerhafte mechanische Kreislaufunterstützung (LVAD) und/oder eine Herztransplantation. Dabei stellen das kardiologische Grundleiden, mögliche Komplikationen des Implantats sowie die Begleiterkrankungen

große Herausforderungen in der postoperativen Langzeitbetreuung dar. Das Projekt 5GMedCamp hat zum Ziel, die telemedizinische Nachsorge für LVAD-Patient*innen mithilfe von 5G-Technologien und dem Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) zu verbessern und somit die technologische Basis für eine engmaschige Echtzeit-Überwachung zu legen. Die erarbeiteten Ergebnisse zu 5G-Campusnetzen im medizinischen Sektor sollen die Grundlage bilden, um die multidimensionalen technologischen Möglichkeiten in Konnektivität, Digitalisierung und KI für die telemedizinische Mitbetreuung von Patienten*innen nutzbar zu machen.

Zuverlässige Drohnenkommunikation außerhalb der Sichtweite

Zukünftig werden zunehmend Drohnen zum Einsatz kommen, die außerhalb der Sichtweite eines Controllers operieren. Herkömmliche Fernsteuerungssysteme sind aufgrund ihrer begrenzten Reichweite für solche Einsätze nicht geeignet. Einfache mobilfunkbasierte Systeme können bei hoher Mobilfunkauslastung oder fehlender Netzabdeckung keine zuverlässige Kommunikation garantieren. Um den hohen Sicherheitsanforderungen der Luftfahrt gerecht zu werden, muss

es insbesondere möglich sein, jederzeit in die Flugplanung einzugreifen. Das bedeutet, dass die Übertragung von sicherheitskritischen Informationen ohne Unterbrechung gewährleistet sein muss. Zu diesem Zweck werden mehrere Technologien kombiniert, um ein Gesamtsystem mit hoher Ausfallsicherheit zu bilden. Moderne 5G- und voraussichtlich 6G-Technologien mit Mehrantennensystemen (MIMO) dienen als Grundlage.

Forschung und Entwicklung

- Mobilfunknetze der fünften & sechsten Generation (5G/6G)
- Campus-Netzwerke
- Sub-THz-Kommunikation für den mobilen Zugang
- Deep Integrated Machine Learning
- Fahrzeug-zu-Infrastruktur- (V2X-) Kommunikation
- Drohnen-Kommunikation
- Netz als Sensor
- Intelligente, reflektierende Oberflächen
- PHY-Layer-Sicherheit
- Semantisch gestützte Kommunikation
- Software Defined Radio (SDR)
- Autonome konvergente Netze

Künstliche Intelligenz

AI

Auf einen Blick

Die Abteilung Künstliche Intelligenz erforscht die theoretischen und algorithmischen Grundlagen des maschinellen Lernens und schlägt dabei eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und praktischen Anwendungen. Die Aktivitäten der Abteilung sind im Forschungsbereich der Erklärbaren KI (Englisch: explainable artificial intelligence oder kurz "XAI") weltweit führend. Für ihre Beiträge zum verteilten maschinellen Lernen und zur Kompression von neuronalen Netzwerken sowie der Standardisierung von KI bekommt das Team international Anerkennung.

Die Abteilung KI wurde unter den Top 20 Artificial Intelligence Research Labs in the World in 2021¹ genannt und erhielt Auszeichnungen wie die "Pattern Recognition Medal", mehreren ESI „Highly Cited“ Publikationen und den "Hugo Geiger Preis."

¹ Quelle: Analytics Insight, 2021, <https://www.analyticsinsight.net/top-20-artificial-intelligence-research-labs-in-the-world-in-2021/>

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Wojciech Samek
wojciech.samek@hhi.fraunhofer.de



Künstliche Intelligenz

XAI als Brücke zwischen Mensch und KI

Mit ihren Arbeiten zur erklärbaren KI hat die Abteilung eine neuartige Kommunikationsschnittstelle zwischen der KI und den Benutzer*innen erschaffen. Das gemeinsam mit der TU Berlin entworfene Verfahren „Layer-wise Relevance Propagation“ (LRP) befähigt Benutzer*innen, KI-Entscheidungen detailliert nachzuvollziehen. LRP ist eine der weltweit meistgenutzten Methoden im Bereich XAI. Das Potenzial dieser Methode geht weit über das reine „Erklären“ einer Entscheidung hinaus.

In seinen Arbeiten hat das Team gezeigt, wie LRP für das systematische Debuggen und Verbessern des KI-Modells benutzt werden kann. Auch bieten Erklärungen vielfältige Möglichkeiten zur Integration von a priori Wissen und zur gezielten Steuerung des Modells während des Trainings. Die Erforschung des Potenzials von XAI über das reine Erklären hinaus und die systematische Verbesserung und gezielte Anpassung von Erklärungen auf praktische Fragestellungen stellt einen Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten dar. Diverse XAI-Technologien des Fraunhofer HHI stehen der Forschungsgemeinschaft als Open-Source-Software zur Verfügung, um das Feld der erklärbaren KI nachhaltig und führend voran zu treiben.

Den gesamten KI-Lebenszyklus im Blick

Um in sicherheitskritischen Anwendungen wie dem autonomen Fahren oder klinischen Diagnosesystemen einsetzbar zu sein, sind Eigenschaften wie Sicherheit, Robustheit, Erklärbarkeit und Zuverlässigkeit von KI-Systemen von entscheidender Bedeutung. Damit dies sichergestellt werden kann, muss der gesamte KI-Lebenszyklus, von der Datenakquise, dem Datenlabeling, über das Design und dem Training des KI-Modells bis hin zur systematischen Validierung und Überwachung des Modells, einbezogen werden. Die Abteilung trägt mit ihren Arbeiten zu allen Phasen des KI-Lebenszyklus bei und hat einen ganzheitlichen Blick auf den Entwicklungsprozess. Mit der Beteiligung an verschiedenen internationalen und nationalen Standardisierungsinitiativen im Bereich KI, z.B. ITU/WHO Focus Group „AI for Health“ oder DIN-Normungsroadmap, arbeitet das Team an der Etablierung neuartiger Prüf- und Zertifizierungsstandards für eine sichere, robuste, erklärbar und zuverlässige KI.

KI-Forschung mit praktischem Nutzen

Die Abteilung entwickelt Methoden und Modelle der KI, die praktischen Nutzen haben. Dabei sind Herausforderungen wie

geringe und verteilte Trainingsdaten, eine große Multimodalität oder beschränkte Rechenressourcen keine Hindernisse beim Training der Modelle. Unsere Techniken zur Erklärung von KI-Entscheidungen, zur Generierung synthetischer Trainingsdaten oder zur Prüfung und Debugging von fertig trainierten Modellen werden in verschiedenen Kooperationsprojekten an zentraler Stelle eingesetzt. Sei es im medizinischen Bereich, z.B. bei der Analyse epidemiologischer Daten zur Einschätzung der Risikofaktoren, Ganzkörperaufnahmen zur Identifikation von auffälligen Hautveränderungen oder 3D-CT-Aufnahmen des Herzens zur Identifikation von Kalkablagerungen, bei der Auswertung komplexer Sensor- und Wetterdaten zur Vorhersage der Luftqualität, bis hin zur Analyse von Mobilitätsdaten bei der Entwicklung von Frühwarnsystemen bei dem Auftreten von Naturkatastrophen.

Federated Learning: Verteilt, privat, effizient

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung von verbesserten Methoden des föderierten Lernens (Englisch: „Federated Learning“), die es uns erlauben, KI-Modelle auf verteilten Daten, unter Schutz der Privatsphäre und in einer effizienten Art und Weise, zu trainieren. Die Entwicklung

von verbesserten Kompressionsmethoden für neuronale Netzwerke und das Federated Learning sowie die Untersuchung der Interaktion zwischen Lernen, Kompression und Kommunikation ist dabei von besonderem Interesse. Die von den Abteilungen KI und VCA entwickelten Kompressionsmethoden führen zu enormen Einsparungen bei der Größe von neuronalen Netzwerken und in der Kommunikation im Federated Learning. Sie bilden die Basis für den ersten internationalen Neural Network Coding Standard (ISO/IEC 15938-17). Neue Ansätze zum indirekten Austausch von Wissen („Federated Distillation“), zur Personalisierung der Modelle und zu nachweisbaren Privatheitsgarantien werden von der Abteilung erforscht.

Teil der Berliner KI-Landschaft

Das Team der Abteilung ist sehr eng in die Berliner KI-Landschaft integriert. Sei es als Teil von BIFOLD (Berlin Institute for the Foundations of Learning and Data), in der DFG-Forschungsgruppe DeSBI² oder über einen Lehrstuhl an der Technischen Universität Berlin. Über die Beteiligung an den Konrad Zuse Schools of Excellence in AI (ELIZA) und verschiedene Graduiertenschulen bringt sich die Abteilung aktiv in die Ausbildung zukünftiger KI-Talente ein.

² Integration von Deep Learning und Statistik zum Verständnis strukturierter biomedizinischer Daten

”

Politik. Wirtschaft. Forschung.

Bei uns
vernetzen sich
Menschen aus
aller Welt.“

Dr.-Ing. Ralf Schäfer
Bereichsleiter Video, Fraunhofer HHI

Showrooms

In seinen Showrooms macht das Fraunhofer HHI die am Institut entwickelten Technologien erlebbar. Damit leisten sie einen wichtigen Beitrag zum Transfer der Technologien in die Wirtschaft. Zusätzlich dienen die Showrooms als Kommunikationsplattformen für den Dialog mit Entscheidungsträger*innen aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft.

CINIQ Center – Forum Digitale Technologien

Das CINIQ Center ist ein Ort für den Technologie- und Informationstransfer im Dreieck von Innovation, Wissenschaft und Wirtschaft in Berlin.

Seit 2019 nutzt das Forum Digitale Technologien die Räumlichkeiten des CINIQ, um ausgewählte Forschungsprojekte und Innovationen im Bereich digitaler Technologien vorzustellen. Mit Veranstaltungen und Führungen werden Besuchende über die wichtigen Diskurse rund um die Digitalisierung informiert. Auf diese Weise wird der Austausch zwischen Expert*innengruppen gefördert.

Das Forum Digitale Technologien wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) finanziell unterstützt.

TiME Lab – Tomorrow's Immersive Media Experience Laboratory

Der Showroom TiME Lab wurde als Forschungs-, Kooperations- und Präsentationsplattform für immersive Medien geschaffen. Er ist mit einer hochauflösenden 180°-Videoprojektion und einem wellenfeldbasierten 3D-Soundsystem ausgestattet. Das TiME Lab steht für zahlreiche Systeme und Anwendungsfelder, die im Laufe der Jahre systematisch erforscht und implementiert wurden. Inzwischen hat sich das TiME Lab als Plattform für die realitätsnahe audiovisuelle Präsentation von Stadtplanungskonzepten, Infrastrukturbau- und Lärmschutzmaßnahmen etabliert.

3IT – Innovation Center for Immersive Imaging Technologies

Der Showroom umfasst ein virtuelles Netzwerk sowie einen Ausstellungs- und Veranstaltungsort mitten in Berlin. Im 3IT werden neue Technologien für den industriellen, medizinischen und kulturellen Bereich entwickelt, getestet und unterschiedlichen Zielgruppen präsentiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Technologien 3D, VR/AR/XR, Volumetrisches Video, UHD und HDR.

Kooperationen & Fraunhofer-Verbünde

Zusammen gestalten wir die digitale Gesellschaft der Zukunft

Die Forschenden des Fraunhofer HHI arbeiten im Rahmen unterschiedlicher Kooperationen mit Expert*innen aus aller Welt daran, Technologien weiterzuentwickeln und in die Anwendung zu bringen. Auch lokal arbeitet das Fraunhofer HHI mit zahlreichen Partnern zusammen. Hierbei geht es darum, Innovationen sichtbar zu machen und den Wissenschaftsstandort Berlin-Brandenburg zu stärken.

5G BERLIN e. V.

Der Verein **5G BERLIN** vernetzt die traditionelle Telekommunikationsindustrie mit neuen 5G-Stakeholdern und der Berliner Start-up-Szene. Der Verein betreibt ein eigenes 5G-Testfeld im Herzen von Berlin und bietet seinen Mitgliedern auf diesem Areal die Möglichkeit, neue 5G-Technologien unter realen Bedingungen zu testen. Dabei legt das Innovationscluster den Fokus auf die Förderung von 5G-Anwendungen, die Augmented und Virtual Reality (AR/VR) nutzen. Weiterhin werden Themen wie intelligente Mobilität, intelligente Versorgungsnetze, Sicherheitsanwendungen und Industrie 4.0 vorangetrieben.

Optec-Berlin-Brandenburg e.V. (OpTecBB)

OpTecBB ist eine Vereinigung von 115 Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen, die in optischen Technologien oder Mikrosystemtechnik aktiv sind. Dabei stehen die Bereiche Photonik und Quantentechnologien für Kommunikation und Sensorik, optische Analytik, Lichttechnik, Biophotonik und Augenoptik, Lasertechnik und Mikrosystemtechnik im Vordergrund. Prof. Schell ist Vorsitzender des Vorstands von OptecBB.

European Photonics Industry Consortium (EPIC)

EPIC ist der führende Industrieverband der europäischen Photonikbranche. Bei EPIC vernetzen sich über 800 Industrieunternehmen, Forschungseinrichtungen, Mittelständler und Start-ups. Die Interessenvertretung setzt sich für eine nachhaltige Entwicklung von Technologien und die Förderung eines lebendigen Photonik-Ökosystems ein. Prof. Schell war von 2015 – 2021 Mitglied des Vorstands von EPIC.

Photonics21

Die Technologieplattform **Photonics21** repräsentiert die Europäische Industrie und Forschungsorganisationen der Photonik. Gemeinsam mit der Europäischen Kommission wird eine gemeinsame Forschungsstrategie in einer Horizon Europe Public Private Partnership (PPP) entwickelt, um Wachstum und Arbeitsplätze in Europa zu stimulieren. Das HHI ist seit 2014 durch Prof. Schell im Board of Stakeholders vertreten.

Berlin Institute for the Foundations of Learning and Data (BIFOLD)

BIFOLD treibt die Grundlagenforschung in den Bereichen Big Data Management und Maschinelles Lernen sowie deren Überschneidungen voran. Gemeinsam mit seinen Partnern arbeitet das Institut daran, Berlin zu einem Top-Standort der KI-Forschung auszubauen. Um dies zu erreichen, bringt BIFOLD KI-Forschende verschiedener Institutionen für einen regelmäßigen Austausch zusammen und legt mehrere Nachwuchsförderprogramme auf.

Video Coding Experts Group & Moving Picture Experts Group (MPEG)

Das Fraunhofer HHI hat maßgeblich zur Entwicklung von drei Generationen von Videokodierstandards, deren Haupterweiterungen sowie den zugehörigen Transport- und Speicherformaten beigetragen: **H.264/Advanced Video Coding (AVC)**, **H.265/High Efficiency Video Coding (HEVC)** und **H.266/Versatile Video Coding (VVC)**. Auch beim Standard zur Kompression von Neuronalen Netzen für Multimedia-Anwendungen, dem **NNR-Standard**, und der neuesten Erweiterung des **Graphics Language Transmission Format (gITF)** spielen Fraunhofer HHI-Technologien eine wichtige Rolle.

Mitglied in Fraunhofer-Verbänden:

- Mikroelektronik
- IUK-Technologie (Gast)
- Light & Surfaces (Gast)

Mitglied in Fraunhofer-Allianzen:

- Ambient Assisted Living AAL
- Kulturerbe
- Batterien
- Big Data und Künstliche Intelligenz
- Digital Media
- AVIATION & SPACE
- Vision
- Leistungszentrum Digitale Vernetzung

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Zentraler Partner für Wirtschaft, Wissenschaft,
Politik und Gesellschaft

2000
Forscher*innen
in der FMD

Das Fraunhofer HHI bildet seit 2017 zusammen mit zehn weiteren Instituten des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik sowie den beiden Instituten FBH und IHP der Leibniz-Gemeinschaft die standortübergreifende Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland, kurz FMD.

Erstmals bündeln hier 13 Institute der Forschungseinrichtungen Fraunhofer und Leibniz ihre Expertise unter einem virtuellen Dach. Hierdurch bringen sie eine neue Qualität in die Erforschung und Entwicklung von Mikro- und Nanosystemen. Mit mehr als 2.000 Wissenschaftler*innen ist die FMD der weltweit größte FuE-Zusammenschluss dieser Art. Die FMD trägt mit ihrer einzigartigen Kompetenz- und Infrastrukturvielfalt an den Instituten dazu bei, dass Deutschland und Europa ihren Spitzenplatz in Forschung und Entwicklung weiter etablieren können.

Übergang in den Regelbetrieb

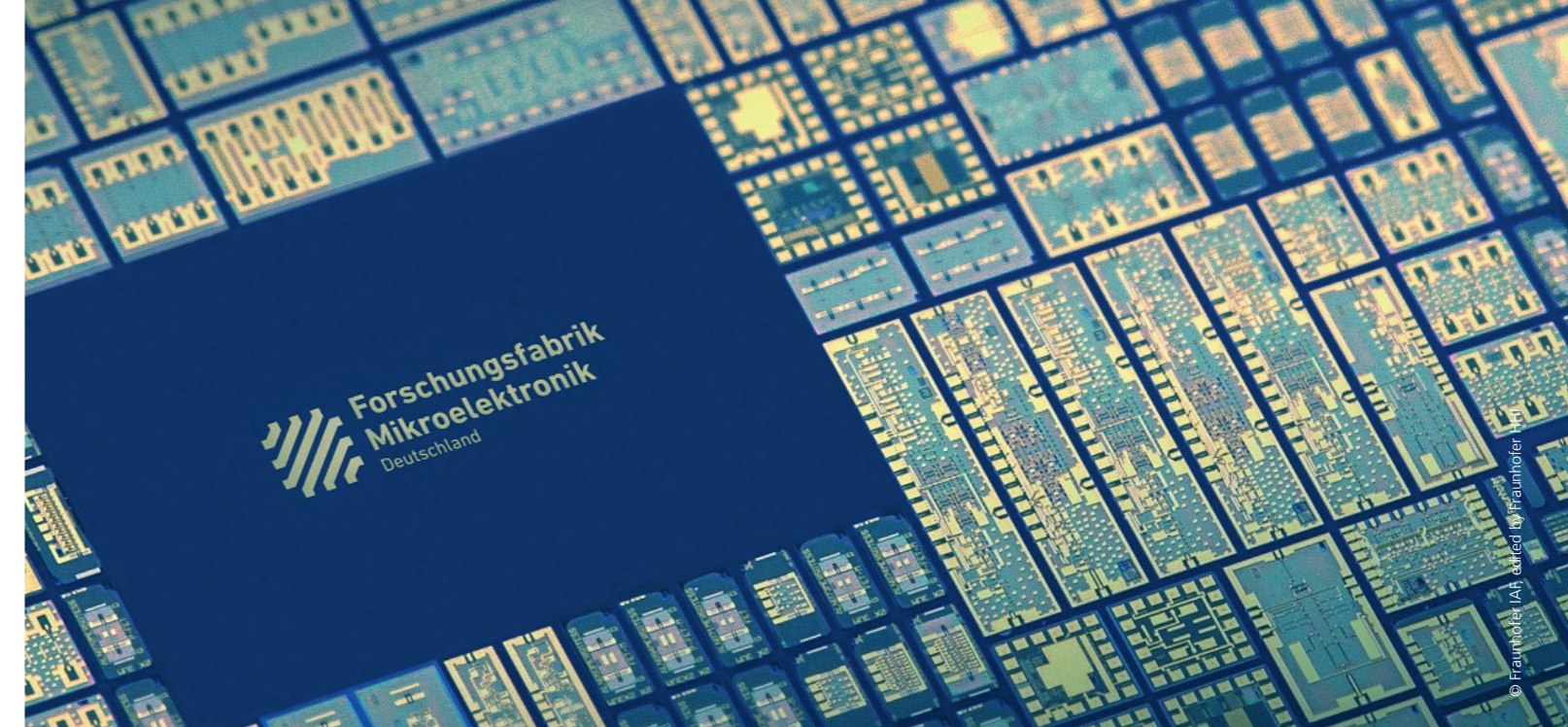
Bis Ende 2020 befand sich die FMD in ihrer Aufbauphase. Die umfangreichen Investitionen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) in die Modernisierung der Institute konnten Ende 2020 / Anfang 2021 bis auf wenige, durch die Covid19-Pandemie bedingte Verzögerungen abgeschlossen werden.

Anfang 2021 startete die FMD mit der Zusammenlegung der Geschäftsstellen des Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik und der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland in den verstetigten Betrieb. Die Leitung der neuen gemeinsamen Geschäftsstelle übernahm Dr. Stephan Guttowski. Diesen Übergang markierte die Digitalkonferenz „Impulsgeber FMD: Angebot & Potenzial – Köpfe & Know-how“ am 22. April 2021. Das Modell einer interdisziplinären und interorganisationalen Zusammenarbeit der deutschen Forschungslandschaft trägt bereits erste Früchte und soll zukünftig in Europa als Vorbild dienen.

Mit Vernetzung und Kooperation zur technologischen Souveränität

Inzwischen gilt die FMD als Vorbild, wenn es darum geht, die Kompetenzen unterschiedlicher FuE-Institutionen mit einer gemeinsamen Strategie und einem gebündelten Angebot an die Industrie modern aufzustellen. Mit der standort-, technologie- und kompetenzübergreifenden Zusammenarbeit sorgt die FMD für den Erhalt und Ausbau der technologischen Souveränität entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Das Team der Geschäftsstelle in Berlin repräsentiert die FMD-Institute und agiert als zentraler Kontakt für alle Fragestellungen rund um



die mikro- und nanoelektronische Forschung und Entwicklung in Deutschland und Europa.

Vielseitige Kooperationsmöglichkeiten

Neben dem Leistungsangebot für ihre Kunden aus der Wirtschaft, bietet die FMD ihren Partnern in Wissenschaft und Bildung unterschiedliche Kooperationsmöglichkeiten. Diese zielen auf eine kooperative Bearbeitung von Forschungsfragestellungen ab, wie die gemeinsame Arbeit in Verbundprojekten und der Betrieb gemeinsamer Labore (joint labs). Eine besondere Möglichkeit der Kooperation besteht in der Erprobung von Konzepten und Lösungen aus der Grundlagenforschung auf den Anlagen der FMD-Institute, um so ein besseres Verständnis hinsichtlich ihrer Eignung in stärker anwendungsorientierten Umfeldern zu erlangen.

Vertrauenswürdige und nachhaltige Mikroelektroniksysteme für Innovationskraft

Eine zukunftsorientierte Gesellschaft ist in allen relevanten technischen Anwendungsdomänen – ob in kritischen Infrastrukturen, in der Industrie 4.0, im Automobilbereich oder bei medizinischen Geräten – auf elektronische Komponenten angewiesen. Auf diese müssen sich die Menschen verlassen können, um darauf vertrauenswürdige Produkte, Systeme und Infrastruktur aufbauen zu können.

Die technologieübergreifenden Kompetenzen, die man für die Bewältigung dieser Herausforderungen benötigt, entwickeln die Institute der FMD in Großprojekten wie „TRAICT“ oder „Velektronik“ mit. Im Projekt TRAICT (TrustedResourceAware ICT) beispielsweise arbeiteten bis Ende 2021 acht FMD-Institute mit weiteren zehn Fraunhofer-Instituten gemeinsam an Rahmenbedingungen, damit Informations- und Kommunikationstechnik vertrauenswürdig und datenschutzkonform ist und zugleich selbstbestimmt und sicher genutzt werden kann.

Um die komplette Wertschöpfungskette zu beleuchten und durchgehende Konzepte für vertrauenswürdige Elektronik in Deutschland und Europa zu erstellen, startete im März 2021 eine Plattform für die vertrauenswürdige Elektronik – kurz „Velektronik“. Beteiligt sind insgesamt 12 Partner – 11 Institute der FMD sowie das edacentrum. Innerhalb des Projekts sollen Standards, Normen und Prozesse auf der Grundlage einer nationalen und europäischen Chipsicherheitsarchitektur entwickelt und in die Anwendung gebracht werden.

Geschäftsstelle

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland
c/o Fraunhofer-Verbund
Mikroelektronik

Anna-Louisa-Karsch-Str. 2
10178 Berlin

ITU-Fokusgruppen am Fraunhofer HHI

Durch seine Koordinationsarbeit leistet das Fraunhofer HHI einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung und Standardisierung von Künstlicher Intelligenz (KI) in den Bereichen Medizin, Katastrophenschutz und Landwirtschaft.

Das Fraunhofer HHI koordiniert drei Fokusgruppen der International Telecommunications Union (ITU). In den Fokusgruppen bringt die ITU internationale Expert*innen zusammen, um Strategien für den Einsatz neuer Kommunikationstechnologien in unterschiedlichen Industrie- und Lebensbereichen zu entwickeln.

ITU/WHO Focus Group on Artificial Intelligence for Health (FG-AI4H)

540
Expert*innen
arbeiten in
der FG-AI4H
zusammen

Die FG-AI4H arbeitet daran, die Grundlagen für die globale Anwendung von Künstlicher Intelligenz im Gesundheitswesen zu schaffen. Dafür entwickelt das Team einen standardisierten Bewertungsrahmen für die Evaluierung von KI-basierten Methoden für Gesundheits-, Diagnose-, Triage- oder Behandlungsentscheidungen. Während der COVID-Pandemie hat die Fokusgruppe eine Ad-hoc-Gruppe gegründet, die sich mit der Nutzung digitaler Technologien zur Unterstützung der Pandemiebekämpfung beschäftigt. Die Fokusgruppe wird von Prof. Thomas Wiegand koordiniert und wurde zusammen mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Jahr 2018 gegründet.

ITU/WMO/UNEP Focus Group on AI for Natural Disaster Management (FG-AI4NDM)

Die FG-AI4NDM bringt Expert*innen zusammen, um zu erforschen, wie KI-basierte Technologien zum besseren Umgang mit Naturkatastrophen beitragen können. Die Wissenschaftler*innen beschäftigen sich dabei mit der Sammlung, Echtzeitüberwachung und

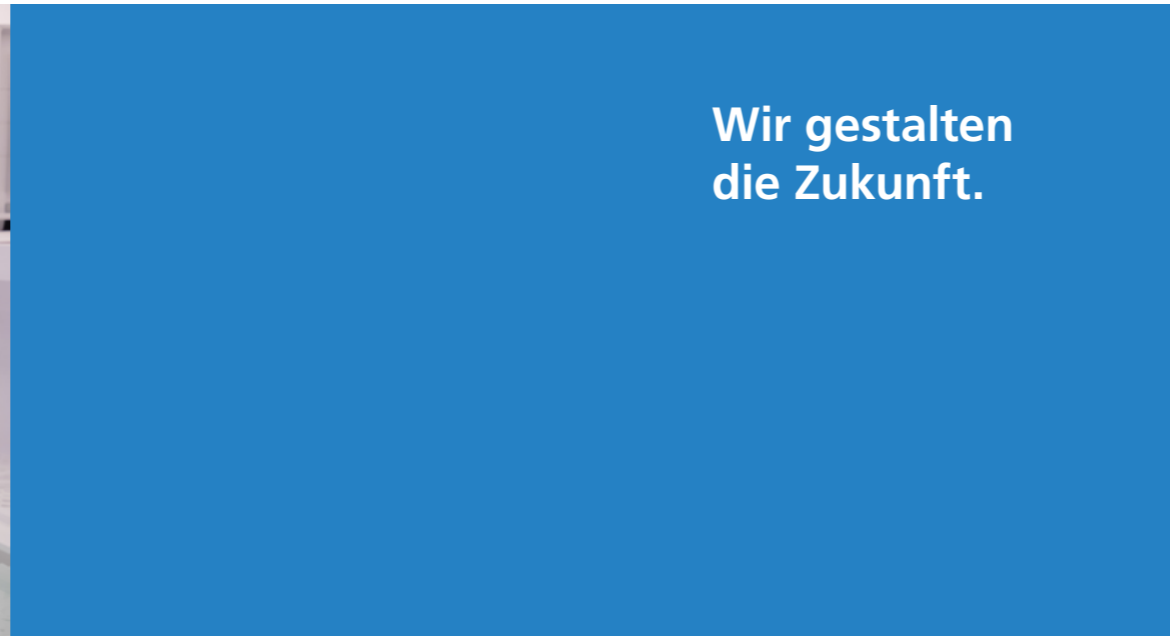
Handhabung von Daten, der Rekonstruktion, Erkennung und Vorhersage von Modellierungen sowie der Kommunikation mithilfe von Frühwarnsystemen.

Die Fokusgruppe wird von Dr. Monique Kuglitsch koordiniert und ist eine Kooperation der ITU mit der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) sowie dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP). Die Gruppe wurde 2021 gegründet.

ITU/FAO Focus Group on Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) for Digital Agriculture (FG-AI4A)

Die FG-AI4A untersucht den Einsatz von Künstlicher Intelligenz und dem Internet der Dinge in der Landwirtschaft und zeigt dabei Standardisierungslücken und Skalierungsmöglichkeiten auf. Dazu schafft die Gruppe eine Plattform, die allen Stakeholder*innen im landwirtschaftlichen Bereich einen offenen Zugang zu digitalen Innovationen ermöglicht. Die Fokusgruppe wird von Dr. Sebastian Bosse und Dr. Ramy Ahmed Fathy (National Telecommunications Regulatory Authority of Egypt) koordiniert. Sie wurde von der ITU und dem Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) im Jahr 2021 aufgebaut.

Karrierechancen: Arbeiten am Fraunhofer HHI



Wir bieten moderne Labore und Arbeitsplätze im Zentrum Berlins

Als Forschungsinstitut mit internationalem Renommee bietet das Fraunhofer HHI attraktive Karrierechancen.

Wissenschaftler*innen aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften, der Informatik sowie den Wirtschaftswissenschaften haben die Möglichkeit, bei spannenden nationalen und internationalen Projekten mitzuarbeiten. Sie finden exzellente Arbeitsbedingungen und eine moderne Laborausstattung vor.

Studierende, Hochschulabsolvent*innen und Young Professionals können frühzeitig einen Einblick in verschiedene Arbeitsbereiche am Fraunhofer HHI gewinnen und dann direkt einsteigen. Sie können sich zudem dafür bewerben, ihre Bachelor-, Master- oder Doktorarbeit am Institut zu schreiben.

Die Arbeit am Fraunhofer HHI ist von einem hohen Maß an Eigenverantwortung geprägt. Die Arbeitszeit kann flexibel gestaltet werden und die Möglichkeit zum Homeoffice wird angeboten. Mit einem Mit-Kind-Büro wird die Vereinbarkeit von Familie und Beruf weiterhin unterstützt. Zur Erhaltung der Gesundheit werden Yoga-Kurse, Massagen und vieles mehr angeboten.

Qualitätsmanagement

Das Fraunhofer HHI hat für Forschung, Entwicklung und Produktion im Bereich Photonik und Elektronik in allen Unternehmensfunktionen ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001:2015 aufgebaut und umgesetzt. Re-Zertifizierungen finden regelmäßig statt. Anfang 2022 wurde das Institut re-zertifiziert. Alle Normanforderungen waren erfüllt.

Wir gestalten die Zukunft.

Weiterbildung

Mitarbeitende haben die Chance, sich fortlaufend beruflich weiterzubilden. Das Institut bietet Weiterbildungen zu einer Vielzahl an Themen an. Je nach Karrierestufe und Arbeitsschwerpunkt können sich die Mitarbeitenden die für sie passenden Weiterbildungsmaßnahmen auswählen.

Ausbildung

Das Fraunhofer HHI bildet in folgenden Berufen aus:

- Kauffrau/Kaufmann für Büromanagement
- Fachinformatiker*in
- Mikrotechnolog*in

Nachwuchsförderung

Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist dem Fraunhofer HHI wichtig. Das Institut beteiligt sich am jährlich bundesweit stattfindenden Girls' Day. Dafür lädt es Schülerinnen zu sich ins Institut ein und liefert diesen einen Einblick in den Arbeitsbereich Forschung. Das Experimentieren im Labor sowie verschiedene Workshops sollen den Schülerinnen MINT-Berufe näherbringen.

Seit 2015 arbeitet das Fraunhofer HHI mit dem Albrecht-Dürer-Gymnasium in Berlin-Neukölln zusammen. Schüler*innen haben seitdem die Chance, durch Besuche oder Praktika die Berufsmöglichkeiten in der anwendungsorientierten Forschung kennenzulernen und den Schulstoff mit praxisnahen Erfahrungen zu ergänzen. So erhalten die Schüler*innen einen Einblick in die beruflichen Perspektiven im technisch- naturwissenschaftlichen Bereich.

Personal & Recruiting

Marny Rust
marny.rust@hhi.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für
Nachrichtentechnik,
Heinrich-Hertz-Institut, HHI
Einsteinufer 37, 10587 Berlin

Trotz der Pandemie-Zeit haben unsere Expert*innen ihre neuesten Forschungsergebnisse auf Messen und Events - häufig virtuell - weltweit vorgestellt.

8
Länder
+
25
Städte

Fraunhofer
HHI

Wo Sie uns treffen können

Messen

- SENSOR+TEST
- SPIE Photonics West
- GSMA Mobile World Congress
- Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC)
- Optics & Photonics International Exhibition (OPIE)
- National Association of Broadcasters Show (NAB Show)
- LASER World of PHOTONICS
- Hannover Messe
- International Broadcasting Convention (IBC)
- European Conference on Optical Communication (ECOC)
- European Conference on Networks and Communication (EuCNC)
- PIC International Conference
- Consumer Electronics Show (CES)
- FUTURAS IN RES

Events

- World Health Summit
- Girls' Day
- ITG-Fachkonferenz
- Photonics Days Berlin Brandenburg
- Auditing AI-Systems
- media:net berlinbrandenburg Talent Festival
- Berlin 5G Week
- Lange Nacht der Wissenschaften
- FMD Innovation Days
- Technology Innovation Day
- ITU-Fokusgruppen Treffen

Kontakt

Hauptgebäude

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

Standort Salzufer

Fraunhofer Institut für Nachrichtentechnik,
Heinrich-Hertz-Institut, HHI
Salzufer 15/16
10587 Berlin
3. bis 6. Stock

Außenstelle: Abteilung Faseroptische Sensorsysteme

Fraunhofer Institut für Nachrichtentechnik,
Heinrich-Hertz-Institut, HHI
Faseroptische Sensorsysteme
Am Stollen 19H
38640 Goslar