



# Fraunhofer

FHR

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZPHYSIK UND RADARTECHNIK FHR



JAHRESBERICHT

2016

*Fraunhofer FHR forscht an modernsten Radartechnologien zur Detektion, zum Tracking und zur Klassifikation von Drohnen.*

**JAHRESBERICHT**  
**2016**

INTERVIEW

# DIE DOPPELTE INSTITUTSLEITUNG

Als das Fraunhofer FHR einen neuen Institutsleiter suchte, fand es gleich zwei.



Das Jahr 2016 war am Fraunhofer FHR geprägt von vielen Veränderungen: Prof. Dr. Joachim Ender, über 13 Jahre lang Institutsleiter, ging nach über 40 Jahren am Institut in den Ruhestand. Als die Nachbesetzung der Institutsleitung anstand, berief der Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft eine Doppelspitze – ein neues Modell der Institutsleitung, mit dem man bei anderen Instituten bereits überaus positive Erfahrungen gemacht hat. Seit dem 1. August 2016 hat das Fraunhofer FHR zwei neue Institutsleiter: Dr. Peter Knott, früherer Leiter der Abteilung Antennentechnologie und elektromagnetische Modellierung, ist nun geschäftsführender Institutsleiter. Prof. Dr. Dirk Heberling, Leiter des Instituts für Hochfrequenzphysik der RWTH Aachen, wurde ebenfalls als Institutsleiter berufen.

Im Interview stellen sie sich und ihre Pläne für das Fraunhofer FHR vor:

**Dr. Knott, Professor Heberling – was hat Sie bewogen, sich auf die Position des Institutsleiters zu bewerben?**

*Peter Knott:* Ich kenne das FHR und seine Leistungen seit über 20 Jahren. Als es nun die Chance für mich gab, gestalterisch und mit entsprechender Verantwortung an der weiteren Entwicklung des Instituts mitzuwirken, wollte ich mich gerne dieser Aufgabe stellen.

*Dirk Heberling:* Das ist in der Tat eine Frage, die mir häufig gestellt wird. Ich war ja seit 2008 bereits Leiter des Instituts für Hochfrequenzphysik (IHF) an der RWTH Aachen, hatte also schon einiges erreicht. Und dennoch hat es mich einfach ungemein gereizt. Die Leitung eines Fraunhofer-Instituts ist etwas ganz anderes als die Leitung eines Uni-Instituts. Es ist einfach eine spannende Herausforderung! Ich möchte fairer Weise aber auch sagen, dass sich dem IHF so auch neue Möglichkeiten bieten, die es ohne das FHR nicht hätte.

**Sie beide sind seit gut einem halben Jahr nun Institutsleiter des Fraunhofer FHR. Was ist ihr Eindruck: Was sind die Stärken des Instituts?**

*Dirk Heberling:* Als jemand, der von außen an das Institut kommt, kann ich sagen, dass ich das Fraunhofer FHR als sehr offen und aufgeschlossen erlebt habe. Die Kolleginnen und Kollegen haben sich auf eine positive Art mit mir auseinandergesetzt und mich direkt in einen Dialog eingebunden. Das ist auf jeden Fall eine persönliche Stärke des Fraunhofer FHR. Fachlich hat mich überrascht, über welche Tiefe, aber

auch welchen Umfang das Institut über Wissen verfügt. Das technische Know-how hier ist beeindruckend!

*Peter Knott:* Dem kann ich mich nur anschließen. Ich denke, die unglaubliche Vielfalt an Projekten bei gleichzeitig umfassendem Fachwissen, mit der das FHR an dem Themenfeld „Radar“ arbeitet, ist einmalig.

**Was sind Ihrer Ansicht nach die größten Veränderungen aus politischer und gesellschaftlicher Sicht, die auf das Institut zukommen?**

*Peter Knott:* Eine wissenschaftliche Herausforderung ist sicherlich, mit einer nun mal endlich großen Mannschaft von Mitarbeitenden weiterhin dieses umfassende Fachwissen hier vor Ort zu haben – auf gleichbleibend hohem Niveau. Im politischen Bereich steigen die Bedürfnisse im Bereich Sicherheit. Wir stehen vor großen Herausforderungen, denkt man an die globale Sicherheitslage. Viele Staaten werden von Terroranschlägen erschüttert, gleichzeitig steigt die Mobilität und Vernetzung der Gesellschaft. Aber auf dem Forschungsfeld "Sicherheit" sind wir sehr aktiv, um entsprechende Lösungen unter Einsatz von Radar zu entwickeln.

Aber es gibt auch „innere Herausforderungen“, die wir nur durch Veränderung bewältigen können. Das Fraunhofer FHR ist personell alleine in 2016 um 10% gewachsen. Hier müssen wir eine sinnvolle Organisationsstruktur schaffen, die der Größe und dem Wachstum angemessen ist und den Anforderungen der modernen Arbeitswelt weiterhin gerecht wird. Wir müssen flexibel und aufmerksam auf die Bedürfnisse unserer Kunden reagieren – aber auch auf die unserer Mitarbeitenden, z. B. eine ausgewogene Work-Life-Balance sowie Familienfreundlichkeit.

*Dirk Heberling:* Ich denke, das Fraunhofer FHR braucht vor allem zwei Dinge: Wir brauchen eine enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit, um entsprechend widerstandsfähig zu sein und Ressourcen nicht nur effektiv, sondern effizient zu nutzen. Außerdem ist es wichtig, die Gleichberechtigung zwischen den jeweiligen Fähigkeiten und Expertisen weiter auszubauen. Projekte können in zunehmendem Maße nur transdisziplinär erfolgreich bewältigt werden – als Weiterentwicklung der Interdisziplinarität. Dafür braucht man den jeweils anderen als Partner auf Augenhöhe.

**Wie sieht Ihre Strategie für das Fraunhofer FHR aus, um es auch für künftige Herausforderungen gut aufzustellen?**

*Dirk Heberling:* Das ist etwas, wo ich mich besonders in der Pflicht sehe, das Institut bei der Öffnung für noch mehr zivile Themenfelder zu begleiten. Das können wir unter anderem durch eine stärkere Anbindung an das IHF und mehr übergreifende Zusammenarbeit realisieren.

*Peter Knott:* Wir wollen ein verlässlicher Partner der Bundeswehr und des BMVg bleiben und unser Know-How für die Sicherheit der Soldatinnen und Soldaten der Bundeswehr einsetzen. Der Ausbau und die Verstärkung unserer VfA-Aktivitäten sind sicherlich wichtige Aspekte. Eine schlanke Struktur, die schnelle Prozesse erlaubt, ist ein weiterer Baustein. Dem werden wir uns Schritt für Schritt widmen.

#### **Welche Relevanz haben die Schaffung der neuen Abteilungen und die für 2017 anstehende Restrukturierung der Geschäftsfelder hierfür?**

*Dirk Heberling:* Keine. Diese beiden Prozesse muss man losgelöst von dem Wechsel der Institutsleitung betrachten. Als Fraunhofer-Institut ist das FHR stark anwendungsorientiert. Somit muss es sich zyklisch die Frage stellen, ob die Geschäftsfelder in der Form noch die richtigen sind. Und wir sind nun wieder an diesem Punkt des Zyklus angekommen. Wichtig ist uns hier der Dialog mit den Geschäftsfeld-Sprechern. Sie kennen ihre Märkte.

*Peter Knott:* Ähnlich war es auch bei der Schaffung der neuen Abteilungen. Professor Pohl hat einen neuen Lehrstuhl an der Ruhr-Universität Bochum übernommen, der ihn dort zeitlich stärker bindet. Er hat daher angeboten, die Abteilungsleitung abzugeben. Außerdem hatten sich die beiden Bereiche der alten Abteilung, aus der diese zwei neuen Abteilungen hervorgegangen sind, technologisch und in ihrer Ausrichtung in verschiedene Richtungen entwickelt. Wir hatten vor diesem Hintergrund auch überlegt, ob und wie man sie als eine Einheit

belassen könnte. Aber im Gespräch mit Professor Pohl und seinen Stellvertretern, die jeweils einen Bereich geleitet haben, wurde deutlich, dass eine Aufteilung sinnvoll wäre. Somit haben beide Bereiche nun als eigenständige Abteilung mehr Entwicklungsmöglichkeiten, da sie unabhängiger agieren können. Professor Pohl wird aber weiterhin das Team SiGe-Entwicklung am Fraunhofer FHR leiten und außerdem stellvertretender Abteilungsleiter der neuen Abteilung Integrierte Schaltungen und Sensorsysteme (ISS) sein.

#### **Das FHR ist in den vergangenen Jahren stark gewachsen, die Nachfrage nach Radartechnologie ist sehr hoch. Was hat diese Entwicklung begünstigt?**

*Peter Knott:* Der technologische Fortschritt hat hier bisher verschlossene Türen aufgestoßen: Die Radartechnik ist inzwischen reif für ein breiteres Anwendungsspektrum. HF-Komponenten können auf Chips hochintegriert untergebracht werden. Wir können kleine, kompakte und massenmarktaugliche Systeme bauen. Daran brauchte man früher nicht einmal zu denken! Die Automobilindustrie ist hier beispielsweise Vorreiter. Die derzeit gute Wirtschaftslage ermöglicht es den Unternehmen zudem, entsprechend in die Entwicklung neuer Technologien zu investieren und davon profitieren wir.

*Dirk Heberling:* Aber nicht nur der Automotive-Sektor hat Radar für sich entdeckt. Dass Hochfrequenz-Technologie viele neue Möglichkeiten schafft, erkennen Firmen und auch die Studierenden! Wir verzeichnen seit einiger Zeit schon einen Zulauf bei den entsprechenden Studienschwerpunkten. Für die Radartechnik wird es künftig viel Potenzial geben, es entstehen viele neue Märkte. Das sind Arbeitsplätze in Deutschland, die da entstehen.

**Wo sehen Sie noch Potenzial für die Radartechnologie?  
Wie kann das Fraunhofer FHR sich in diesen Bereichen positionieren?**

*Peter Knott:* Das eigentliche Problem zu verstehen und eine Lösung zu entwickeln, ist ein erster Schritt. Für die Vermarktung müssen die relevanten Player in den Segmenten identifiziert und richtig adressiert werden. Das ist uns bisher nicht immer so gelungen, wie wir es uns gewünscht hätten. Es ist oft wichtig, in den richtigen Gremien aktiv zu sein, um Sichtbarkeit zu erzeugen. Aber es ist ebenso wichtig, die richtige Sprache zu sprechen: Welches Wording benutzt eine Branche? Das müssen wir für jeden Geschäftsbereich verstehen und uns gegebenenfalls anpassen.

*Dirk Heberling:* Die notwendigen Kontakte müssen erschlossen werden, das sehe ich auch als unabdingbar an. Aber unterschiedliche Märkte erfordern unterschiedliches Arbeiten. Vor allem, wenn ich da an die traditionellen Kategorien militärisch und zivil denke. Wir brauchen mehr Bewusstsein für die Wünsche unserer Kunden, die Taktung der Arbeiten muss enger werden, die Zeitpläne müssen eindeutig sein. Im Bereich Automotive ist es uns sehr gut gelungen. Doch auch der militärische Bereich bei uns wird davon profitieren. Auch hier werden zunehmend schnellere und flexiblere Lösungen gewünscht, die auf *Commercial off-the-shelf*-Komponenten (COTS) zurückgreifen statt auf Spezialentwicklungen.

**Über Ihre Lehrtätigkeiten hat das Institut nun eine engere Anbindung an die RWTH Aachen. Welchen Nutzen haben Hochschulkooperationen für das Fraunhofer FHR? Wie genau profitieren beide Institute – FHR und IHF – von dieser Kooperation?**

*Peter Knott:* Vor dem Hintergrund des derzeitigen Fachkräftemangels ist die Gewinnung qualifizierter Mitarbeitende

für das FHR eine große Herausforderung. Deshalb ist der direkte Kontakt zu Nachwuchskräften für uns sehr wichtig. Wir können Wissen direkt vermitteln und so die Studierenden thematisch fit machen. Und natürlich rücken wir als attraktiver Arbeitgeber in den Wahrnehmungsbereich der Studierenden. Hier sichtbar zu werden ist essenziell, wenn wir beim Rennen um neue Mitarbeiter eine Chance haben wollen. Daneben haben wir so auch mehr Möglichkeiten bei Förderanträgen für wissenschaftliche Vorhaben. Hochschulkooperationen ermöglichen uns mehr Flexibilität, insbesondere bei der Vorlauforschung.

*Dirk Heberling:* Durch die erhöhte Sichtbarkeit bei den Studierenden ist auch die Nachfrage nach externen Abschlussarbeiten gestiegen. Die Option, eine anwendungsorientierte Abschlussarbeit beim Fraunhofer FHR zu schreiben, finden die Studierenden sehr attraktiv. Beide Institute haben nun natürlich die Möglichkeit, auf die Ausstattung des jeweils anderen zurückzugreifen. Insbesondere das Fraunhofer FHR hat eine hervorragende Ausstattung. Das IHF kann nun an Technologien für Märkte denken, wo es früher keine Möglichkeiten hatte. Aber das IHF hat beispielsweise die Möglichkeiten, auf einer Autoteststrecke Versuche und Tests durchzuführen, was für das Fraunhofer FHR wiederum interessant ist, wenn ich an Autonomes Fahren denke.

**Wie soll die Anbindung an Aachen genau aussehen?**

*Dirk Heberling:* Das Fraunhofer FHR hat am IHF Räumlichkeiten gemietet. Im Dezember hat dort der erste FHR-Mitarbeiter seine Arbeit aufgenommen. Er ist Leiter der Forschungsgruppe Aachen. Sie ist die Basis für die engere Verbindung der beiden Institute. Außerdem werden wir eine Vorlesungsreihe von FHR-Mitarbeitenden speziell zum Thema Radartechnik etablieren. Früher hielt Professor Ender hier Vorlesungen, die mit seiner Berufung nach Siegen weggefallen sind. Das wurde seitens

der Studierenden und der Fakultät bedauert. Diese Lücke wird durch die Vorlesungen von Frau Dr. Cerutti-Maori geschlossen, weitere Lehrveranstaltungen im Bereich Radar mit unserer Unterstützung sind in Vorbereitung.

*Peter Knott:* Zurzeit läuft an der RWTH Aachen ein Berufungsverfahren, in dem meine dortige Lehrtätigkeit künftig in Form einer Professur ausgestaltet werden soll. Das würde die Anbindung zusätzlich stärken und für beide Seiten entsprechende Vorteile bringen.

#### **Was wird Aufgabe der Forschungsgruppe Aachen sein?**

*Dirk Heberling:* Die Forschungsgruppe befasst sich vorwiegend mit Automotive-Radar. Hier gibt es bereits konkretes Interesse seitens der Fakultät für Maschinenbau. Dort wird bislang mit Sensoren gearbeitet, die von extern bezogen werden. Hier die Möglichkeit zu haben, auch Einfluss auf die Entwicklung nehmen zu können, eröffnet natürlich weitere Möglichkeiten. Zudem ist die RWTH sehr international aufgestellt. Viele Studierende kommen von außerhalb Europas. Somit kann das Fraunhofer FHR über diese Forschungsgruppe seine internationale Vernetzung ausweiten.

#### **Wie möchten Sie die Hochschulkooperationen künftig ausgestalten?**

*Peter Knott:* Wir streben für das Fraunhofer FHR künftig eine enge Anbindung an mehrere Hochschulen an.

Über Prof. Nils Pohl haben wir eine Verbindung zur Ruhr-Universität Bochum. Er ist bei uns künftig Teamleiter und stellvertretender Abteilungsleiter. Kostengünstige Radarchips auf SiGe-Basis haben ein unglaubliches Potenzial – wir können sie in den Einsatz bringen.

Mit der Universität Siegen, wo Professor Ender seinen Lehrstuhl hatte, möchten wir weiter eng zusammen arbeiten. Hier gab es vor allem bei den Forschungsarbeiten im Bereich des Remote Sensing engen Austausch, auch im Rahmen einer Forschungsgruppe. Hier führen wir derzeit Gespräche, wie die Zusammenarbeit weiterhin ausgestaltet werden kann. Das AMLS ermöglicht uns die Anbindung an die Hochschule in Remagen. Das ist für uns ebenfalls wichtig im Bereich der Nachwuchsgewinnung. Außerdem verfügt das AMLS über eine fliegende Plattform, die uns die Möglichkeit bietet, Radaranwendungen alleine wie auch mit anderen Sensoren im Verbund zu testen. Es ist sehr erfreulich, dass das AMLS seine Evaluierung in diesem Jahr erfolgreich bestanden hat.

*Dirk Heberling:* Für die externen Forschungsgruppen werden wir eine übergeordnete Organisationseinheit schaffen, um die Anbindungen auch entsprechend sichtbar zu machen. Das befindet sich derzeit in der Ausarbeitung.

#### **Die externen Standorte des FHR sind zum Teil über 100 km entfernt. Welche Risiken, aber auch welche Chancen ergeben sich Ihrer Ansicht nach daraus?**

*Peter Knott:* Nun, trivial anmutende Dinge wie Logistik und Infrastruktur müssen ausgearbeitet werden, damit die Zusammenarbeit mit anderen Bereichen des FHR nicht leidet. Partner, die uns anrufen und mit uns zusammen arbeiten, dürfen keine Distanz und vor allem keine Diskrepanz zwischen den Standorten merken. Hier benötigen wir ein ausgeklügeltes Konzept mit modernen und vor allem zuverlässigen und sicheren IT-Lösungen.

*Dirk Heberling:* Neben solchen administrativen Fragen darf auch das Menschliche nicht zu kurz kommen: Bei mehreren Standorten ist es noch wichtiger, ein gemeinsames Wir-Gefühl zu schaffen. Wie können wir das, beispielsweise durch



standortübergreifende Veranstaltungen erreichen? Auch wenn zwischen Aachen und Wachtberg 100 km liegen, so muss zueinander ein guter Draht bestehen und die Wege müssen wenigstens gefühlt kurz sein. Das halte ich für sehr wichtig und dafür arbeiten wir derzeit auch an einem Konzept. Erfolgreiche Organisationen sind quasi mehr als die Summe ihrer Standorte – und das Fraunhofer FHR will natürlich weiterhin erfolgreich sein.

**Was waren Ihrer Meinung nach wissenschaftliche Highlights in diesem Jahr? Was waren sonstige besondere Ereignisse und Themen?**

*Peter Knott:* Nun, die Abteilung Kognitives Radar hat in diesem Jahr eine ganze Reihe von Ergebnissen vorgelegt, die zeigen, dass die kognitiven Verfahren anwendbar sind und einen Mehrwert bringen. Das fand ja auch international wissenschaftliche Anerkennung durch die Auszeichnung des Papers von Simon Wagner und seinen Co-Autoren. Daneben war auch die Demonstration des quasi-monostatischen Radarverbunds eine spannende Sache. Das war zwar auf einen bestimmten Einsatzzweck ausgerichtet, aber ich bin überzeugt, dass wir hierfür noch viele weitere Anwendungen finden werden. Dann ist da noch unser Projekt GESTRA. Hier hatten wir vor kurzem das Critical Design Review – und haben es ohne größere Beanstandungen bestanden. Das ist ein toller Erfolg! Das sind aber nur drei Beispiele aus vielen tollen Highlights am Institut - da fällt es schwer, einzelne herauszuheben.

*Dirk Heberling:* Übergeordnet betrachtet ist das Thema der Autonomen Systeme natürlich das Thema des Jahres gewesen. Vor allem das Autonome Fahren ist einem überall begegnet. Aber das gehen wir ja, wie gesagt, mit der Forschungsgruppe in Aachen an. Da wird es sicher im kommenden Jahr spannende Ergebnisse zu präsentieren geben!

## ÜBER DIE INSTITUTSLEITUNG

*Dr. Peter Knott ist bereits seit 1994 Mitarbeiter des Fraunhofer FHR. Seine Forschungsarbeit konzentrierte sich auf die elektromagnetische Simulation und Entwicklung von Antennengruppen für Radarsysteme. Seit 2005 leitete er die Abteilung Antennentechnologie und elektromagnetische Modellierung (AEM) des Instituts. Darüber hinaus übt er seit 2009 eine Lehrtätigkeit an der RWTH Aachen aus.*



*Prof. Dr. Dirk Heberling wurde nach seiner Promotion an der RWTH Aachen 1993 zunächst Gruppen- und später Abteilungsleiter bei der Firma IMST GmbH in Kamp-Lintfort. Bei seinen Forschungsarbeiten konzentrierte er sich auf Antennentechnologien für verschiedenste Anwendungen. Mit seiner Tätigkeit hatte er entscheidenden Einfluss auf die erfolgreiche wirtschaftliche Entwicklung von IMST. 2008 wurde er auf den Lehrstuhl des Instituts für Hochfrequenztechnik an der RWTH Aachen berufen. Bereits seit 2009 ist er Kuratoriumsmitglied des Fraunhofer FHR.*



# INHALTSVERZEICHNIS

## 2 INTERVIEW

- 2 Interview: Die doppelte Institutsleitung

## 8 ÜBERBLICK

- 8 Inhaltsverzeichnis
- 10 Fraunhofer FHR im Profil
- 14 Ihre Ansprechpartner
- 16 Das Kuratorium

## 18 GESCHÄFTSFELDER

- 18 Geschäftsfeld Verteidigung
- 20 Geschäftsfeld Weltraum
- 22 Geschäftsfeld Verkehr
- 24 Geschäftsfeld Umwelt
- 26 Geschäftsfeld Sicherheit
- 28 Geschäftsfeld Produktion

## 30 FORSCHUNGSBERICHTE

- 30 Abstandswirksame Personenkontrolle mit TAARDIS
- 32 Bewegtzieldetektion mit Compressed Sensing
- 34 Passivradar-Signalverarbeitung zur Verfolgung von Zielen im Clutter
- 36 Kooperation mit dem Fraunhofer IAF - eine Erfolgsstory
- 38 Langzeitanalyse des Eigenbewegungsverhaltens des havarierten Satelliten ENVISAT
- 40 Weltraumüberwachung mit GESTRA
- 44 Antennenentwicklung für den Automobilbereich
- 46 Kognitives Automobilradar
- 48 Luftgestützte Sensorik für die Hydrologie
- 50 3D-Umgebungserfassung mit MIMO-Radar
- 52 Drohnerdetektion mit MIMO-Radar

54 Integrierte Radarsysteme für Werkzeugmaschinen

## 56 AUS DEM INSTITUT

- 56 Besondere Ereignisse 2016
- 60 Leitungswechsel – Professor Ender verabschiedete sich mit Radarsymposium in den Ruhestand
- 62 Specialist Meeting about Electromagnetic Waves and Wind Turbines (EMWT '16)

## 64 ANHANG

- 64 Ausbildung und Lehre
- 70 Veröffentlichungen
- 80 Gremientätigkeiten
- 84 Auszeichnungen
- 85 Veranstaltungen
- 86 Pressespiegel
- 90 Standorte

## 92 IMPRESSUM

## ÜBERBLICK



*Institutsgelände des Fraunhofer  
FHR mit Weltraumbeobach-  
tungsradar TIRA in Wachtberg.*

# FRAUNHOFER FHR IM PROFIL

Als eines der größten Radarforschungsinstitute in Europa besitzt das Fraunhofer FHR eine fundierte Expertise in nahezu allen Bereichen der Radartechnik und Höchstfrequenzsensorik.



Das Fraunhofer FHR betreibt als eines der führenden europäischen Institute umfassende Forschung im Bereich Hochfrequenz- und Radartechnik. Für seine Partner entwickelt das Institut maßgeschneiderte Konzepte, Verfahren und Systeme für elektromagnetische Sensorik vom Mikrowellen- bis in den unteren Terahertzbereich. Im Laufe der Jahrzehnte war es dem Institut und seinen Mitarbeitern möglich, sich durch intensive Beschäftigung mit diesem Fachgebiet umfassendes Know-how anzueignen.

Kernthema der Forschungsarbeiten sind Sensoren für präziseste Abstands- oder Positionsbestimmung sowie bildgebende Systeme mit Auflösungen bis zu 3,75 mm. Das Anwendungsspektrum dieser Geräte reicht von Systemen für Aufklärung, Überwachung und Schutz bis hin zu echtzeitfähigen Sensoren für Verkehr und Navigation sowie Qualitätssicherung und zerstörungsfreies Prüfen. Dabei zeichnen sich die Systeme des Fraunhofer FHR durch Zuverlässigkeit und Robustheit aus: Radar- und Millimeterwellensensoren eignen sich auch unter rauen Umweltbedingungen für anspruchsvolle Aufgaben. Sie arbeiten bei hohen Temperaturen, Vibrationen oder Null-Sicht-Bedingungen aufgrund von Rauch, Dampf oder Nebel.

Die am Fraunhofer FHR entwickelten Verfahren und Systeme dienen einerseits der Erforschung neuer Technologien und Macharten. Andererseits entwickelt das Institut gemeinsam mit Unternehmen, Behörden und anderen öffentlichen Einrichtungen Prototypen zur Bewältigung bisher ungelöster Herausforderungen. Dabei liegt besonderer Augenmerk auf der Ausgereiftheit und Serientauglichkeit der Systeme, sodass diese gemeinsam mit einem Partner zeitnah in ein Produkt überführt werden können. Die verwendeten Technologien reichen von klassischer Hohlleiterbasis bis hin zu hochintegrierten Silizium-Germanium-Chips mit Frequenzen bis zu 300 GHz.

### Kernkompetenzen

Durch seine interdisziplinäre Forschungsarbeiten deckt das Institut die gesamte Entwicklungskette von Radar- und Hochfrequenz-Systemen ab:

**Elektromagnetische Felder:** Das Fraunhofer FHR verfügt über einen in Jahrzehnten aufgebauten Kompetenzbereich für die numerische Berechnung elektromagnetischer Felder, der die Grundlage für die Charakterisierung von Streufeldern und die Konstruktion innovativer Antennen und Antennengruppen bildet. Diese Kernkompetenz ist querschnittlich in allen Geschäftsfeldern einsetzbar.

**Hochfrequenzsysteme:** Mit seiner Fähigkeit, neuartige und komplexe Baugruppen im Mikrowellen- und Millimeterwellenbereich aufzubauen, kann es seinen Partnern erste Prototypen zur Verfügung stellen. Im Spektrum sind planare Schaltungen, Hohlleiterkomponenten, integrierte Schaltungen, Breitbandtechnologie, Array-basierte Subsysteme sowie aktive und passive Radarsysteme. Die Miniaturisierung von Komponenten und Subsystemen bildet eine attraktive Teilkompetenz.

**Signalverarbeitung und Bildgebung:** Durch die Entwicklung und erfolgreiche Anwendung hochkomplexer mathematischer Verfahren zur Verarbeitung von ein- und mehrkanaligen Signalen zur Szenenrekonstruktion in Form von Positions- und Bewegungsparametern entdeckter Ziele oder von Radarbildern ist das Fraunhofer FHR weltweit anerkannt und mehrfach ausgezeichnet.

**Kognitives Radar und Klassifizierung:** Vorwiegend für militärische Anwendungen wurden vom Fraunhofer FHR Verfahren zur nichtkooperativen Klassifizierung von Luft-, See- und Landfahrzeugen entwickelt. Doch gewinnen diese Verarbeitungsalgorithmen auch in zivilen Bereichen zunehmend

an Relevanz, beispielsweise bei der Verarbeitung von Sensordaten im Bereich des autonomen Fahrens.

**Weltraumradar:** Durch die Arbeiten mit dem Weltraumbeobachtungsradar verfügt das Fraunhofer FHR über eine breite Wissens- und Erfahrungsbasis zur Verfügung. Das Institut leistet wertvolle Hilfestellung bei Fragen zu Satellitenbahnmechanik, Raumfahrtrückständen („Space Debris“) im erdnahen Welt- raum, der hochpräzisen Bahnbestimmung zur Schätzung der Kollisionswahrscheinlichkeit sowie zu Aufbau, Aufgaben und Wirkungsweisen individueller Satelliten.

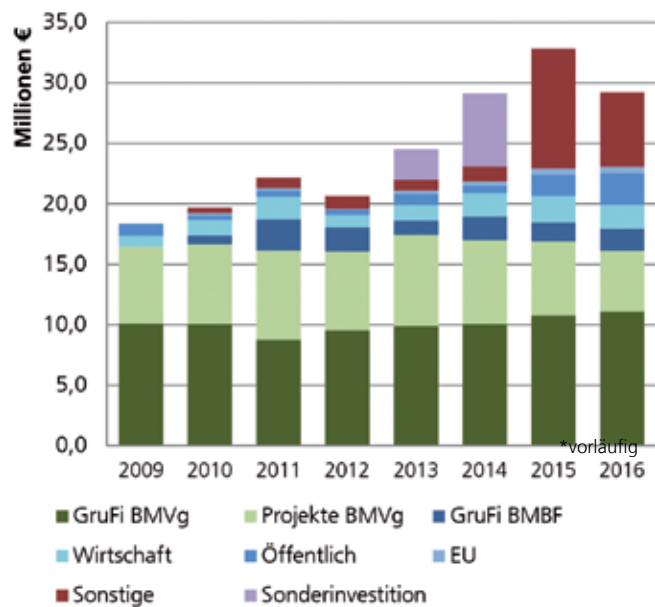
Diese Expertise stellt das Fraunhofer FHR seinen Partnern in den sechs Geschäftsfeldern Verteidigung, Weltraum, Verkehr, Umwelt, Sicherheit und Produktion zur Verfügung.

### Personal- und Budgetentwicklung

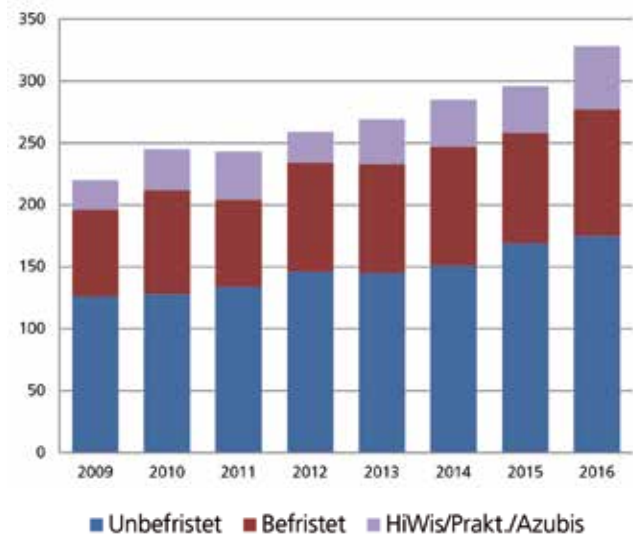
Das Budget des Instituts ergibt sich aus mehreren Finanzierungsquellen: Der Grundfinanzierung durch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), der Projektfinanzierung aus Mitteln des Verteidigungshaushaltes und den Einkünften aus dem Vertragsforschungsbereich (VfA), der wiederum unterteilt werden kann in Wirtschaftserträge, öffentliche Erträge, EU-Erträge, Sonstige und Grundfinanzierung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Im Jahr 2016 erwirtschaftete das Fraunhofer FHR im wehrtechnischen und im zivilen Institutsteil einen Gesamtertrag in Höhe von 29,2 Mio. €.

Zum Jahresende 2016 waren am Fraunhofer FHR insgesamt 328 Mitarbeiter beschäftigt, ein Wachstum von 10,8% im Vergleich zum Vorjahr. Davon sind 175 unbefristet und 102 Personen befristet beschäftigt. Hinzu kommen noch 51 Studierende und Auszubildende.

### Budgetentwicklung 2009 - 2016



### Mitarbeiterentwicklung 2009 - 2016



# IHRE ANSPRECHPARTNER

STAND: 1.4.2017

## FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZPHYSIK UND RADARTECHNIK FHR

### Kuratorium

#### Vorsitzender

Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. HERMANN ROHLING

TU Hamburg-Harburg



### Geschäftsführender Institutsleiter

Dr.-Ing. PETER KNOTT  
Tel. +49 228 9435-227  
peter.knott@fhr.fraunhofer.de

### Business Development

Dr. rer. nat. FRANK LORENZ



Tel. +49 228 9435-399  
frank.lorenz@fhr.fraunhofer.de

### Interne und externe Kommunikation

Dipl.-Volksw. JENS FIEGE



Tel. +49 228 9435-323  
jens.fiege@fhr.fraunhofer.de

### Patente / Schutzrechte

Dipl.-Ing. (FH) ALEXANDER STUCKERT



Tel. +49 228 9435-278  
alexander.stuckert@fhr.fraunhofer.de

### Geschäftsfelder

#### Antennentechnologie und elektromagnetische Modellierung (AEM)



Dr.-Ing. FRANK WEINMANN  
Tel. +49 228 9435-223  
frank.weinmann@fhr.fraunhofer.de

#### Array-gestützte Radarbildung (ARB)



Dr.-Ing. ANDREAS BRENNER  
Tel. +49 228 9435-531  
andreas.brenner@fhr.fraunhofer.de

#### Integrierte Schaltungen und Sensorsysteme (ISS)



Dipl.-Ing. DIRK NÜBLER  
Tel. +49 228 9435-550  
dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de

#### Höchstfrequenz-Radar und Anwendungen (HRA)



Dr. rer. nat. STEPHAN STANKO  
Tel. +49 228 9435-704  
stephan.stanko@fhr.fraunhofer.de

### Verteidigung

Dr.-Ing. UDO USCHKERAT



Tel. +49 228 9435-517  
udo.uschkerat@fhr.fraunhofer.de

### Elektromagnetische Modellierung

Dr.-Ing. FRANK WEINMANN



Tel. +49 228 9435-223  
frank.weinmann@fhr.fraunhofer.de

### Multifunktionale Hochfrequenzsensorik

Dipl.-Ing. HELMUT WILDEN



Tel. +49 228 9435-316  
helmut.wilden@fhr.fraunhofer.de

### Industrialisierte Hochfrequenztechnologie

Dipl.-Ing. CHRISTIAN KREBS



Tel. +49 228 9435-775  
christian.krebs@fhr.fraunhofer.de

### Millimeterwellen-SAR und Algorithmen

Dr. rer. nat. MICHAEL CARIS



Tel. +49 228 9435-353  
michael.caris@fhr.fraunhofer.de

### Weltraum

Dr.-Ing. DELPHINE CERUTTI-MAORI



Tel. +49 228 9435-290  
delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de

### Antennen und Front-End-Technologie

Dr.-Ing. THOMAS BERTUCH



Tel. +49 228 9435-561  
thomas.bertuch@fhr.fraunhofer.de

### Array-Systemtechnologie

Dipl.-Ing. OLAF SAALMANN



Tel. +49 228 9435-395  
olaf.saalman@fhr.fraunhofer.de

### Eingebettete Systeme und Algorithmen

Dipl.-Ing. ANDRIES KÜTER



Tel. +49 228 9435-134  
andries.kueter@fhr.fraunhofer.de

### Submillimeterwellen-Radar

Dipl.-Ing. DENIS NÖTEL



Tel. +49 228 9435-578  
denis.noetel@fhr.fraunhofer.de

### Verkehr

Dr.-Ing. ANDREAS DANKLMAYER



Tel. +49 228 9435-350  
andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de

### Technik und Sicherheit

Dipl.-Ing. (FH) STEFAN VORST



Tel. +49 228 9435-444  
stefan.vorst@fhr.fraunhofer.de

### Sensornah Digitaltechnologie

Dipl.-Ing. (FH) CLAUD KIRCHNER



Tel. +49 228 9435-203  
claud.kirchner@fhr.fraunhofer.de

### 3D Sensorsysteme

Dr.-Ing. REINHOLD HERSCHEL



Tel. +49 228 9435-582  
reinhold.herschel@fhr.fraunhofer.de

### Signaturen und Aufklärung

Dipl.-Ing. GREGOR BIEGEL



Tel. +49 228 9435-581  
gregor.biegel@fhr.fraunhofer.de

### Umwelt

Dipl.-Ing. HEINER KUSCHEL



Tel. +49 228 9435-389  
heiner.kuschel@fhr.fraunhofer.de

### Adaptive Array-Signalverarbeitung

Dr. rer. nat. WOLFRAM BÜRGER



Tel. +49 228 9435-220  
wolfram.buerger@fhr.fraunhofer.de

### Chip Design

Prof. Dr.-Ing. NILS POHL



Tel. +49 228 9435-147  
nils.pohl@fhr.fraunhofer.de

### Sicherheit

Dr. rer. nat. JENS KLARE



Tel. +49 228 9435-311  
jens.klare@fhr.fraunhofer.de

### Bildgebende Radar-Verfahren

Dr.-Ing. PATRICK BERENS



Tel. +49 228 9435-641  
patrick.berens@fhr.fraunhofer.de

### Produktion

Dipl.-Ing. DIRK NÜBLER



Tel. +49 228 9435-550  
dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de

### Signalverarbeitung für Weltraumüberwachung

Dr.-Ing. ROBERT KOHLEPPEL



Tel. +49 228 9435-392  
robert.kohlleppel@fhr.fraunhofer.de

### MIMO-Radar und Multistatik

Dr. rer. nat. JENS KLARE



Tel. +49 228 9435-311  
jens.klare@fhr.fraunhofer.de





**Institutsleiter**

Prof. Dr.-Ing. DIRK HEBERLING  
Tel. +49 228 9435-227  
dirk.heberling@fhr.fraunhofer.de

**Institutsleiter**

IHF - Institut für Hochfrequenztechnik  
RWTH Aachen

**Sicherheit**

Ass. jur. GLORIA POST



Tel. +49 228 9435-201  
gloria.post@fhr.fraunhofer.de

**Informationstechnik**

MICHAEL BUSSMANN



Tel. +49 228 9435-211  
michael.bussmann@fhr.fraunhofer.de

**Werkstatt**

CHRISTOPH PESCHEL



Tel. +49 228 9435-231  
christoph.peschel@fhr.fraunhofer.de

**Passives und störfestes Radar (PSR)**




Dipl.-Ing. HEINER KUSCHEL  
Tel. +49 228 9435-389  
heiner.kuschel@fhr.fraunhofer.de

**Kognitives Radar (KR)**



Dr.-Ing. STEFAN BRÜGGENWIRTH  
Tel. +49 228 9435-173  
stefan.brueggenwirth@fhr.fraunhofer.de

**Radar zur Weltraumbeobachtung (RWB)**



Dr.-Ing. LUDGER LEUSHACKE  
Tel. +49 228 9435-200  
ludger.leushacke@fhr.fraunhofer.de

**Forschungsgruppen**



Prof. Dr.-Ing. DIRK HEBERLING  
Tel. +49 228 9435-227  
dirk.heberling@fhr.fraunhofer.de

**Verwaltung**



JÜRGEN NEITZEL  
Tel. +49 228 9435-215  
juergen.neitzel@fhr.fraunhofer.de

**Passive Sensorik und elektronische Gegenmaßnahmen**



Dipl.-Math. JOSEF WORMS  
Tel. +49 228 9435-216  
josef.worms@fhr.fraunhofer.de

**Nicht-kooperative Identifizierung**



Dr. rer. nat. TANJA BIEKER  
Tel. +49 228 9435-634  
tanja.bieker@fhr.fraunhofer.de

**Verfahren zur Weltraumbeobachtung**



Dr.-Ing. LUDGER LEUSHACKE  
Tel. +49 228 9435-200  
ludger.leushacke@fhr.fraunhofer.de

**Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik (AMLS)**



Prof. Dr. rer. nat. JENS BONGARTZ  
Tel. +49 2642 932-427  
jens.bongartz@fhr.fraunhofer.de

**Finanzen**



Dipl.-Kff. (FH) MONIKA FLOR  
Tel. +49 228 9435-565  
monika.flor@fhr.fraunhofer.de

**Passiver Sensorverbund**



Dr.-Ing. DIEGO CRISTALLINI  
Tel. +49 228 9435-585  
diego.cristallini@fhr.fraunhofer.de

**UWB-Radar**



Dr.-Ing. UDO USCHKERAT  
Tel. +49 228 9435-517  
udo.uschkerat@fhr.fraunhofer.de

**TIRA - Radartechnik, Weiterentwicklung und Betrieb**



Dipl.-Ing. VITALY CHETIK  
Tel. +49 228 9435-261  
vitaly.chetik@fhr.fraunhofer.de

**Forschungsgruppe Aachen**



Dipl.-Ing. THOMAS DALLMANN  
Tel. +49 241 80-27958  
dallmann@ihf.rwth-aachen.de

**Einkauf**



HARTMUT SCHMIDT  
Tel. +49 228 9435-331  
hartmut.schmidt@fhr.fraunhofer.de

**Experimentalsysteme**



Dipl.-Ing. (FH) JOCHEN SCHELL  
Tel. +49 228 9435-396  
jochen.schell@fhr.fraunhofer.de

**Adaptive Wahrnehmung**



Dr. rer. nat. MARÍA GONZÁLEZ-HUICI  
Tel. +49 228 9435-708  
maria.gonzalez@fhr.fraunhofer.de

**TIRA - Antennensystem und Infrastruktur**



Dipl.-Ing. JÜRGEN MARNITZ  
Tel. +49 228 9435-248  
juergen.marnitz@fhr.fraunhofer.de

**Forschungsgruppe Bochum**



Prof. Dr.-Ing. NILS POHL  
Tel. +49 234 32-26495  
nils.pohl@fhr.fraunhofer.de

**Personal**



JOHANNES NELLES  
Tel. +49 228 9435-526  
johannes.nelles@fhr.fraunhofer.de

**Passive Coherent Location**



Dipl.-Phys. CHRISTOPH SCHWARK  
Tel. +49 228 9435-79033  
christoph.schwark@fhr.fraunhofer.de

**Radarchitekturen**



Dr.-Ing. STEFAN BRÜGGENWIRTH  
Tel. +49 228 9435-173  
stefan.brueggenwirth@fhr.fraunhofer.de

**Weltraumaufklärung**



Dr.-Ing. DELPHINE CERUTTI-MAORI  
Tel. +49 228 9435-290  
delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de

**Forschungsgruppe Siegen**



Prof. Dr.-Ing. JOACHIM ENDER  
Tel. +49 228 9435-226  
joachim.ender@fhr.fraunhofer.de

**Gebäudemanagement**



THOMAS SENDER  
Tel. +49 228 9435-221  
thomas.sender@fhr.fraunhofer.de

## ÜBERBLICK



# DAS KURATORIUM

Das Kuratorium begleitet unsere Forschungsarbeit und berät den Institutsleiter und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Mitglieder unseres Kuratoriums aus Industrie, Wissenschaft und Ministerien sind:

Vorsitzender

**Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Hermann Rohling**

TU Hamburg-Harburg  
Hamburg

Stellv. Vorsitzender

**Dipl.-Ing. Gunnar W. R. Pappert**

Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG  
Überlingen

**Prof. Dr. Kristian Bosselmann-Cyran**

Hochschule Koblenz  
Koblenz

**Prof. Dr.-Ing. habil. Otmar Loffeld**

Universität Siegen  
Siegen

**Dr. Gerhard Elsbacher**

MBDA Deutschland GmbH  
Schrobenhausen

**Prof. Dr.-Ing. Ilona Rolfes**

Ruhr-Universität Bochum  
Bochum

**Hans Hommel**

Airbus Defence & Space  
Ulm

**Prof. Dr.-Ing. Lorenz-Peter Schmidt**

Universität Erlangen-Nürnberg  
Erlangen

**Dr. Gerhard Kahl**

Airbus Defence & Space  
Unterschleißheim

**MinRat Norbert Michael Weber**

Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)  
Bonn

**Dr. Holger Krag**

ESA / ESOC  
Darmstadt

**Winfried Wetjen**

OHB-System AG  
Bremen

**Prof. Dr.-Ing. Stefan Lindenmeier**

Universität der Bundeswehr München  
München

*Die Teilnehmer der Kuratoriumssitzung am 17.6.2016 auf dem Institutsgelände in Wachtberg:*

*Dr. Knott (Institutsleiter FHR), Prof. Rolfes, Prof. Solbach, Prof. Rohling, Dr. Krag, Prof. Ender (ehem. Institutsleiter FHR), Prof. Schmidt, Prof. Loffeld, Prof. Lindenmeier, Herr Wetjen, Prof. Bosselmann-Cyran, Prof. Heberling (Institutsleiter FHR), Herr Pappert, Herr Weber, Dr. Leiner (Fraunhofer Zentrale), Herr Hommel, Dr. Kahl, Dr. Elsbacher, Herr Klingner (Fraunhofer Zentrale).*

# UNVERZICHTBAR FÜR AUFKLÄRUNG UND SCHUTZ

Bei jedem Wetter liefert Radar eine Vielzahl an Informationen und ermöglicht die Aufklärung unbekannter Gebiete – zu Wasser, Land und in der Luft. Mit seinem umfassenden Know-how deckt das Fraunhofer FHR die gesamte Bandbreite des Themenbereichs Hochfrequenz- und Radartechnik zur Verteidigung ab.

Smart, modular, multi-modal und kompakt. Das sind die Anforderungen an künftige Radarsysteme und schon seit vielen Jahren Forschungsschwerpunkte am Fraunhofer FHR. Neben Techniken zur Überwachung und Aufklärung untersuchen die Wissenschaftler auch neuartige Konzepte zum Tarnen des eigenen Radars sowie zur Täuschung und Störung gegnerischer Systeme. In regelmäßigen Messkampagnen für Partner des Institutes evaluiert das Fraunhofer FHR neue Tarnmaterialien und -methoden. Dabei legen die Wissenschaftler Wert auf größtmögliche Realitätsnähe der ausgewählten Testszenerien, denn eine optimale Tarnung ist stets an die geografischen und klimatischen Bedingungen des Einsatzortes angepasst. Bundeswehr und Industrie profitieren so von einer objektiven und unabhängigen Prüfung ihres Materials. Zudem bietet das Institut Hilfestellung bei der Entwicklung moderner Verfahren für das Stören von Fremdradaren auf allen Plattformen.

Im Bereich der Bildgebung liefert das Institut immer wieder weltweit beachtete Ergebnisse. Auf dem Gebiet der Bewegtzientdeckung (*Moving Target Indication, MTI*) hat es Pionierarbeit geleistet und nimmt auch hier international eine Spitzenposition ein. Dabei beschäftigen sich die Wissenschaftler intensiv sowohl mit Detektion, Tracking und Klassifizierung von Boden- (GMTI), See- (MMTI) wie auch Luftzielen.

Insbesondere die Detektion von kompakten Luftfahrzeugen ist ein Thema mit deutlich zunehmender Wichtigkeit. Hierzu untersuchen die Wissenschaftler mehrere Ansätze, um diese Fähigkeitslücke bei den Bedarfsträgern schnellstmöglich schließen zu können.

Schnelle und flexible Lösungen realisieren die Forscher dank „*Software-defined radar*“: Intelligente Software ermöglicht dem Radar mehr Freiheitsgrade sowie ein vielfältiges Einsatzspektrum. Die Anwendung maschineller Lernverfahren und anderer Methoden aus dem Bereich der Informatik macht den Weg frei zum Kognitiven Radar. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, ein Radar zu entwickeln, das sich automatisch bestmöglich an seine spezifische Aufgabe und die jeweiligen Rahmenbedingungen anpasst. Das reduziert den Personalbedarf und entlastet Bediener bei der Lagebeurteilung.

Diese Fähigkeiten kombiniert das Fraunhofer FHR mit miniaturisierten Systemen, einem weiteren Forschungsfeld. Durch die Entwicklung eigener Chips auf Basis von Silizium-Germanium (SiGe) können vollständige Systeme auf wenigen Quadratzentimetern gebaut werden. Die Miniaturisierung reduziert das zum Einbau benötigte Volumen, senkt die Kosten und Leistungsaufnahme des Systems. Zudem bedienen sie einen neuen Bedarf: Besonders in urbanen Kontexten werden zunehmend indoor-Anwendungen von Überwachung und Aufklärung nachgefragt. Hier sind Agilität und Größe der eingesetzten Trägerplattform von besonderer Bedeutung. Dank der SiGe-Systeme stehen so auch leistungsfähige Millimeterwellen-Radare für den Einsatz auf UAVs zur Verfügung.

Dank seiner Fachkompetenz in Breite und Tiefe steht das Fraunhofer FHR seinen Partnern in der Wirtschaft wie auch der öffentlichen Hand mit umfassender Beratungs- und Urteilsfähigkeit zur Seite. Seine wissenschaftliche Kompetenz bringt es auch in unterschiedliche NATO Task Groups und weiteren Gremien ein. In nationalen wie internationalen Kooperationen werden so Synergieeffekte bei der Wissensgenerierung geschaffen. Durch gemeinsame Projekte mit der Industrie transferiert das Institut seine Forschungsergebnisse kontinuierlich in konkrete Anwendungen und Produkte.



*Mit dem luftgestützten Überwachungs- und Aufklärungsradar PAMIR lassen sich natürliche und menschengemachte Objekte fein aufgelöst und mit hoher Bilddynamik abbilden.*



Geschäftsfeldsprecher Verteidigung:

**Dr.-Ing.**

**ANDREAS BRENNER**

Tel. +49 228 9435-531

[andreas.brenner@fhr.fraunhofer.de](mailto:andreas.brenner@fhr.fraunhofer.de)

# SICHERHEIT IM WELTRAUM

Raumgestützte Infrastruktur und satellitenbasierte Dienste sind für moderne Gesellschaften essenziell. Auf dem Gebiet der Weltraumbeobachtung mit Radar ist das Fraunhofer FHR eines der führenden Forschungsinstitute. Raumfahrtorganisationen weltweit verlassen sich auf seine Kompetenzen.

Seit über dreißig Jahren erforschen die Wissenschaftler des Fraunhofer FHR den erdnahen Weltraum. Radar ist für diese Aufgabe der am besten geeignete Sensor, da die Beobachtungsbedingungen überaus widrig sind. Doch Radar kann bei Tag und Nacht und bei jedem Wetter eingesetzt werden, liefert entfernungsunabhängig hochaufgelöste Bilder und kann Objekte auch bei hohen Geschwindigkeiten detektieren.

Mit TIRA verfügt das Institut über ein System zur Weltraumaufklärung, dessen Leistungsfähigkeit in Europa einmalig ist. Die mit dem Weltraumbeobachtungsradar gewonnenen Radarabbildungen sind wegen ihres Detailreichtums bei Satellitenbetreibern und Raumfahrtagenturen weltweit begehrt. Typische Aufgaben für die Wissenschaftler sind neben Bahndatenaufklärung zu Kollisionsvermeidung und Wiedereintrittsprognosen die Identifizierung und Analyse von Satelliten. Mit TIRA kann das FHR außerdem wertvolle Information beim Start von Satelliten bereitstellen: Hier möchten die Partner z. B. wissen, ob der Satellit auf der richtigen Umlaufbahn ist und korrekt in Betrieb gesetzt wurde. Diese Informationen können die Forscher des Fraunhofer FHR auf Basis der Radardaten entnehmen. Kurzfristig stehen den Partnern so wertvolle Informationen für den weiteren Missionsverlauf zur Verfügung.

Bei ihren Arbeiten fokussieren die Forscher sich auch auf die Entwicklung von Technologien, Verfahren und Algorithmen, um mit Radar möglichst viele Informationen über alle Weltraumobjekte – von aktiven Satelliten bis „Weltraummüll“ (*Space Debris*) – zu sammeln. Dennoch ist die wissenschaftliche Erfassung der Weltraumlage herausfordernd. Neben den etwa 20.000 derzeit bekannten und katalogisierten Objekten,

gibt es noch unzählige unentdeckte kleineren Objekte. Da relative Geschwindigkeiten zwischen Objekten von bis zu 15km/s in niedrigen Umlaufbahnen vorkommen können, können selbst nur einen Zentimeter große Teilchen für einen Satelliten tödlich sein. Die statistische Verteilung dieser Partikel versuchen die Wissenschaftler durch regelmäßige Messkampagnen zu erfassen, um die Modelle zu überprüfen und verbessern.

Doch der Verkehr im Orbit nimmt rasant zu: Vor allem Kommunikationsdienstleister setzen auf Schwärme von Klein- und Kleinstsatelliten, die im LEO (*Low Earth Orbit*, bis 2.000 km Höhe) ausgesetzt Mobilfunk und Internet auch in die entlegensten Ecken der Welt bringen sollen. Die ersten solcher Satellitenschwärme sind bereits geplant. Für eine lückenlose, kontinuierliche Überwachung des Weltraums ist daher ein anderer Typ von Radar notwendig: Sogenannte *Phased Arrays*, elektronisch gesteuerte Gruppenantennen, sind in der Lage den Himmel rund um die Uhr großräumig zu überwachen. Mittels elektronischer Strahlschwenkung können sie ihre Blickrichtung im Bruchteil einer Sekunde verändern. Im Auftrag des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt das Fraunhofer FHR derzeit ein solches System: Das „*German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar*“ (GESTRA). Neben dem Know-how, die Hardware für ein solches System zu konzipieren, verfügt das Institut auch über das nötige Fachwissen zur Entwicklung zugehöriger Radarbetriebssteuerung. Eine weitere Kernkompetenz ist die Entwicklung komplexer Algorithmen für eine bestmögliche Signalverarbeitung der empfangenen Radardaten. Somit deckt das Fraunhofer FHR im Bereich der Weltraumbeobachtung mit Radar die gesamte Systemkette ab und kann seinen Partnern alles aus einer Hand liefern.



*Mit dem TIRA-System und der Expertise von Fraunhofer FHR kann die Umlaufbahn eines potentiellen Kollisionsobjektes präzise berechnet werden und das Kollisionsrisiko ermittelt werden – eine wertvolle Unterstützung für Satellitenbetreiber, um das im Bild dargestellte Szenario zu verhindern.*



Geschäftsfeldsprecherin Weltraum:

**Dr.-Ing.**

**DELPHINE CERUTTI-MAORI**

Tel. +49 228 9435-290

[delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de](mailto:delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de)

# MIT RADAR AUF DER ÜBERHOLSPUR

Moderne Hochfrequenzsensoren sind auf verschiedensten Plattformen im Einsatz. Gerade für Anwendungen im Luft-, See- und Straßenverkehr bietet Radar vielfältige Möglichkeiten. Das Fraunhofer FHR untersucht in unterschiedlichsten Projekten, wie sich dieses Potenzial erschließen lässt.

Ziel der Forschungsarbeiten am Fraunhofer FHR sind kundenspezifische, kosteneffiziente Lösungen: Beginnend bei Machbarkeitsstudien sowie Chip- und Antennendesign entwickeln die Wissenschaftler neue Hardware-Konzepte für viele Verkehrsträger. Im Automotive-Bereich entstand bei einem langjährigen Industriepartner mit Unterstützung des FHR ein 24 GHz-Radar, das in über vierzig Fahrzeugtypen bereits millionenfach verbaut ist. Derzeit wirken die Wissenschaftler an einem verbesserten System mit: Hier kommt das Frequenzband um 77 GHz zum Einsatz. Diese Frequenz ermöglicht noch kompaktere Bauformen und neue Features für Fahrerassistenzsysteme. Der Trend zum „*software defined radar*“ eröffnet eine Vielzahl von weiteren Anwendungsmöglichkeiten. Innovative Anwendungen im Bereich des autonomen Fahrens werden zunehmend auf intelligente Sensorik zugreifen und von adaptiver Signalverarbeitung profitieren. So werden zukünftige kognitive Radarsysteme in der Lage sein Betriebsparameter und Wellenform an die Umgebung anzupassen: Multifunktionale Sensoren, die Nah- und Fernbereich abdecken, zur Fußgängererkennung eingesetzt werden und neben der Radarfunktion auch *Car-to-Car* Kommunikationsaufgaben übernehmen.

Auch für den Luftverkehr erarbeiten die Forscher neue Lösungen: Neben Onboard-Anwendungen stehen hier Optimierung von Luftraum- und Flugfeldüberwachung (Fremdkörper-Detektion im Flughafenumfeld) sowie die Sicherung des Flugverkehrs auf der Strecke im Fokus (z. B. bedarfsgerechte Abschaltung von Laserlink-Satellitenkommunikation zum Schutz der Piloten).

Eine weitere Expertise neben dem Schaltungsdesign ist die Identifikation des optimalen Einbauorts einer Antenne am Fahrzeug: Der Einbauort und dessen Umgebung sowie die Eigenschaften der verbauten Materialien beeinflussen die Leistungsfähigkeit einer Antenne. Mittels elektromagnetischer Modellierung kann die Funktion eines Systems bereits in der Designphase analysiert werden. Für Fahrzeuge, bei denen der Luftwiderstand (Aerodynamik) eine Rolle spielt, entwickelt das Institut leistungsfähige und störteste strukturintegrierte Antennen. Das Anwendungsspektrum reicht von bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen über Landfahrzeuge bis hin zu unterschiedlichen Schiffstypen. Einsatz finden diese Antennen zur Navigation sowie zur Kommunikation.

Das Institut verfügt über tiefgreifende physikalische, ingenieurwissenschaftliche und mathematische Fachkenntnisse. Es vereint somit das ganze Leistungsspektrum unter einem Dach: Vom Technologie-Consulting (Beratung und Bewertung von neuen Technologien) bis zu Entwurf, Konstruktion und Prototypenbau. Seine Arbeiten sind darauf ausgerichtet, Fragestellungen bei der Entwicklung eines neuen Produkts zügig und zeitnah zu lösen. Das Entwicklungsrisiko für den Kunden ist dabei gering, da sich die Wissenschaftler kontinuierlich mit nahezu allen Aspekten der Thematik befassen.

Beim Aufbau von kostengünstigen, kundenspezifischen Systemen hat das Fraunhofer FHR neue Akzente gesetzt: Dank seiner Kompetenz im Bereich der Silizium-Germanium-Halbleitertechnologie (SiGe) kann es kostengünstig hochintegrierte Komponenten entwerfen. In Kombination mit den am Fraunhofer FHR entwickelten Technologien, Verfahren und Systemen können so neue Anwendungsmöglichkeiten in vielen Bereichen erschlossen werden. Ziel der Aktivitäten im Geschäftsfeld Verkehr ist es mit innovativer Technologie einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Sensorik zu leisten und dem Kunden auch in Zukunft einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen.





*Stets an Bord: Radarsensoren arbeiten unter allen Licht- und Wetterbedingungen und sind daher wichtiger Bestandteil von Fahrerassistenzsystemen bis hin zu autonomen Fahrzeugen.*



Geschäftsfeldsprecher Verkehr:

**Dr.-Ing.**

**ANDREAS DANKLMAYER**

Tel. +49 228 9435-350

[andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de](mailto:andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de)

# GREEN RADAR: NATÜRLICH MIT HERTZ

Radar bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten rund um den Themenkomplex erneuerbare Energien und Umweltmonitoring. Das Fraunhofer FHR begleitet seine Partner in verschiedenen Projekten von der Entwicklung eines Systemkonzeptes bis zum fertigen Prototypen.

Die Energiewende in Deutschland ist voll in Fahrt: Überall entstehen neue Windparks, denn Wind soll der neue Hauptenergieversorger werden. Doch gibt es nicht nur Befürworter dieser Art, grünen Strom zu erzeugen. Die Planer und Betreiber von Windparks müssen bereits in der Antragsphase nachweisen, dass der geplante Park umweltverträglich ist. Hierbei kann Radar helfen.

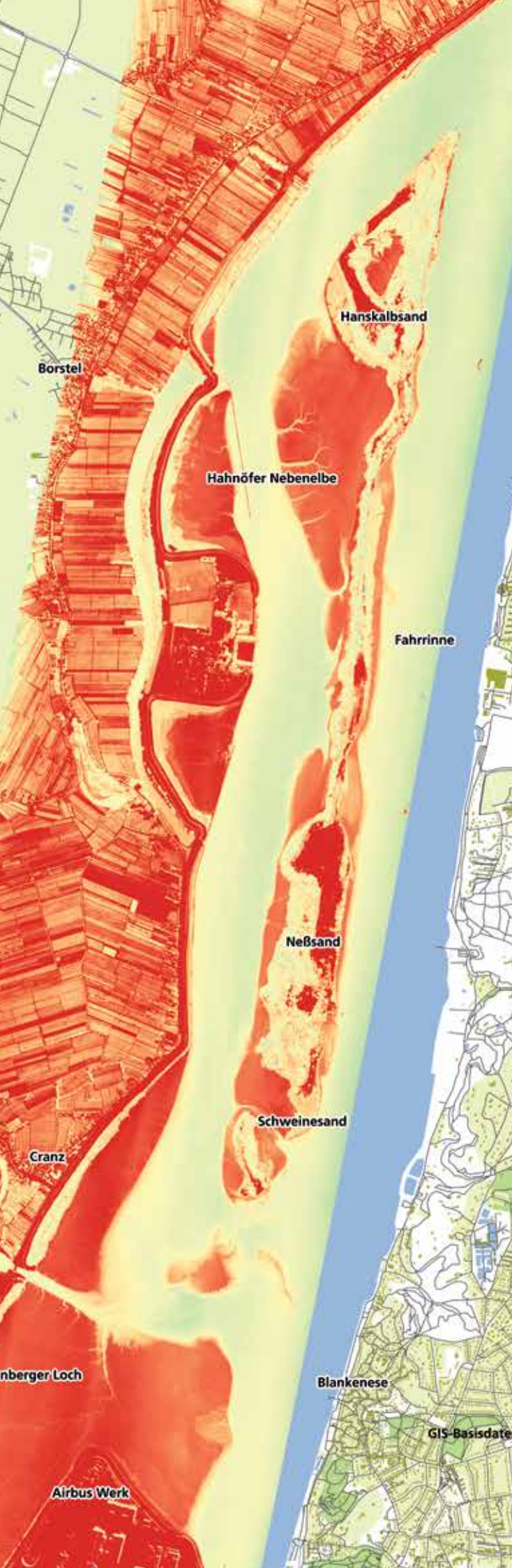
Der Sensor Radar ist licht- und wetterunabhängig; er funktioniert bei Tag und Nacht, Regen und Nebel. Mit Radar können Objekte auch über große Entfernungen mit großer Genauigkeit detektiert und aufgelöst, das heißt von anderen Objekten unterschieden werden. Der Sensor kann auf Flugzeuge wie auch auf Vögel angewendet werden. Somit lassen sich nicht nur die rot-blinkenden Warnleuchten auf den Windrädern bedarfsgerecht ein- und ausschalten, sondern auch die Rotoren bei Annäherung eines Vogelschwarms anhalten. Mit Radar lässt sich also erfassen, was außerhalb und innerhalb eines Windparks vor sich geht – auch der Zustand der Anlagen kann mit Radar, ergänzend zu bereits bestehenden Sensoren, überwacht werden.

Die Herausforderung für die Wissenschaftler hierbei ist, mit möglichst geringer Leistung kleine Objekte in möglichst großer Entfernung aufzuspüren – manchmal auch ohne eigene Sendeleistung. Dann setzen die Forscher auf Passivradar. Hierbei nutzen sie die Signale von Fernsehstationen oder Mobilfunkmasten als Sender und werten nur die Echos aus. Das Fraunhofer FHR untersucht für seine Kunden in Machbarkeitsstudien die Durchführbarkeit eines Projektes. Es verfügt dabei nicht nur über das nötige theoretische Knowhow, sondern auch über die Expertise solche Systeme in entspre-

chende Hardware umzusetzen. In aufwändigen Modellen und Simulationen optimieren die Forscher ihr Konzept, ehe sie sich an den Bau des Systems geben. Die Besonderheit ist, dass die Wissenschaftler die Systeme einzig für ihre Aufgabe entwerfen und nicht bloß Geräte von der Stange an eine Applikation anpassen. Gleichzeitig integrieren die Wissenschaftler möglichst viele Massenmarkt-Komponenten (*commercial-off-the-shelf, COTS*), um die Kosten so niedrig wie möglich zu halten. Außerdem entwickeln sie für jedes System einen speziell angepassten Algorithmus zur Signalverarbeitung – das Herzstück eines jeden Radarsystems.

Zwar lässt sich mit Radar auch der Reifegrad von Feldfrüchten messen, doch für eine ganzheitliche Erfassung der Umweltparameter sind mehr Daten notwendig als sich mit Radar allein gewinnen lassen. Am Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik (AMLS), eine Kooperation des Fraunhofer FHR und der Hochschule Koblenz, erforscht eine Gruppe die kooperative Nutzung von Radar und anderen bildgebenden Sensoren für umfassende Untersuchungen von Vegetation und Erdoberfläche aus der Luft. Dafür steht ihnen eine eigene Ultraleicht-Flugplattform zur Verfügung. Die Anwendungsmöglichkeiten hierfür sind vielfältig: von der Erfassung des Zustands von Agrar- und Waldflächen über die Messung der Gewässerqualität bis hin zur Überwachung und Dokumentation von Naturschutzmaßnahmen.

Für die Erprobung neuer Algorithmen, Verfahren und Komponenten verfügt das Fraunhofer FHR über einen umfassenden Gerätepark an aktiven wie passiven Experimentalsystemen und mobilen Prototypen. So können die Wissenschaftler Untersuchungen auch außerhalb des Labors unter Realbedingungen durchführen. Durch diese einzigartige Kombination von Fachwissen und Systemkompetenz erhält der Kunde stets die für ihn beste, weil maßgeschneiderte Lösung.



Die Verteilung der Oberflächentemperatur an der Hahnöfer Nebelbe bei Hamburg, aufgezeichnet bei einer Messkampagne des Fraunhofer FHR gemeinsam mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (siehe Beitrag auf Seite 48/49).



Geschäftsfeldsprecher Umwelt:  
**Dipl.-Ing.**  
**HEINER KUSCHEL**  
 Tel. +49 228 9435-389  
 heiner.kuschel@fhr.fraunhofer.de

# MEHR SICHERHEIT DURCH RADAR

Großveranstaltungen, Verkehrsknotenpunkte und öffentliche Plätze sind Orte, an denen Sicherheit von essenzieller Bedeutung ist. So setzt das Fraunhofer FHR bei der Erforschung zukunftsweisender Sicherheitslösungen, für eine große Zahl unterschiedlichster Anwendungen, auf seine langjährige und umfassende Expertise in der Hochfrequenz- und Radartechnik.

Beim Schutz großer und unübersichtlicher Areale und der Bewältigung komplexer Gefahrenlagen werden Polizei und Rettungskräfte immer mehr durch mobile Sensorsysteme unterstützt. Ein Schwerpunkt des Fraunhofer FHR liegt deshalb auf der Erforschung von kompakten und autonomen Sensortechnologien, um die Einsatzkräfte mit detaillierten Lagebildern und Informationen zu versorgen – in Echtzeit und bei jedem Wetter. In anwendungsorientierten Projekten untersucht das Institut zukunftsweisende Technologien und Verfahren. Auf Basis von Silizium-Germanium (kurz SiGe) entwickeln die Forscher beispielsweise kostengünstige hochintegrierte Chips. In Kombination mit dem MIMO-Prinzip sind so preiswerte und effiziente Systeme realisierbar, die exakt für jeden Einsatzzweck entwickelt werden.

Das Herzstück eines jeden Radarsystems ist immer eine ausgeklügelte Kombination von Hochtechnologie und Signalverarbeitung. So können mittels Radar nicht nur Bilder einer Szene gemacht und bewegte Objekte detektiert und klassifiziert werden, es lassen sich auch zeitliche Veränderungen, wie beispielsweise minimalste Bewegungen von Trümmerteilen, erfassen und analysieren. Darüber hinaus durchdringen Radarwellen Wolken, Nebel, Rauch und Staub und bei entsprechenden Wellenlängen sogar auch Kleidung und beispielsweise Koffer. Sie eignen sich somit vorzüglich für den Einsatz an schwer zugänglichen Unglücksorten, bei widrigsten Witterungsbedingungen und im Bereich der Prävention zur Entdeckung von Sprengvorrichtungen und Waffen. Eines der derzeitigen Topthemen ist die Detektion, das

Tracking und die Klassifizierung von UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles, UAV*): UAVs werden erfolgreich für eine Vielzahl an Anwendungen eingesetzt, stellen aber auch eine Gefahr da, wenn es z. B. durch Ausfälle in der Steuerung oder im Antrieb zu Abstürzen auf Menschen, Verkehrswege oder kritischer Infrastruktur kommt. Zudem lassen sich UAVs auch zur Spionage oder für Anschläge mit Spreng- und Giftstoffen verwenden. Eine rechtzeitige Gefahrenerkennung mit einer nachgelagerten Intervention ist somit bei der weltweit rasant steigenden Zahl an UAVs eines der dringendsten aktuellen Sicherheitsprobleme.

Die Forscher des Fraunhofer FHR beleuchten aber auch die andere Seite der UAVs, nämlich als Träger für Sensorik und erforschen hierzu neueste Konzepte und Technologien. Erste Radare für UAVs, die mehr als fünf Kilogramm Zuladung tragen können, haben die Forscher bereits entwickelt. Damit lassen sich schnell und zuverlässig Aufnahmen von urbanem Gelände oder Katastrophengebieten machen.

Die Forscher machen aber bei Radar nicht Halt und konzeptionieren zusammen mit Partnern aus Forschung und Industrie, komplexe Multisensorkonzepte, um für jede Anwendungen die bestmögliche Sicherheitslösung anbieten zu können. Durch seine hervorragende Vernetzung innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft und mit anderen Forschungseinrichtungen weltweit liefert das Fraunhofer FHR die gesamte Systemkette der Sicherheitsforschung aus einer Hand. Zusätzlich zu Forschung und Entwicklung steht das Institut seinen Partnern auch mit umfassender Beratungsleistung zur Prävention wie auch im Ernstfall zur Seite. Die Systeme des FHR leisten einen wesentlichen Beitrag für eine sicherere Zukunft.



*Fraunhofer FHR forscht an modernsten Radartechnologien zur Detektion, zum Tracking und zur Klassifikation von Drohnen.*



Geschäftsfeldsprecher Sicherheit:

**Dr. rer. nat.**

**JENS KLARE**

Tel. +49 228 9435-311

[jens.klare@fhr.fraunhofer.de](mailto:jens.klare@fhr.fraunhofer.de)

# SMARTE SENSOREN ZUM KLEINEN PREIS

Das Fraunhofer FHR forscht an innovativen Sensoren für Qualitätskontrolle in Echtzeit. Neben inline-Fähigkeit und Zuverlässigkeit ist der Preis ein wesentlicher Faktor bei der Entwicklung.

Elektronische Spürnasen und künstliche Augen – moderner Qualitätskontrolle stehen bei der Messung von Fertigungstoleranzen, Produkt- und Materialeigenschaften unzählige Informationen zur Verfügung: Big Data ermöglicht eine Fülle an Parametern, mit denen die Produktion optimiert werden kann. Im Rahmen der digitalen Revolution in den Produktionsstätten, kurz Industrie 4.0, steigen durch die Vernetzung von Fertigungsanlagen und Betriebsmanagement folglich die Anforderung an Sensorik: Schneller, genauer, vielseitiger.

Sensorik für Produktion und Industrie sind seit vielen Jahren ein Schwerpunktthema der Forschung am Fraunhofer FHR. Die Ergebnisse finden in der Wissenschaft Beachtung, doch ist das Ziel der Arbeiten auch immer die industrielle Anwendung. Aus der Synergie von wissenschaftlicher Exzellenz und hochprofessionellem Engineering – 3D-Druckverfahren, hochpräziser Werkstatt, Obsoleszenz-Management, Kosteneffizienz – entstehen so maßgeschneiderten Lösungen. Dabei ist das Institut mit seinen Systemen vielseitig unterwegs: Von der Lebensmittel- über die Recyclingindustrie, in der Kunststoff- und Stahlproduktion bis zur Landwirtschaft.

Meist sind die Fragestellungen so spezifisch, dass verfügbare kommerzielle Lösungen kaum Abhilfe schaffen. So bringen harsche Umweltbedingungen – Temperaturen von mehreren hundert Grad, Dampf oder Rauch, Vibrationen und Bandgeschwindigkeiten von über 20 m/s – konventionell verfügbare Systeme oft an ihre Grenzen. Hochfrequenzsysteme des Fraunhofer FHR haben unter diesen Bedingungen bereits ihre Standfestigkeit bewiesen. Die Sensoren arbeiten im 24/7-Betrieb, messen in Echtzeit und erreichen eine Genauigkeit von einigen 100 µm. Und: Sie sind voll integrierbar in die bestehenden Fertigungsmaschinen.

Bei der Entwicklung einer anwendungsspezifischen Lösung

stehen neben Preis- bzw. Kosteneffizienz und möglichst kurzer Entwicklungsdauer auch Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Anlage im Fokus. Selbstverständlich sind auch die Beachtung rechtlicher Rahmenbedingungen und die Verwendung industrieller Standards, beispielsweise bei Schnittstellen. Das Fraunhofer FHR bietet dabei alles aus einer Hand: In nur zwei bis vier Wochen untersuchen die Wissenschaftler in einer ersten Kurzanalyse, ob die gewünschte Anwendung technisch möglich ist. Eine konkrete Machbarkeitsstudie dauert je nach Ausführlichkeit drei bis sechs Monate. Auf Wunsch übernimmt das Fraunhofer FHR auch die Konzeptionierung des Systems sowie den Bau eines Prototypen, welcher mit einem Industriepartner dann zeitnah zur Serienreife entwickelt werden kann. Die Prototypenentwicklung dauert durchschnittlich sechs bis 24 Monate und beinhaltet natürlich auch die Integration des Testsystems in den Produktionsbetrieb. Im Anschluss begleitet das Institut die Optimierung und Weiterentwicklung des Systems.

Die im Fraunhofer FHR entwickelten, hochintegrierten single-chip-Radare auf Basis von Silizium-Germanium (SiGe) ermöglichen aufgabenspezifische, aber dennoch kosteneffiziente Systeme auch in großen Stückzahlen. Im Allgemeinen arbeiten die weitgehend standardisierten, aber anpassbaren Systeme bei 30, 60, 90, 120 und 240 GHz – möglich sind aber nahezu beliebige Frequenzen bis 300 GHz. Neben Sensoren für die Abstands-, Dichte- und Dickenmesstechnik entwirft das Fraunhofer FHR auch unterschiedliche bildgebende Sensoren. Die neueste Innovation in dieser Kategorie ist eine intern entwickelte Zeilenkamera. Sie ist je nach Anwendung skalierbar und befindet sich derzeit in der Erprobungsphase. Die bisherigen Ergebnisse sind wie erwartet positiv.

Dank seiner guten Vernetzung innerhalb und außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft hat das Fraunhofer FHR Zugang zu breitgefächertem Know-how und forscht stets am Puls der Zeit. Mit kurzen Innovationszyklen sorgt das Institut dafür, dass die Technologie stets auf dem neuesten Stand ist. Das hilft den Unternehmen, ihre Marktposition zu festigen.



*Fraunhofer FHR bietet maßgeschneiderte Radarsysteme mit hoher Genauigkeit für die Qualitätskontrolle, zum Beispiel bei der Kunststoffproduktion.*



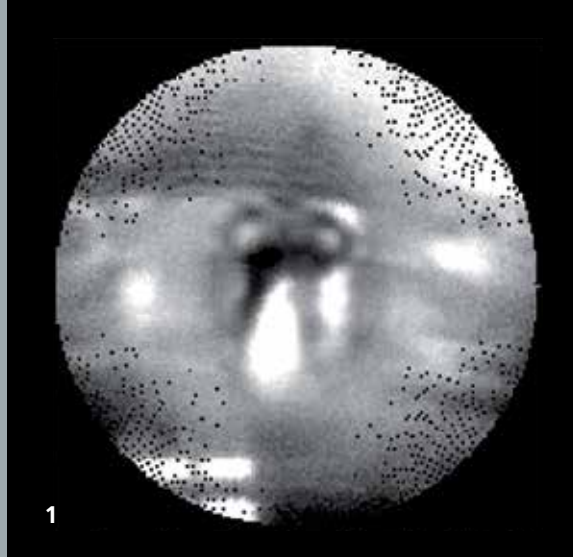
Geschäftsfeldsprecher Produktion:

**Dipl.-Ing.**

**DIRK NÜBLER**

Tel. +49 228 9435-550

[dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de](mailto:dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de)



## ABSTANDSWIRKSAME PERSONENKONTROLLE MIT TAARDIS

Im EDA-Projekt TIPPSI (*THz Imaging Phenomenology Platforms for Stand-off IED Detection*) wurden zukünftige Ansätze für abstandsfähige Personenscanner ausgelotet. Fraunhofer IAF und Fraunhofer FHR trugen das passive Millimeterwellen-System TAARDIS (*Terahertz Accelerated Aperture Remote Detection Imaging Scanner*) bei.

### Passiver Millimeterwellen-Scanner TAARDIS

Für den passiven Scanner wurden in Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer IAF und Fraunhofer FHR hochempfindliche und breitbandige Empfänger bei 94 GHz, 220 GHz und 300 GHz erforscht. Die reinen Empfangskanäle mussten mit einer abbildenden Optik ergänzt werden. Diese fokussiert die empfangenen Millimeterwellen und leitet sie richtungsabhängig in die Empfangskanäle, was ein Abscannen des Bildbereichs ermöglicht. Das Scanverfahren ist derart gestaltet, sodass sich mit wenigen Kanälen und einem mechanischen Scan bereits das Funktionsprinzip des Systems demonstrieren konnte. Mit mehr verfügbaren Empfängern wurde die Notwendigkeit mechanischen Scannens reduziert, was die Abbildungsgeschwindigkeit erhöht. Möglich wird dies auf Basis des konfokalen Gregorianischen Offset-Reflektor-Systems, wie es mit dem TAARDIS-Scanner in einer Variante mit fünf Spiegeln realisiert wurde.

Eine wichtige Anforderung des TIPPSI-Projektes bestand darin, Personenscanner in größeren Abständen durchzuführen, als es bei den rein zivilen Sicherheitsscannern derzeit üblich ist: Mit

TAARDIS wird ein vordefiniertes Volumen statt in nur 1 m Entfernung im Bereich von 5 m bis 50 m abgetastet. Um auch in solchen Abständen Personen und zumindest große Fremdkörper entdecken zu können, wurde das TAARDIS-System mit einer Apertur von 90 cm Durchmesser ausgestattet, welche sich optional noch vergrößern lässt.

Angestrebt ist eine Bildwiederholrate von 1 Hz, was sich mit einer optimierten Scan-Mechanik sowie in einer Konfiguration ab sechs Empfangskanälen realisieren lässt. Da in einigen der hergestellten Kanäle jedoch noch nicht die erforderliche Kurzzeitstabilität realisiert werden konnte, wurden die Ergebnisse für TIPPSI mit reduzierter Wiederholrate gemessen. Die fehlenden Kanäle werden nun nach und nach stabilisiert und dem System hinzugefügt. Abschließend erfolgt eine weitere Optimierung der scannenden Mechanik.

### Ergebnisse des TIPPSI-Projekts

Aus vorherigen Arbeiten ist bekannt, wie stark die Orientierung der zu messenden Person sowie der zu detektierenden Objekte zueinander sowie zum Scanner das Detektionsergebnis beeinflussen kann. Da im Rahmen von TIPPSI zwei Scannersysteme und eine Simulationsumgebung verglichen werden sollten, wurde an der Wojskowa Akademia Techniczna (WAT) in Warschau eigens ein realistisches Modell eines menschlichen Körpers erstellt. Es verfügt über ein verteiltes Heizsystem, wodurch sich auf der Oberfläche eine Temperaturverteilung sehr ähnlich der menschlichen Haut herstellen lässt. Dieses Modell wurde für Messungen an das Fraunhofer FHR sowie an das FOI (Totalförsvarets forskningsinstitut) nach Schweden





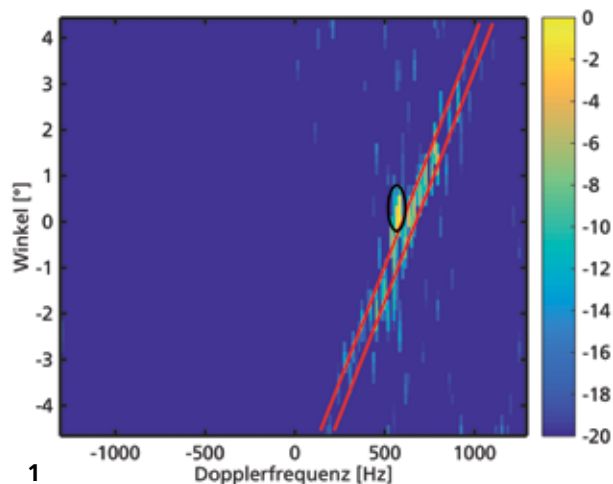
verteilt. Auch als 3D-Modell erhielt es Einzug in die am FOI erarbeitete Simulationskette. Diese Simulationsumgebung verbindet 3D-animierte Personen, eine aufwändige Kleidungsmodellierung sowie eine Mischung von am Körper getragenen Objekten, z. B. Mobiltelefonen und IEDs (*improvised explosive devices*), mit einer dreidimensionalen Simulation für aktive und passive Millimeterwellenscanner. Die spezifischen Abbildungseigenschaften der Scanner werden dabei ebenso berücksichtigt wie die vom WAT erstellte Materialdatenbank. Auch wenn der Fall bewegter Personen mit diesem beheizbaren Modell nicht untersucht werden konnte, die weitgehende Übereinstimmung der Simulationen mit den Messergebnissen für statische Szenen zählt zu den großen Erfolgen des TIPPSI-Projekts. Der aktive Scanner entstand hierbei in enger Kooperation zwischen der THz Sensing Group der TU Delft, zuständig für die Imager-Optik, sowie dem *Terahertz and Millimetre Wave Laboratory* der Universität Chalmers, welches die 220 GHz Radarmodule lieferte. Die Systemintegration fand wiederum am FOI statt. Das niederländische TNO steuerte eine detaillierte Analyse bei, mit welchen Mitteln der bestehende aktive Scanner um eine MIMO-Anordnung ergänzt werden kann, was einen Großteil der mechanischen Abtastbewegungen überflüssig machen soll.

### **Abschlussdemonstration in Warschau**

Zum Ende des TIPPSI-Projekts wurden abschließende gemeinsame Messungen beider Scanner mit dem beheizbaren Modell durchgeführt und die Ergebnisse mit den Simulationen verglichen. Diese Arbeiten fanden im September 2016 statt. Ende Oktober 2016 schließlich wurden die erzielten Ergebnisse in Warschau präsentiert. Nicht zuletzt durch die abrundende Live-Demonstration wurde den Gutachtern präsentiert, welche herausragenden Resultate im Rahmen von TIPPSI erarbeitet worden sind.

- 1 *TAARDIS-Personenscan in 20 m Abstand, 94 GHz-Kanal.*
- 2 *Personenscans*
- 3 *Weitbereichs-Scan bei 220 GHz mit TAARDIS.*

*Dipl.-Ing. (FH)  
Johann Huck  
Tel. +49 228 9435-805  
johann.huck@  
fhr.fraunhofer.de*



## BEWEGTZIELDETEKTION MIT COMPRESSED SENSING

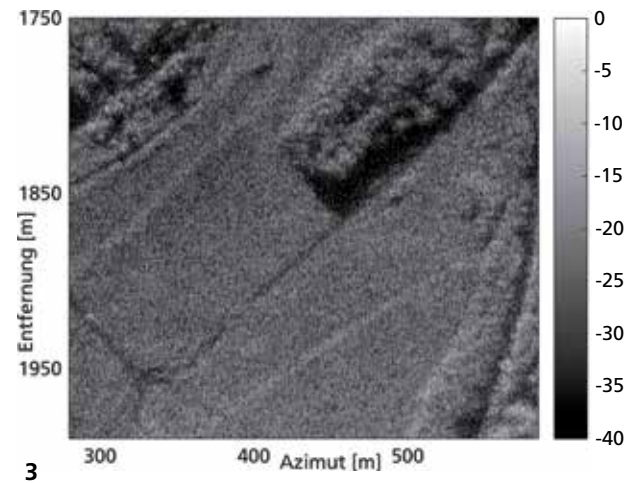
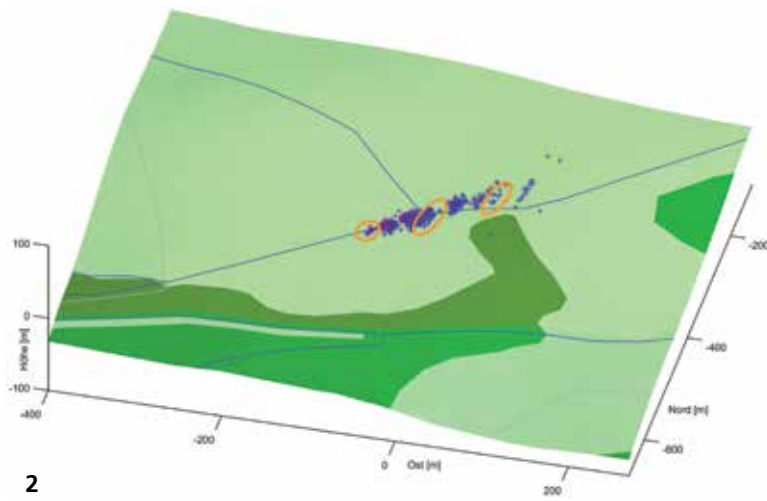
Die Entdeckung bewegter Ziele ist eine Kernaufgabe von Radar. Eventuell liegen aber nicht genügend Messungen vor, um aus diesen eindeutige und hinreichend genaue Aussagen abzuleiten. Dann kann zusätzliches Wissen aus anderen Quellen hilfreich sein. Ein Beispiel dafür ist *Compressed Sensing*.

Seit Jahrzehnten werden Informationen zu Bewegungen am Boden aus luftgestützten Radarmessungen extrahiert (*Ground Moving Target Indication*, GMTI). Diese geben unabhängig von Bewölkung und Tageslicht die Möglichkeit, militärische oder illegale Aktivitäten zu entdecken. Die beobachtete Szene wird allerdings dominiert von Beiträgen nicht bewegter Objekte am Erdboden, die sich mit den Messdaten der Bewegtziele überlagern. Moderne GMTI-Methoden wie STAP (*Space Time Adaptive Processing*) nutzen kurze Folgen von Radarpulsen, sodass Geschwindigkeits- und Positionsänderungen des Ziels keinen Einfluss haben. Auf der anderen Seite benötigt STAP mehrere nebeneinander angeordnete Empfangskanäle sowie zusätzliche Vergleichsdaten aus Gegenden ohne Bewegtziele.

Ein aktives Forschungsfeld in diesem Kontext ist die Nutzung externer Informationen, um die Detektionen zu verbessern, aber auch um nicht gemessene Daten zu ersetzen. Natürlich ist letzteres nur im begrenzten Rahmen möglich, aber notwendig, da Messungen nicht zu allen Zeitpunkten möglich und opportun sind. Eine auf den ersten Blick triviale, aber sehr mächtige Zusatzinformation ist die Beobachtung, dass nur an sehr wenigen – allerdings im Voraus unbekannt – Orten starke, menschengemachte Bewegungen auftreten, während

der Großteil der Szene maximal durch den Wind bewegt wird. Eine solche, als „*sparse*“ bezeichnete Verteilung ist Grundlage von *Compressed Sensing* (CS). Diese relativ neue mathematische Theorie wird zwar immer noch verfeinert und weiterentwickelt, aber mittlerweile zeigt sich, für welche Anwendungen sie einen wirklichen Mehrwert bietet; eine davon ist GMTI. Am Fraunhofer FHR wurde das Potential von CS schon sehr früh erkannt. Daher hat das Institut auch den bisher viermal stattfindenden „*International Workshop on Compressed Sensing Theory and its Applications to Radar, Sonar, and Remote Sensing*“ (CoSeRa) mitinitiiert und -organisiert.

Ein bekannter Nachteil von CS ist seine erhöhte Rechenzeit gegenüber klassischen Verfahren, da es eine Szene erst aus den Messdaten rekonstruiert, bevor sie weiterverarbeitet wird, und nicht, wie klassische Methoden, die Daten filtert, sodass nur die Bewegtziele übrig bleiben. Zwar haben moderne Computersysteme die notwendige Rechenleistung, aber trotzdem ist es hilfreich, die Messdaten in möglichst kleine Teilstücke zu zerlegen und diese einzeln zu verarbeiten. Dafür hat es sich als effektiv erwiesen, analog zum klassischen STAP-Ansatz nur kurze Folgen von Radarpulsen in mehreren Empfangskanälen zu betrachten und diese nach dem Abstand zum Radar aufzuteilen. Aus den Daten kann dann mittels CS ein Diagramm wie in Abb. 1 rekonstruiert werden, das für jede Blickrichtung und Dopplerfrequenz die Streustärke eines entsprechenden Objekts am Boden darstellt. Dabei ist die Dopplerfrequenz proportional zur Entfernungsänderung zwischen dem betrachteten Objekt und dem Radar.



Die schwarze Markierung in Abb. 1 hebt ein „punktförmiges“ Bewegziel hervor. Da sich das Radar selbst bewegt, hat auch jeder unbewegte Ort am Boden relativ zu diesem eine vom Blickwinkel abhängige Geschwindigkeit. Dadurch stellt sich der unbewegte Boden in Abb. 1 als das rot markierte Band dar. Da der CS-Ansatz in seiner ursprünglichen Form nur auf zufällige Verteilungen ausgelegt ist, wurden am Fraunhofer FHR erfolgreich verschiedene Modifikationen erprobt. Erst diese erlauben, trotz der Bandstruktur, eine stabile Rekonstruktion.

Durch die Kenntnis verschiedener Parameter der Messung ist es möglich zu berechnen, wo in Abb. 1 die Beiträge des Bodens rekonstruiert werden. Dementsprechend ist eine gute Trennung zwischen Boden- und Bewegzielanteil bereits möglich, ohne mit statistischen Methoden das Band in der Rekonstruktion finden zu müssen. Die aus allen Entfernungen und Positionen des Radars gesammelten Detektionen von Bewegzielen sind in Abb. 2 in einer Karte eingezeichnet. Gut zu erkennen ist ein Konvoi aus acht Fahrzeugen, der sich entlang einer blau eingezeichneten Straße bewegt. Außerhalb des Konvois gibt es nur sehr wenige Fehlalarme.

Auf der anderen Seite ist es auch möglich, die Bodenanteile der Rekonstruktionen zu sammeln und daraus ein SAR-Bild zu berechnen, wie in Abb. 3 zu sehen. Dieses ist ungestört von Bewegzielen, die ansonsten als helle Flecken das Bild auch außerhalb der Straßen überlagern und so interessante Informationen maskieren würden. Auch ist durch die CS-Verarbeitung der Rauschanteil im Bild reduziert, was eine weitere Auswertung vereinfacht.

- 1** *Beispielhafte CS-Rekonstruktion eines Winkel-Doppler-Diagramms.*
- 2** *Detektionen von acht Bewegzielen, eingetragen in einer Karte. Detektionen des 1., 4. und 7. Ziels sind zur besseren Sichtbarkeit markiert.*
- 3** *SAR-Bild der unbewegten Bodenanteile einer Szene.*

*Dr. rer. nat  
Ludger Prünte  
Tel. +49 228 9435-826  
ludger.prunte@  
fhr.fraunhofer.de*



## PASSIVRADAR-SIGNALVERARBEITUNG ZUR VERFOLGUNG VON ZIELEN IM CLUTTER

Eine große Herausforderung in Passivradarsystemen ist nicht nur die Störung des Überwachungssignals durch das Direktsignal der genutzten Fremdbeleuchter sondern auch durch Bodenechos des gesendeten Signals. Diese Bodenechos können schwache Ziele maskieren und damit ihre Entdeckung und Verfolgung verhindern.

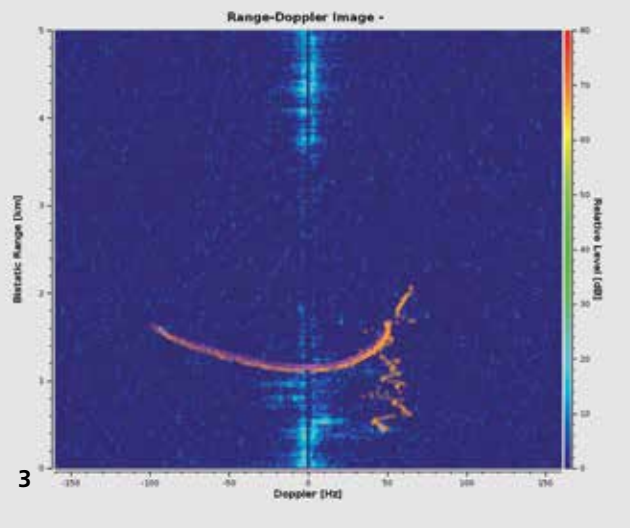
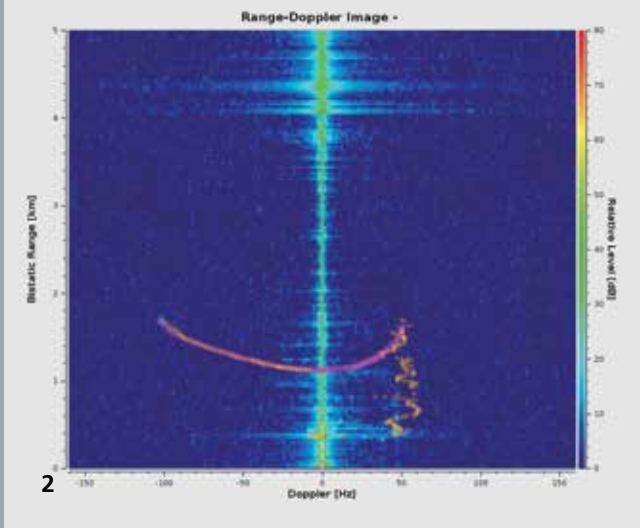
In Passivradarsystemen wird die Anwesenheit von Zielen anhand der Verzögerung zwischen der Ankunft des Direktsignals eines Fremdbeleuchters und des vom Fremdbeleuchter am Ziel reflektierten Signals detektiert. Zur Bestimmung wird das Überwachungssignal sowohl mit dem direkten als auch mit Dopplerverschobenem Referenzsignal korreliert, so dass Ziele in der Range-Doppler-Domäne detektiert und lokalisiert werden können.

Im Allgemeinen enthält das Überwachungssignal nicht nur die Zielreflektionen, sondern auch das Direktsignal des Fremdbeleuchters und dessen Bodenechos, die die Detektion von Zielen stören. Bodenechos weisen kleine Doppler-Modulationen auf – ursächlich können sowohl schwache Schwingungen des Fremdbeleuchters als auch leichte Bewegungen von Bodenstrukturen sein, an denen die Bodenechos entstehen. Diese schwachen Modulationen der Bodenechos führen aufgrund von Korrelations-Nebenkeulen in der Range-Doppler-Domäne zu großen Störungen im Doppler-Bereich. Diese können schwache Ziele maskieren und deren Entdeckung in weiten Teilen der Range-Doppler-Domäne verhindern und damit die Zielverfolgung erschweren.

Die Problematik ist in Abbildung 2 deutlich zu erkennen. Es ist eine Range-Doppler-Karte zu sehen, die mithilfe des FHR Passivradar-Systems ATLANTIS aufgenommen wurde. Die Bodenechos um Null Doppler sind im gesamten Entfernungsbereich vorhanden. Insbesondere in einer Entfernung von 4 km bis 5 km sind Nebenkeulen der Bodenechos erkennbar, die weit in den Doppler-Bereich ragen. Ein kooperatives Ziel, dessen GPS-Spur pink markiert ist, schneidet die Null-Doppler-Linie. Die Zielverfolgung, basierend auf Detektionen des Passivradarsystems, ist gelb markiert. Das Ziel startet mit positiver Doppler-Verschiebung (etwa 50 Hz) und verändert seine Bewegungsrichtung so, dass sich die Doppler-Verschiebung zu negativen Frequenzen ändert (etwa -100 Hz). Zusätzlich ist die Zielverfolgung eines nicht-kooperativen Zieles zu sehen, das sich mit positiver Doppler-Verschiebung annähert. Die Zielverfolgung wird unterbrochen, sobald das kooperative Ziel die Null-Doppler-Linie kreuzt, da dort aufgrund der Bodenechos und ihrer Nebenkeulen keine Entdeckung des Zieles möglich ist. Die Zielverfolgung erfolgt erst wieder wenn das Ziel den Bereich um die Null-Doppler-Linie verlässt.

Es gibt verschiedene Ansätze zur Bodenecho-Unterdrückung; alle basieren auf dem Prinzip der Projektion des Überwachungssignals in einen zum Direktsignal orthogonalen Unterraum. Insbesondere der *Extensive Cancellation Algorithm* (ECA) ist in der Lage Störungen einzelner Bodenechos aus dem Überwachungssignal zu entfernen, indem dieses in einen orthogonalen Unterraum des Bodenechos projiziert wird.

Bei DVB-T-basierten Passivradaren zeigen sich aufgrund der relativ großen Bandbreite frequenzabhängige Effekte, wie



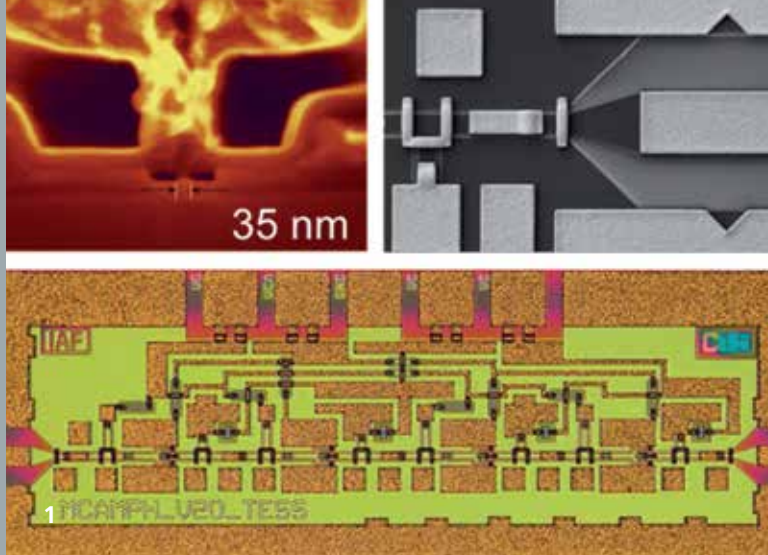
beispielsweise frequenzabhängiges Fading durch Mehrwegeausbreitungen. Um diese Effekte zu berücksichtigen, wurde ein Verfahren entwickelt um die Projektion in der Frequenz-Domäne durchzuführen und so Bodenechos frequenzabhängig zu unterdrücken. Dies erlaubt die Unterdrückung sämtlicher Bodenechos in einem Schritt. Zusätzlich muss die Doppler-Modulation der Bodenechos berücksichtigt werden. Das Ergebnis ist der am Fraunhofer FHR entwickelte ECA-CD-Algorithmus (*ECA by Carrier and Doppler Shift*).

Die Wirksamkeit dieses Algorithmus ist in Abbildung 3 zu sehen. Die Unterdrückung sämtlicher Bodenechos führt nicht nur zu einer Auslöschung dieser nahe der Null-Doppler-Linie – auch die starken Nebenkeulen-Signale verschwinden nahezu vollständig. Dadurch werden die Detektion und die Zielverfolgung bei kleinen Doppler-Verschiebungen wesentlich verbessert. Die Zielverfolgung des kooperativen Ziels wird nun beim Durchlaufen der Null-Doppler-Linie aufrecht gehalten.

- 1 *Experimentelles Passivradarsystem mit linearem Antennen-Array.*
- 2 *Ungefilterte Range-Doppler-Karte.*
- 3 *Range-Doppler-Karte mit Bodenecho-Unterdrückung durch ECA-CD.*



*Dipl.-Phys.  
Christoph Schwark  
Tel. +49 228 9435-79033  
christoph.schwark@  
fhr.fraunhofer.de*



## KOOPERATION MIT DEM FRAUNHOFER IAF – EINE ERFOLGSSTORY

Die Entwicklung der Millimeterwellen-Radartechnik beim Fraunhofer FHR ist eng mit der Chip-Entwicklung beim Fraunhofer IAF verknüpft. Dieses zeigt sich in den vielen Lösungen und Systemen, die durch diese gemeinsame langjährige Zusammenarbeit entstanden sind. Hier werden einige herausragende Beispiele genannt.

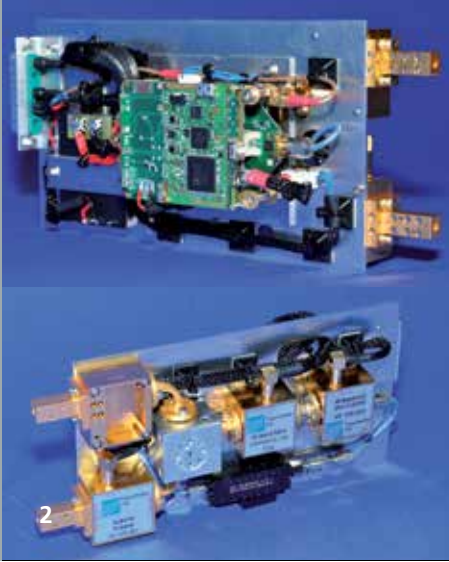
Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg und das Fraunhofer FHR blicken auf eine lange und fruchtbare Zusammenarbeit zurück. Durch diese gemeinsame Arbeit konnten viele innovative Lösungen und zukunftsweisende Systeme entwickelt werden.

Begonnen wurde die Zusammenarbeit 1992 durch die Arbeiten von Dipl.-Ing. Rainer Sommer, bei der Komponenten des IAF in Form von Gunn-Dioden verwendet wurden, um Sendoszillatoren hoher Güte für den Radarbetrieb aufzubauen.

In den Folgejahren wurde am IAF eine Technologie für die Herstellung integrierter Millimeterwellen-Schaltungen entwickelt, die Feldeffekttransistoren mit sehr kleiner Gatelänge bis zu 20 nm auf der Basis des Verbindungshalbleiter-Materialsystems InGaAs/InAlAs verwendet. Mit dieser mHEMT-Technologie können sehr leistungsfähige Empfangs- und Sendekomponenten bis 300 GHz und darüber mit hoher nutzbarer Bandbreite realisiert werden, die sich insbesondere durch extrem geringes Eigenrauschen auszeichnen und damit Empfänger mit höchster Empfindlichkeit ermöglichen.

Unter Nutzung dieser Technologiebasis wurde diese Zusammenarbeit im Bereich der 94 GHz-Technologie bei der gemeinsamen Modernisierung des nichtkohärent arbeitenden Experimental-Radars ERA intensiviert, bei dem die Performanz sukzessive durch Austausch von Komponenten durch IAF-Komponenten wie der Dioden zur Ansteuerung der Senderöhren und der empfangsseitigen LNAs erhöhte wurde. In einem weiteren Schritt wurde das Kohärente Radar KORA ebenfalls durch Umbau der Empfängerstufe verbessert. Diese Entwicklung gipfelte in der gemeinsamen Aufrüstung des Systems MEMPHIS, so dass auch dort die 94 GHz Empfangstechnik verbessert werden konnte. Zudem wurde die Frequenzaufbereitung durch einen vom IAF entwickelten 94 GHz MPA (Medium Power Amplifier) so verbessert, dass durch die höherwertige Phasenstabilität SAR-Messungen von einer fliegenden Plattform wie der Transall durchgeführt werden konnten.

Es folgten die Entwicklungen im Bereich der Radiometrie, sowohl im 94 GHz- wie auch im 210 GHz-Bereich. So wurden Radiometer im Direktempfangsbetrieb entwickelt, die Messungen mit optimaler Rauschzahl ermöglichten. Dieser Betrieb stellte sicher, dass keine aufwendige Signal-Aufbereitung und -Einkopplung eines Lokaloszillators notwendig wurden und zudem, dass die Systeme bei Raumtemperatur betrieben werden können. Mit Hilfe dieser Systeme konnten Personenscans durchgeführt werden und es wurde experimentell nachgewiesen, dass verborgen getragene Objekte durch Millimeterwellen-Systeme detektiert und identifiziert werden können.



In diesem Bereich wurde dann mit Hilfe eines miniaturisierten integrierten Radars, das ebenfalls im 94 GHz Bereich arbeitet, Sicherheitsscanner und Portale aufgebaut, um so Gefährdungen auch beleuchtungsunabhängig bewerten zu können.

Das dort verwendete Radar wurde ebenfalls für den Einsatz bei der Landung von Helikoptern bei schlechten Sichtverhältnissen genutzt. In dem Projekt Sensorgestützte Landehilfe (SELA) wurde dieser Sensor in ein Gesamtsystem integriert. Dieser wird heute in Helikoptern vom Typ CH53 der Bundeswehr betrieben.

Für die Nutzung der Frequenzbereiche bei 94 GHz und 220 GHz im Bereich der SAR-Bildgebung wurden die Systeme KOBRA, SUMATRA und MIRANDA entwickelt. Schwerpunkt hier war die gemeinsame Miniaturisierung der Systeme bei gleichzeitiger hoher möglicher Messentfernung und extrem hoher Phasenstabilität sowie Linearität. Nur dieses gemeinsame Vorgehen ermöglicht den Flugbetrieb dieser Systeme an kleinen Fluggeräten wie einem Modellflugzeug, einem ferngesteuerten Helikopter und in Ultraleicht- und Kleinstflugzeugen.

Die gemeinsamen Arbeiten gipfelten in der Entwicklung des MIRANDA 300 GHz Radar-Sensors, der eine Mittenfrequenz von 290 GHz besitzt und mit einer Hochfrequenzbandbreite von 44 GHz aufwarten kann, so dass Entfernungsauflösungen von 3 mm möglich sind, die auch in ISAR- und SAR-Messungen nachgewiesen werden konnten. Hier werden SAR-Abbildungen mit nahezu optischer Qualität erzeugt, allerdings mit allen Vorteilen der Millimeterwellen-Technik, wie zum Beispiel der möglichen Durchdringung von Gewebestoffen sowie Dunst, Rauch und Nebel.

Auch in Zukunft wird im Rahmen dieser engen Zusammenarbeit weiterhin an weltweit herausragenden wissenschaftlichen Leistungen gearbeitet. Nur so lassen sich kontinuierlich national immer leistungsfähigere höchstfrequente Systeme entwickeln und aufbauen.

**1** Am IAF hergestellter ultra-breitbandiger Verstärker mit über 20 dB Verstärkung von 220 – 325 GHz.

**2** Bei Fraunhofer FHR entwickeltes 300 GHz FMCW-Radar mit einer Auflösung von 5 mm.

**3** Das Millimeterwellen-Radar MEMPHIS, dessen Performanz durch IAF-Komponenten optimiert wurde.



*Dr. rer. nat.*  
**Stephan Stanko**  
 Tel. +49 2642 932-704  
 stephan.stanko@  
 fhr.fraunhofer.de

*Dr.*  
**Michael Schlechtweg**  
 Tel. +49 761 5159-534  
 michael.schlechtweg@  
 iaf.fraunhofer.de



## LANGZEITANALYSE DES EIGENBEWEGUNGS- VERHALTENS DES HAVARIERTEN SATELLITEN ENVISAT

Der europäische Umweltsatellit ENVISAT fliegt seit April 2012 manövrierunfähig im Weltall. Mit am Fraunhofer FHR entwickelten Methoden kann seine Rotation ermittelt werden, um zukünftige ESA-Missionen zum kontrollierten Wiedereintritt des Satelliten in die Erdatmosphäre zu unterstützen.

ENVISAT, dargestellt in Abb. 1, ist eines der größten Raumfahrzeuge, die von der ESA gestartet wurden. Der Erdbeobachtungssatellit fliegt in einer erdnahen Umlaufbahn in 767 km Höhe und damit in einer Orbitregion mit einer hohen Populationsdichte an Objekten. Die Gefahr von Zusammenstößen von ENVISAT mit anderen Objekten ist wegen der hohen Dichte stets gegeben.

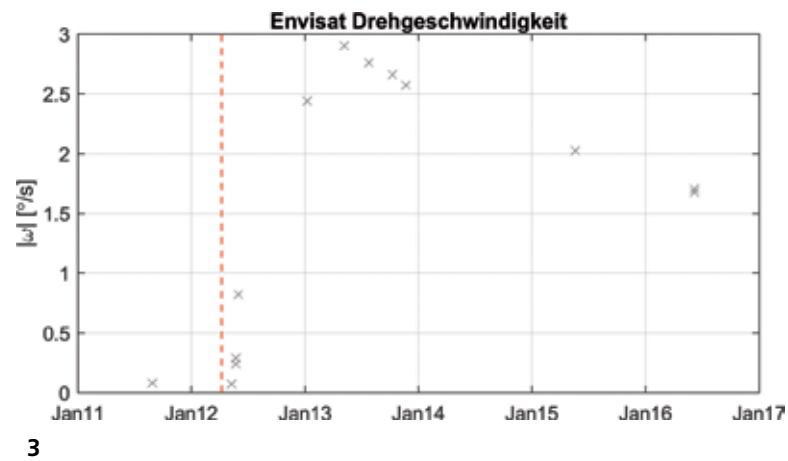
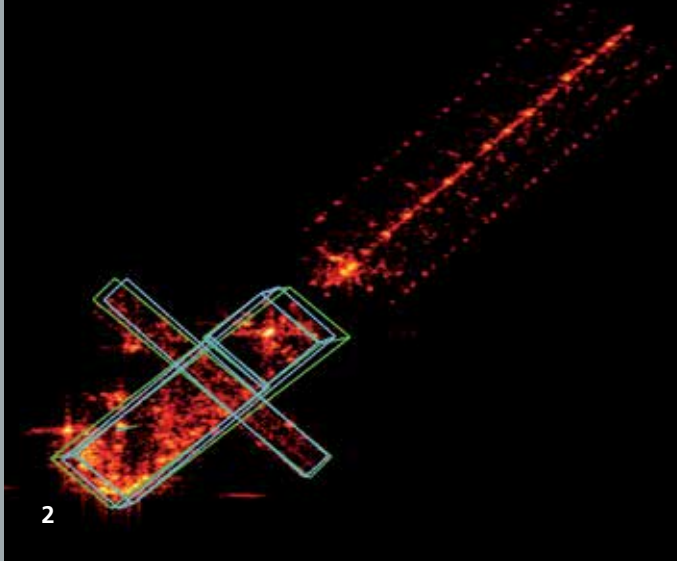
Der Kontakt zu ENVISAT ging im April 2012 verloren. Seitdem fliegt der Satellit unkontrolliert und stellt damit eine Gefahr für aktive Satelliten dar, kann aber auch bei Zusammenstößen mit anderen Objekten erheblich zur Entstehung neuer Trümmerteile beitragen. Die ESA untersucht zurzeit Lösungen, um ENVISAT auf eine tiefere Umlaufbahn zu ziehen, so dass er anschließend schneller in der Erdatmosphäre verglühen kann. Für solche Deorbiting-Missionen ist es allerdings essentiell, die Eigendrehbewegung des Satelliten zu bestimmen, da davon unter anderem abhängt, mit welcher Methode der Satellit eingefangen werden kann. Radar bietet hier mittels ISAR Bildgebung die Möglichkeit, Weltraumobjekte hochaufgelöst abzubilden. Radar bietet im Gegensatz zu optischen

Systemen neben der Wetterunabhängigkeit und des Tag- und Nachteinsatzes den Vorteil, dass die Auflösung nicht von der Entfernung des Objekts zum Radar abhängig ist. Weiterhin lässt sich hiermit sowohl die Drehgeschwindigkeit von schnell rotierenden Objekten, wie ENVISAT, als auch von langsam rotierenden Objekten bestimmen, die weniger als eine ganze Umdrehung pro Passage ausführen. Die mit TIRA aufgenommenen Radar-Rohdaten von ENVISAT werden mit den in den letzten Jahren am Fraunhofer FHR entwickelten Methoden prozessiert und ausgewertet.

### Drehgeschwindigkeit mittels Drahtgittermodellen

Hochaufgelöste Radarbilder werden erzeugt, indem die relative Drehung des Objekts zum stationären Radar genutzt wird. Dabei wird das Objekt von verschiedenen Betrachtungswinkeln beleuchtet. Die Schwierigkeit bei dieser Art von Bildgewinnung ist, dass die Querskalierung im Radarbild von der Drehgeschwindigkeit abhängt, die aber selbst aus den Daten gewonnen werden soll. Am Fraunhofer FHR werden für die Bewältigung dieser Problematik Drahtgittermodelle der Objekte verwendet, um die Querskalierung richtig zu schätzen. Dazu werden an verschiedene Bilder einer Passage manuell Drahtgittermodelle angepasst. Aus der zeitlichen Entwicklung mehrerer Drahtgittermodelle über eine Passage lässt sich anschließend die Drehgeschwindigkeit des Objekts abschätzen. Ein Beispiel ist in Abb. 2 dargestellt. Man erkennt den Hauptkörper des Satelliten mit SAR-Antenne sowie das Solarpanel. Eingebledet ist das manuell angepasste





Drahtgittermodell des Hauptkörpers (blau) sowie das mit dem geschätzten Rotationsvektor ausgerichtete Modell (grün).

### Langzeitbeobachtungen der Eigendrehbewegung

Für die Analyse der langzeitlichen Entwicklung der Eigenbewegung wurden Beobachtungen aus dem Zeitraum von 2011 (bereits kurz vor dem Abbruch des Kontakts) bis 2016 herangezogen. Die Eigendrehgeschwindigkeit ist in Abhängigkeit von der Zeit in Abb. 3 dargestellt. Vor dem Kontaktabriss rotierte ENVISAT relativ langsam mit ca.  $0.07^{\circ}/s$ , was etwa einer Umdrehung pro Umlauf entspricht. Kurz nach dem Verlust des Kontakts am 8. April 2012 (rote Linie) erkennt man einen Anstieg der Eigendrehbewegung auf fast  $3^{\circ}/s$ , was etwa 45 Umdrehungen pro Umlauf entspricht. Dieser Anstieg der Eigendrehgeschwindigkeit deutet eher auf einen Ausfall der Satellitenstabilisierung hin und weniger auf einen Zusammenstoß mit anderen Objekten, da die Zunahme graduell erfolgte und nicht plötzlich. Seit Mitte 2013 ist eine Verlangsamung der Drehgeschwindigkeit zu beobachten. Die Drehgeschwindigkeit liegt Ende 2016 bei ca.  $1.6^{\circ}/s$ . Die Abnahme der Drehgeschwindigkeit ist wahrscheinlich hauptsächlich auf den abbremsenden Einfluss des Erdmagnetfelds zurückzuführen.

Die am Fraunhofer FHR entwickelten Methoden zur bildgestützten Aufklärung können zum einen zur Untersuchung von äußeren Beschädigungen von Satelliten und zum anderen zur Bestimmung ihrer Ausrichtung und Eigendrehbewegung und deren langzeitlicher Entwicklung eingesetzt werden.

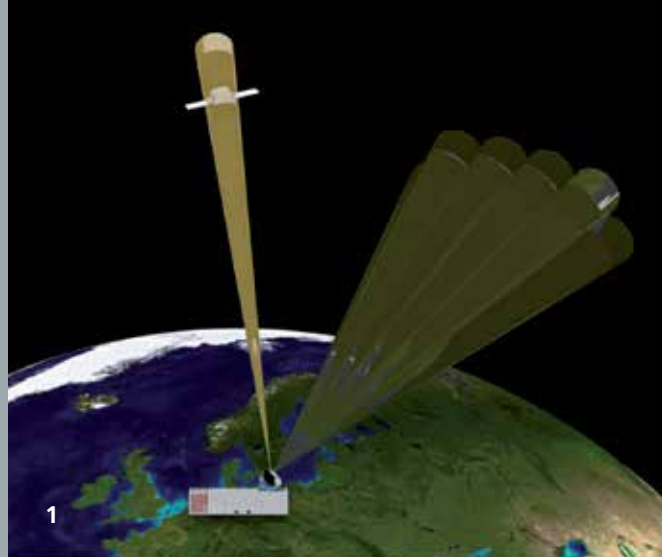
1 Künstlerische Darstellung des Umweltsatelliten ENVISAT.

2 ISAR Bild von ENVISAT, überlagert mit Drahtgittermodellen. Blau: manuell, grün: berechnet.

3 Verlauf der Drehgeschwindigkeit von ENVISAT über die Zeit.

M. Sc.  
Svenja Sommer  
Tel. +49 228 9435-222  
svenja.sommer@  
fhr.fraunhofer.de

Dr.-Ing.  
Jens Rosebrock  
Tel. +49 228 9435-254  
jens.rosebrock@  
fhr.fraunhofer.de



## WELTRAUMÜBERWACHUNG MIT GESTRA

Die hohe Abhängigkeit der Gesellschaft von der raumgetragenen Infrastruktur erfordert eine lückenlose operationelle radargestützte Weltraumüberwachung. Als ersten Baustein zu der dazu notwendigen Sensorsuite beauftragte das Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt das Fraunhofer FHR mit der Entwicklung, dem Aufbau und dem Test eines leistungsfähigen Phased Array-Radars hoher Reichweite. Dieser als wissenschaftlicher Demonstrator konzipierte Sensor bildet die Basis für zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen im Rahmen der Kooperationen beteiligter Institutionen.

### Forderungen an den Radarsensor

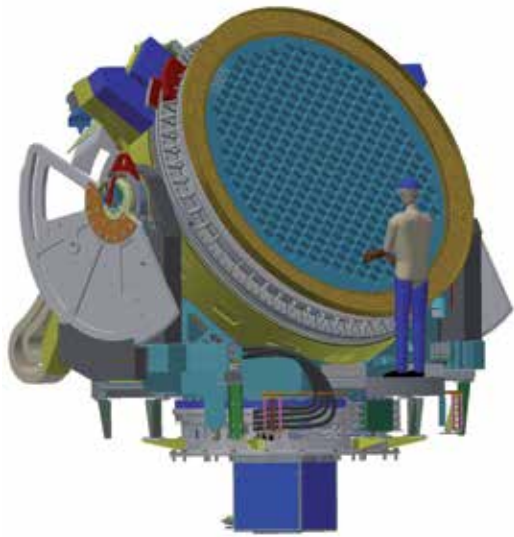
Die Überwachung des niedrigen Erdorbits bis zu 3.000 km Bahnhöhe mit dem Ziel der Detektion aller Objekte und Trümmerteile mit möglichst niedrigem Radarquerschnitt lässt sich nur mit einem Phased Array-basierten Radarsystem höchster Leistungsfähigkeit realisieren. Detektierte Objekte werden in einem *Track-while-Scan-Mode* mit speziellen Track-Beams verfolgt, um anhand der erzeugten sogenannten Tracklets Basisinformationen für die Beschreibung der jeweiligen Bahn zu generieren (siehe Abbildung 1). Damit kein detektierbares Objekt im Beobachtungsvolumen unentdeckt bleibt, bedarf es einer fein optimierten Strategie aus Wahl der Wellen- und Keulenformen kombiniert mit der Ausrichtung der Sende- und Empfangskeulen in Abhängigkeit der zeitlichen Randbedingungen, die sich aus den hohen Geschwindigkeiten der Trümmerteile ergeben.

Der Radarsensor soll für einen experimentellen Betrieb von mindestens 12 Jahren ausgelegt werden und nach entsprechenden Produktsicherungsanforderungen des Auftraggebers konzipiert, entwickelt und aufgebaut werden. Da der Aufstellungsort des Radars mit Hinblick auf zukünftige Systemerweiterungsmöglichkeiten flexibel sein soll, ist ein teilmobiler Aufbau des Sensors gefordert.

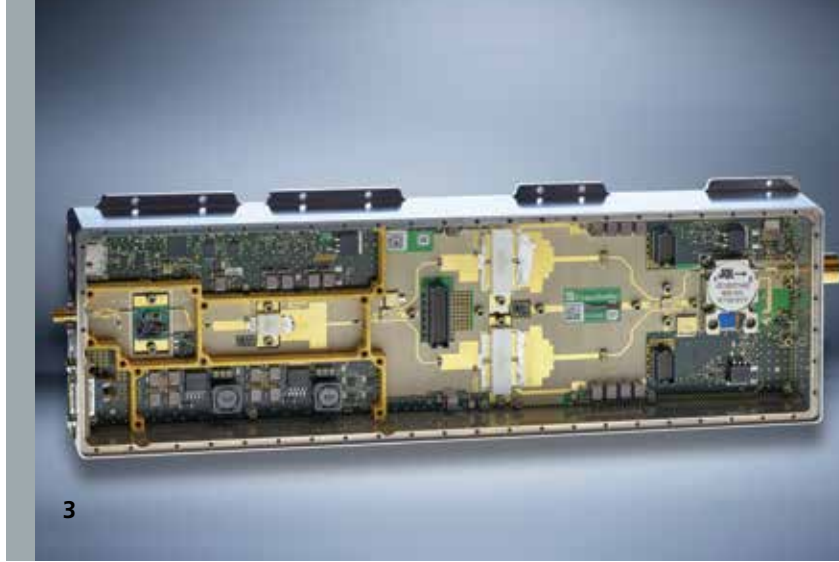
### Realisierung des GESTRA-Systems am Fraunhofer FHR

Aus Gründen der hohen Sendeleistung wird das System quasi-monostatisch ausgelegt, d. h. das Sendesystem und das Empfangssystem werden jeweils in einen eigenen Container mit 18 x 4 x 4 m<sup>3</sup> Größe integriert und in einem Abstand von ca. 100 m aufgestellt. Um über den elektronischen Keulen-Schwenkbereich hinaus für bestimmte Modi besondere Überwachungsbereiche auswählen zu können, werden beide planaren Phased Array-Antennen auf 3-Achsen-Positionierern mit großem Drehwinkelbereich montiert (siehe Abb. 2). Zu Wartungs- und Transportzwecken erlaubt ein Schwerlast-Schwenktisch das Verfahren der 24 Tonnen schweren Antennen/Positioniereinheit aus dem Inneren heraus in die operationelle Position oberhalb des Containers. Speziell angefertigte Radome mit niedrigster Einfügedämpfung bilden den Wetterschutz für diese Antennen.

Beide Antennenaperturen bestehen aus 256 aktiven *Cavity-backed stacked-Patch*antennen in kreisförmiger Anordnung, wobei die Sendeeinzelstrahler mit linearer Polarisation angeregt werden und die Empfangseinzelemente mit doppelter Polarisation ausgeführt sind. Die Antennenplatten tragen auf der Rückseite die den Einzelementen zugeordneten Sendemodule bzw. die Empfangsmodule, angeordnet auf sogenannten



2



3

Planks. Diese Subeinheiten bestehend aus 3 bzw. 4 Modulen, den zugehörigen Steuereinheiten und den dezentralen Stromversorgungseinheiten erlauben eine vereinfachte Wartung des Antennenfrontends. Die Planks werden durch übergroße Backplane-Platinen mit elektrischer Energie und Steuersignalen gespeist (siehe Demonstrator des Antennenviertels in Abb 4).

Für das Sendesystem wurden gepulste Sendemodule mit einer hohen Pulsleistung und einem an die Wellenformen angepassten Pulspausenverhältnis entwickelt (siehe Abb. 3). Die verfügbare Bandbreite übersteigt 100 MHz im L-Band unter Einhaltung der ITU-Forderungen bzgl. Außenbandabstrahlung. Die notwendige Flüssigkeitskühlung der Module erfolgt über ein Wasserverteilnetzwerk, welches sowohl in den einzelnen Plankplatten als auch in der Antennenplatte mit drei Meter Durchmesser integriert ist. Hochleistungskondensatoreinheiten auf den Sendepanks ermöglichen die notwendige Energiespeicherung zur Abstrahlung der langen Sendepulse. Die resultierende hohe Gesamtkühlleistung im Container wird in einem auf Basis zweier leistungsfähiger Kompressoren entwickelten Kaltwassersatzes innerhalb des Primärkühlkreislaufes umgesetzt und mittels Lüftereinheiten an die Außenumgebung überführt. Ein zusätzlicher ölfreier Kompressor durchspült alle 32 dezentralen 8kW-DC/DC-Wandler von 700 V auf 51 V in der Antenne mit Kühlluft. Die Versorgung des Positionierer/Antennenfrontends mit den notwendigen ca. 92 Wasserschlauch-, Hochleistungskabel-, Druckluft-, Hochfrequenz- und Steuerleitungsverbindungen erfolgt über eine Energiekette, welche in den Positionierer integriert wird und die weitwinklige mechanische Azimut-, Elevations- und Polarisationsdrehung der Antenne erst ermöglicht.

Das Empfangssystem verfügt über eine identische Flüssigkeitskühlung, um eine niedrige Rauschzahl des Systems unabhängig von den Umgebungstemperaturen zu gewährleisten. Es beruht auf dem „Software Defined Radio“-Prinzip mit Abtastung des Empfangssignals an jedem Element auf der Trägerfrequenzebene. Das zugehörige Empfangsmodul (siehe Abb. 5) enthält zwei identische analoge Mikrowellenvorverstärkungspfade mit einstellbarer Verstärkung und Filtermittenfrequenz. Der Doppelkanal-A/D-Wandler mit 12 Bit führt die digitalisierten Empfangssignale der beiden Polarisierungen dem zentralen FPGA zu. Die hierin implementierte programmierbare Firmware erlaubt die digitale Abwärtsmischung, Basisbandfilterung und erste Beamforming-Bewertungsstufe. Auf diese Weise ist die Betriebsfrequenz des Radars flexibel programmierbar. Die optischen digitalen Ausgänge aller 256 Empfangssignale werden innerhalb einer Beamformerplatine zusammengefasst und ergeben die in Form und Richtung frei programmierbaren Empfangsdiagramme der Empfangsantenne. Nur durch diese digitale Mehrfachkeulenbildung in Kombination mit einer künstlichen Sendekeulenaufweitung lassen sich die zeitlichen Forderungen der Raumüberwachung in vorgegebenem Volumen erfüllen. Um die Detektionsleistung des Radarsystems über die mit Sendeleistung und Rauschzahl definierten Grundparameter hinaus zu erhöhen, erfolgt

- 1 Keulenabfolge im Track-While-Scan-Mode.
- 2 Engineering-Modell der Phased Array Antenne mit Positionierer und Interfacebox.
- 3 Hochleistungs-Sendemodul.





eine S/N-steigernde Signalverarbeitung mehrerer empfangener Radarpulse. Die hierzu notwendige aufwendige Signalalgorithmik wird in einem leistungsstarken Parallelrechnersystem, dem sogenannten Radarprozessor, mit 40 kW Verlustleistung implementiert.

Der zukünftige Betrieb des GESTRA-Systems mittels Fernbedienung aus dem Weltraumlagezentrum heraus erfordert eine ständige Überwachung aller systemrelevanten Subsysteme und Prozesse sowie aller Komponentenzustände. Mehr als 2.000 Sensoren überwachen Temperaturen, Luftfeuchtigkeit, Luft- und Wasserdruck, Kühlflüssigkeitsdurchflüsse und Ströme in beiden Containern, um jederzeit einen sicheren Radarbetrieb garantieren zu können, bzw. rechtzeitig abzuschalten. Einschließlich der gesamten Betriebsinfrastruktur belaufen sich die Gewichte der beiden Container auf jeweils ca. 90 Tonnen.

Die Absicht, das System langfristig einzusetzen, erklären die detaillierten Vorgaben des Auftraggebers DLR-RFM hinsichtlich Einhaltung dezidierter Standards bezüglich Produktsicherung und Qualitätsmanagement, Dokumentation und Verifikation, welche aus den ECSS-Standards der europäischen Raumfahrtagenturen abgeleitet wurden.

## Ausblick

Im November 2016 absolvierte das Fraunhofer FHR erfolgreich das Critical Design Review des GESTRA-Systems. Folglich können nun alle beschriebenen Subsysteme realisiert werden und die zugehörigen Firmware-Fassungen und Algorithmen optimiert werden. Im März 2017 beginnt die Integration der Subsysteme in die beiden Container mit anschließender Verifikation aller Monitoring- und Steuerungsaufgaben. Die Übergabe des Radarsystems an das Weltraumlagezentrum in Uedem ist im Jahr 2018 vorgesehen.

**4** Rückseite des Antennenviertels mit übergroßer Backplane-Platine.

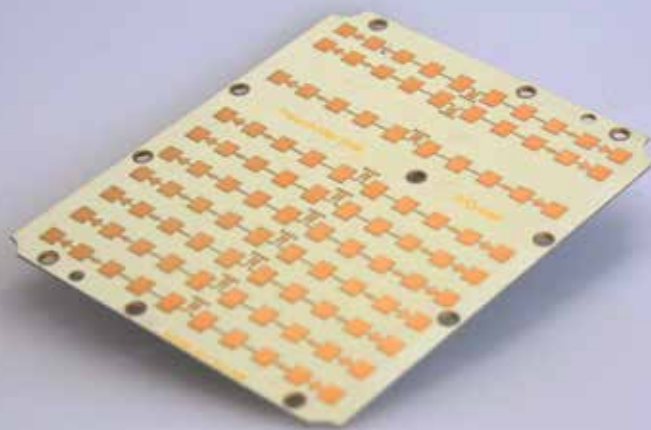
**5** Digitales Empfangsmodul für zwei Polarisierungen.

**6** Antennenviertel (Vorderseite) mit Cavity-Backed-Stacked-Patch-Elementen.



Dipl.-Ing.  
Helmut Wilden  
Tel. +49 228 9435-316  
helmut.wilden@  
fhr.fraunhofer.de

1



## ANTENNENENTWICKLUNG FÜR DEN AUTOMOBILBEREICH

In modernen Personen- und Lastkraftwagen wird heutzutage eine große Anzahl von Systemen verbaut, deren Funktion ohne die Verwendung einer geeigneten Antenne nicht gegeben wäre. Diese Systeme dienen der Kommunikation, der Datenübertragung, der Navigation, der Fernerkundung und letztendlich dem Radio- und Fernsehempfang. Das FHR unterstützt seit geraumer Zeit verschiedene deutsche Industrieunternehmen bei der Entwicklung solcher Antennen und der dazugehörigen Hochfrequenzschaltungen.

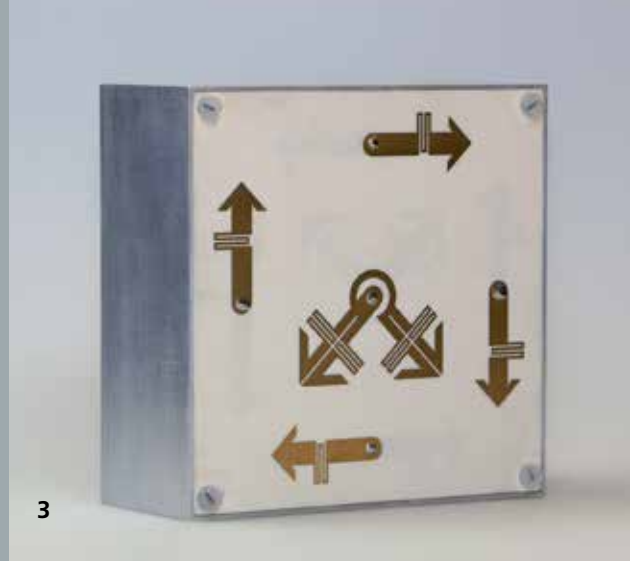
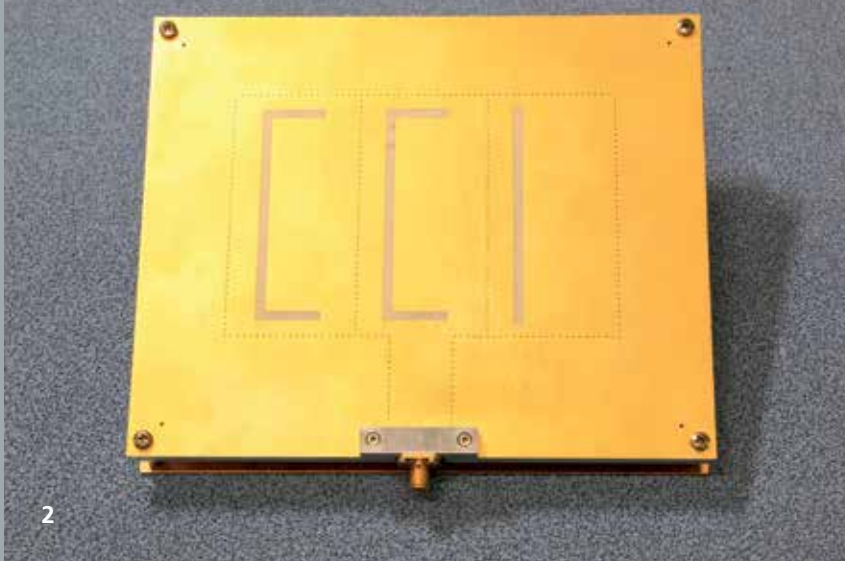
Traditionsgemäß stellen Radaranwendungen für das Fraunhofer FHR den wichtigsten Anwendungsbereich dar. So unterstützen die Wissenschaftler bereits seit vielen Jahren einen großen deutschen Automobilzulieferer bei der Entwicklung immer neuer Generationen von Automotive-Radargeräten, die im ISM-Band bei 24 GHz arbeiten (Abb. 1). Diese Geräte sind für eine extrem große Stückzahl konzipiert und müssen dementsprechend kostengünstig in der Herstellung sein, was für den Entwurfsprozess eine besondere Herausforderung darstellt. Hier ist eine große Robustheit gegenüber Herstellungs-, Material- und Montagetoleranzen gefragt. Der millionenfache Einsatz in über vierzig Fahrzeugmodellen spricht für sich.

In der nahen Zukunft werden sich die Wissenschaftler des Instituts aber auch mit Automotive-Radaren bei höheren Frequenzen auseinandersetzen: Die Antennenentwicklung für den Frequenzbereich um 77 GHz hält neue Herausforderun-

gen bereit. Hier sollen neue Materialien und Herstellungstechnologien untersucht werden.

DSRC ist eine Akronym für „*Dedicated Short-Range Communication*“ und wurde in Europa als Norm für Mauterhebung und Zugangskontrolle implementiert. Zum Zweck der elektronischen Mauterhebung findet der Datenaustausch zwischen Mautstation und im Fahrzeug verbautem Transpondersystem mit Hilfe solcher Antennen statt. Für ein Unternehmen, welches unter anderem Messfahrzeuge zur Kontrolle von Mautsystemen ausstattet, entwickelt das Fraunhofer FHR derzeit eine DSRC-Antenne, die deutlich kostengünstiger in der Herstellung sein wird, als die typischen Antennen für diesen Anwendungsfall bisher.

Antennen mit sehr großer Bandbreite eignen sich für sog. „*Ultra Wide Band*“-Anwendungen. UWB ist eine Technologie, um große Datenmengen mit kurzen, breitbandigen Pulsen geringer Leistung über kurze Entfernungen zu übertragen. Diese Technologie eignet sich auch, um z. B. Entfernungen, Positionen, Schichtdicken oder Materialeigenschaften zu vermessen. Im Automotive-Umfeld kommt UWB in Anwendungsbereichen wie der in-car-Kommunikation, der Positionsbestimmung, der Messung von Reifendruck und Reifenprofil oder der passagierabhängigen Einstellung der Mensch-/Maschine-Schnittstelle des Fahrzeugs zum Einsatz. Die Wissenschaftler des Fraunhofer FHR entwickeln die entsprechenden anwendungsspezifischen UWB-Antennen für automobiler Zulieferunternehmen unter Berücksichtigung des direkten Antennenumsfelds. Hier stellen Platzbedarf, Herstellbarkeit, Kosten und die parasitäre Interaktion mit anderen Komponenten besondere Herausforderungen dar.



Das Erscheinungsbild eines Automobils nimmt bei der Entwicklung eines neuen Modells einen sehr hohen Stellenwert ein und viele Systeme müssen sich entsprechend unterordnen. Dies gilt natürlich auch für sämtliche Antennen. Das Fraunhofer FHR verfügt über umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet der konformen und strukturintegrierten Antennen. So wurde kürzlich eine komplementäre Yagi-Uda-Antenne entwickelt, die gerichtet mit vertikaler Polarisation entlang einer metallischen Oberfläche abstrahlt. Dabei ist die Antenne formschlüssig in die Oberfläche integriert ohne aus dieser herauszuragen (Abb. 3).

Navigationssysteme basierend auf z. B. dem *Global Positioning System* (GPS) sind mittlerweile Standard im Automotive-Bereich. Mit entsprechenden Antennen beschäftigt sich das Fraunhofer FHR bereits seit vielen Jahren. Hier standen hauptsächlich miniaturisierte Gruppenantennen im Fokus, mit denen sich Störsignale und Mehrwegeausbreitungseffekte wirksam unterdrücken lassen (Abb. 2). Die Metamaterialtechnologie hat in diesem Zusammenhang zu diversen innovativen Lösungen geführt.

**1** Antenne für 24 GHz Automotive-Radar.

**2** Kompakte GPS-Gruppenantenne zur effizienten Unterdrückung von Störsignalen und Mehrwegeausbreitungseffekten.

**3** Strukturintegrierte Antenne mit gerichteter, oberflächennaher Abstrahlung.



*Dr.-Ing.*

*Thomas Bertuch*

*Tel. +49 2642 932-561*

*thomas.bertuch@*

*fhr.fraunhofer.de*

## KOGNITIVES AUTOMOBILRADAR

Radare werden immer kleiner und günstiger und ihre softwaregesteuerte Sensorik ermöglicht völlig neue Sensing-Strategien und Signalprozessierungs-Algorithmen, die adaptiv sind und aus Erfahrung lernen können. Damit können sie moderne Fahrerassistenz-Systeme revolutionieren und mit anderen Sensoren den Weg für das autonome Fahren ebnen.

Die Schaltungstechnik für Millimeterwellen-Radare hat in jüngster Zeit mit der Entwicklung von Halbleiter-Oszillatoren und -Amplifiern, effizienteren Schaltungen zwischen Übertragungs- und Empfangsmodi sowie digitalen Wellenform-Generatoren große Fortschritte gemacht. Grundlegende Funktionen wie das Mischen, Filtern und Modulieren sind damit nicht mehr wie bisher stark von der Hardware abhängig, sondern können von Softwaremodulen kontrolliert werden. Das ermöglicht kompakte und günstige Multikanal-Radarsysteme mit enormer Vielseitigkeit und Rekonfigurierbarkeit. Diese Vorteile begünstigen das Design von Signalerzeugungs- und Prozessierungsalgorithmen, die eine steigende Zahl an Freiheitsgraden ermöglichen, um den Radarbetrieb „on the fly“ zu optimieren. Vielversprechend sind die softwaregesteuerten low-cost Radarsysteme vor allem für Automotive-Anwendungen, wo die Anpassungsfähigkeit des Radars hinsichtlich Bandbreite, Messzeiten oder Kanalzuweisung entscheidend für die zuverlässige Informationsgewinnung aus der jeweiligen Umgebung ist.

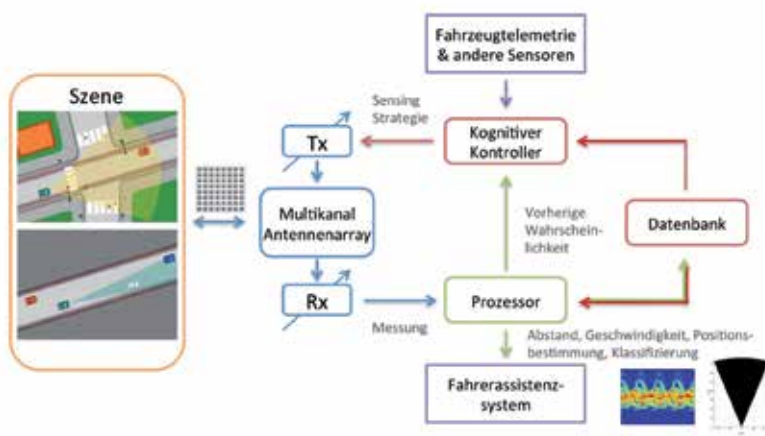
Automotive-Radare müssen sich an unterschiedliche Szenarien anpassen können. So ist z. B. der Verkehr in der Stadt geprägt von einer hohen Zieldichte und –Vielfältigkeit, die trotz sehr

heterogenem Hintergrund zuverlässig erkannt werden muss. Auf der Autobahn bestehen die Herausforderungen dagegen Ziele mit hoher Geschwindigkeit und in großer Entfernung zu erfassen. Fahrerassistenzsysteme sollen hier flexibel diverse Aufgaben wie aktive Geschwindigkeitsregelung, Spurhalteassistenten oder Fußgängerdetektion erfüllen. Das setzt eine hohe Schätzgenauigkeit von Abständen und Entfernungen, der relativen Geschwindigkeit und der Winkelposition sowie die Auflösung mehrerer unterschiedlicher Ziele in der relevanten Umgebung voraus.

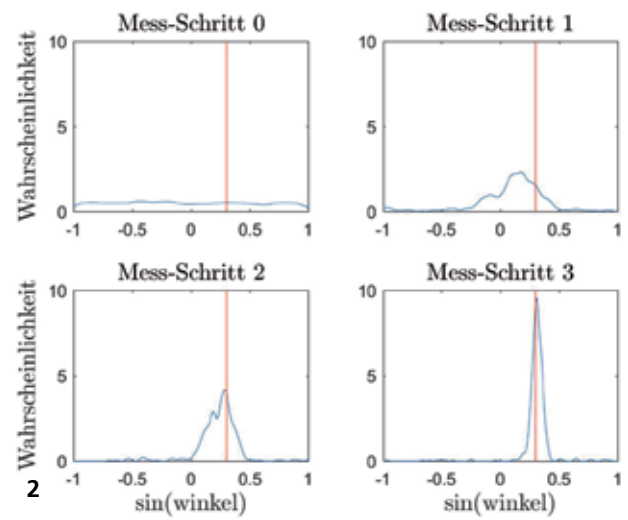
Diesen Herausforderungen stellt sich die Arbeitsgruppe „Adaptive Wahrnehmung“. Sie arbeitet für Ihre Kunden und Partner aus der Automobilindustrie am Arraydesign für Multikanal-Systeme und an neuartigen digitalen Strahlformungsverfahren. Ihr Ziel ist es, die räumliche Auflösung so zu verbessern, dass auch solche Ziele zuverlässig erkannt und unterschieden werden können, die sich in selber Entfernung und mit selber Geschwindigkeit bewegen. Darüber hinaus erforschen sie Radarsysteme, die ihre Sensing- und Processing-Abläufe adaptiv anpassen können, um deren Performance auch über die Zeit zu steigern.

Das kognitive Radar tastet seine Umgebung adaptiv ab. Dabei passt es seine Parameter an, indem es auf Informationen aus vorherigen Messungen, wie die Anzahl der Ziele, ihre Parameter, das Rauschniveau und die Clutter-Verteilung, sowie auf Wissen aus anderen Quellen, wie weiteren Sensoren oder kartografischen Datenbanken, zurückgreift. Der Aufbau eines kognitiven Systems besteht in der Regel aus vier Elementen (Abb. 1): der beleuchteten Szene, dem Sensor, einem Prozessor, der durch die Verarbeitung der Rohdaten und Schätzung der Szenen-Parameter die Wahrnehmung der Szene erzeugt,





1



2

und einem kognitiven Controller. Dieser optimiert dynamisch die operativen Parameter des Systems und weist die Ressourcen für die nächste Messung zu.

Eine Herausforderung für die räumliche Auflösung ist das Übertragen und Empfangen der Kanalauswahl für die Positionsbestimmung. Anders als bei der Abstands- und Geschwindigkeitsbestimmung, bei der Bandbreite, Messzeit und -anzahl entscheidend sind, um nahegelegene Ziele auflösen zu können, hängt die Genauigkeit der Winkelschätzung von der Länge des Antennenarrays ab. Je länger, also je mehr Antennenelemente, desto genauer wird sie. Diese Elemente müssten aber adäquat verteilt sein, um Abtaststörungen (Aliasing) zu verhindern, und würden zusätzliche Tx- und Rx-Module mit großen Mengen an zu prozessierenden Daten benötigen, was deutlich höhere Systemkosten zur Folge hätte. Deshalb entwickeln die Fraunhofer FHR-Wissenschaftler neue *Compressed Sensing* Algorithmen, die Informationen auch aus dünn besetzten Antennenarrays ermitteln können und bereits supraauflösende Eigenschaften bewiesen haben.

Der aktuelle Fokus liegt darüber hinaus auf der adaptiven Auswahl der Empfangskanäle und Transmitter-Aktivierungs-Sequenzen in einem Zeit-Multiplexverfahren, das den kosteneffizienten *Multiple Input-Multiple Output* (MIMO)-Betrieb ermöglicht. Informationen aus vorherigen Messungen werden dazu mit einem Baesschen Filter sequentiell in die wahrscheinliche Verteilung der Winkelposition einbezogen. Mit komplexen statistischen Metriken zur Optimierung der Kanalauswahl für die nächste Messung erreichen die Forscher so eine sehr schnelle Annäherung an den aktuellen Wert der Winkelposition (Abb. 2).

In einem nächsten Schritt sollen Initialexperimente zu kognitivem MIMO durchgeführt und die neu entwickelten Algorithmen um die Fähigkeit erweitert werden, vorher festgelegte Messstrategien zu entwickeln und einzusetzen, was vor allem in Szenarien nützlich ist, die eine Vorausschau oder Prognose erfordern. Die Arbeitsgruppe unterstützt mit ihren Lösungen so Unternehmen dabei, die einzigartigen Sensoreigenschaften von Radar für das effizientere und sicherere Fahren voll auszuschöpfen.

1 *Architektur eines kognitiven Fahrzeugradars, das Feedback vorangegangener Messungen und externe Quellen für eine adaptive, optimale Ausleuchtung der Szene nutzt.*

2 *Adaptive Kanalauswahl für die Positionsbestimmung: Mit ausgeklügelten Metriken errechnet der Prozessor aus den Messdaten die Wahrscheinlichkeit der Parameterverteilung (blau) und erreicht in nur wenigen Schritten Werte, die sich nahe dem tatsächlichen Parameterwert (rot) konzentrieren.*



Dr. rer. nat.  
 María A. González-Huici  
 Tel. +49 228 9435-708  
 maria.gonzalez@  
 fhr.fraunhofer.de



## LUFTGESTÜTZTE SENSORIK FÜR DIE HYDROLOGIE

Gemeinsam mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde hat das AMLS eine Befliegung an der Elbe in Hamburg durchgeführt. Ziel war es, die Wasseroberflächentemperatur im Tagesverlauf zu messen. Neben der Messmethode waren die Größe des Areals und die Nähe zu zwei Großflughäfen echte Herausforderungen.

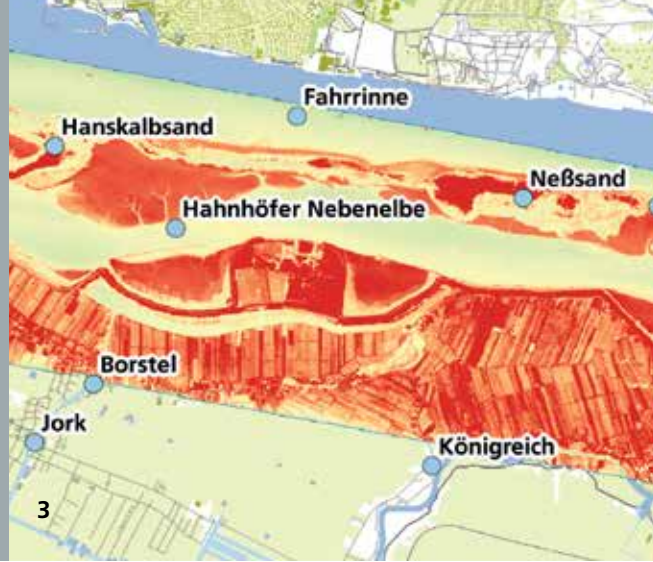
Das Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik (AMLS) des Fraunhofer FHR unterhält einen intensiven Kontakt zur Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz, insbesondere zu der Abteilung „Geoinformation und Fernerkundung“. Die BfG ist als wissenschaftliches Institut im Rang einer Bundesoberbehörde für die Bundeswasserstraßen in Deutschland zuständig und dokumentiert kontinuierlich ihren Zustand. Ferner werden neue Messmethoden, Erklärungsansätze und Vorhersagemodelle entwickelt, um insbesondere Bundesministerien und die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zu beraten.

Die Wassertemperatur ist für viele Anwendungsfelder der Gewässerkunde ein wesentlicher Parameter. Temperaturmessungen werden jedoch aktuell nur an einzelnen Stellen durchgeführt. Aufnahmen mit einer luftgestützten Wärmebildkamera könnten diese Punktmessungen durch Informationen über die flächige Temperaturverteilung ergänzen. Diese neuen Möglichkeiten wurden im Sommer bei einem Kooperationsprojekt zwischen der BfG und dem AMLS an der Hahnöfer Nebel Elbe in der Nähe von Hamburg untersucht.

Bei diesem Projekt wurden zwei Ziele verfolgt: Zum einen geht es um ein besseres Verständnis der Temperaturverhältnisse an Gewässern, zum anderen erforscht die BfG die technischen Möglichkeiten, die die Fernerkundung für ihre Aufgabenfelder bietet. Bei der Befliegung sollte vor allem die Verteilung der Wassertemperatur über den Wattflächen im Mühlenberger Loch sowie in der Hahnöfer Nebel Elbe untersucht werden. Wetter- und Tidenbedingungen wurden so gewählt, dass sich die Wattflächen morgens in der Sonne aufheizen konnten. Durch die Messung in regelmäßigen zeitlichen Abständen wurden auch die unterschiedlichen Prozesse während des Auf- und Abfließens des Wassers an den Wattflächen erfasst. Mit den gewonnenen Daten wurde zudem ein bestehendes Temperaturmodell validiert.

Aufgrund der Größe der betrachteten Fläche von knapp 24 km<sup>2</sup> und der Anforderung, diese Fläche mehrfach am Tag zu befliegen, wurde ein Tragschrauber eingesetzt, der vom AMLS ausgerüstet und betrieben wurde. Für die Messaufgabe wurde ein am AMLS entwickeltes Multi-Kamerasystem (PanTIR) eingesetzt, das aus der Kombination einer Wärmebild- und einer hochauflösenden Farbbreiterkamera besteht, die synchron betrieben werden.

Als Basis für die Befliegung diente der Flugplatz in Stade, der zehn Flugminuten von der Hahnöfer Nebel Elbe entfernt liegt. Die Flugplanung für die Abdeckung des Gebiets ergab vier parallele Linien in einer Flughöhe von 1200 m (Abb. 1). Eine besondere Herausforderung bestand darin, dass sich das Befliegungsgebiet in der Kontrollzone des Flughafens Hamburg in Fuhlsbüttel und des Werksflughafens von Airbus



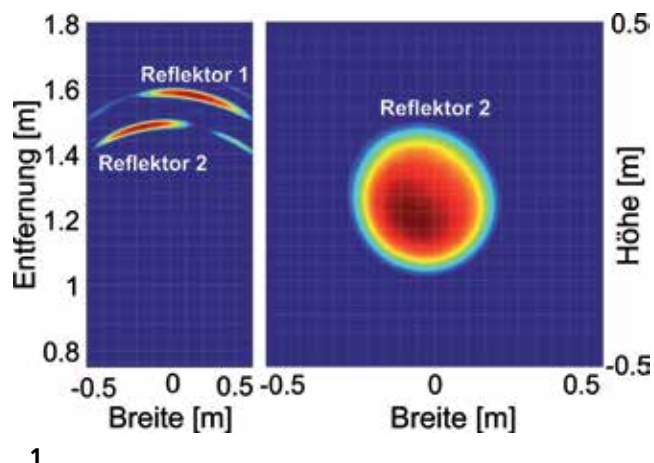
in Finkenwerder befand. Aus diesem Grund war der Einsatz eines Transponders an Bord des Tragschraubers erforderlich und der Pilot musste während der gesamten Flüge Kontakt mit der Deutschen Flugsicherung (DFS) in Bremen halten und Flughöhe und Kurse mit den Lotsen exakt abstimmen.

Bei den einzelnen 45 bis 60 Minuten dauernden Flügen wurden jeweils rund 300 Bildpaare aufgezeichnet. Bei der Daten-Nachbearbeitung wurden die hochauflösenden Einzelaufnahmen der Farbkamera zu jeweils einem großen Orthomosaik-Luftbild zusammengefügt (Abb. 2), das mit Temperaturinformation der Wärmebildkamera überlagert werden kann (Abb. 3). Um die Georeferenzierung zu verbessern, wurden entlang des Deiches in den vorgelagerten Wiesen insgesamt fünfzehn 4 Meter x 4 Meter große Kunststoffplanen mit einem 2 x 2 Schachbrettmuster als Passpunkte ausgelegt und mit einem tragbaren GNS-System eingemessen. Diese Passpunkte konnten in den Bildern der Referenzkamera identifiziert werden und dienten bei der Nachbearbeitung der exakten Geolokalisierung der Luftbildkarten. Bei der Messkampagne konnten an zwei aufeinander folgenden Tagen insgesamt sieben erfolgreiche Flüge durchgeführt und entsprechend viele Karten erstellt werden. Die Karten zu den verschiedenen Flugzeitpunkten ermöglichen nun auch eine Darstellung und Auswertung des zeitlichen Verlaufs der Wassertemperaturverteilung.

- 1 Übersicht über das Befliegungsgebiet (hellrot markiert) und die Fluglinien mit den Auslösepunkten der Kameras.
- 2 Erzeugtes Farb-Orthomosaik des Befliegungsgebiets.
- 3 Überlagerte Temperaturverteilung des Befliegungsgebiets.



Prof. Dr. rer. nat.  
 Jens Bongartz  
 Tel. +49 2642 932-427  
 jens.bongartz@  
 fhr.fraunhofer.de



## 3D-UMGEBUNGSERFASSUNG MIT MIMO-RADAR-KAMERA

Im Rahmen des EU-Projektes SmokeBot werden am Fraunhofer FHR dreidimensional abbildende Radarkameramodule entwickelt. Die Silizium-Germanium-Technologie ermöglicht dabei hochintegrierte Module auf kleinstem Raum und geringer Leistungsaufnahme.

Multi-Kanal-Radarsysteme für elektronisch schwenkbare Abstrahlung und digitale Bildgebung sind am Fraunhofer FHR ein seit langem etabliertes Feld. Für den Einsatz auf kleinen mobilen Plattformen waren bisherige Systeme aufgrund ihrer Baugröße und ihrer hohen Leistungsaufnahme allerdings schwer einsetzbar. Die zunehmende Integrierbarkeit ganzer Radar-Front-Ends auf Silizium-Germanium-Chips ermöglicht es hochleistungsfähige Radar-Module mit einer Vielzahl von Sende- und Empfangskanälen mit kleinster Baugröße zu realisieren.

Im Rahmen des EU-Projektes SmokeBot werden derartige Radarmodule bei 120 GHz entwickelt. Die hohe Frequenz kommt der zunehmenden räumlichen Integration sehr entgegen: Da die erreichte Bildauflösung des Moduls mit der Wellenlänge und der Modulgröße skaliert, kann bei sehr kurzwelligen Radarsignalen die Aperturgröße deutlich reduziert und dennoch eine sehr hohe Auflösung beibehalten werden.

### SmokeBot – Integrierte Radar-Module für die Robotik

Ziel des Projektes ist ein Radarmodul mit 32 Sende- und 32 Empfangskanälen. Das fertige Modul enthält nicht nur

die analogen Front-Ends, sondern wird auch das Back-End beinhalten. Die gesamten Messdaten werden über eine Standard-Ethernet-Schnittstelle übertragen. Die nachgeschaltete Prozessierung ermöglicht eine Rekonstruktion der aufgenommenen Bildinformation in 3D. Die Bildinformation steht durch Nutzung des verbreiteten *Robot Operating System* (ROS) dem Gesamtsystem zur Verfügung. Diese Software-Integration vereinfacht die Weiterverarbeitung der Daten deutlich. Für den Systemdesigner sind die aufzubereitenden Informationen nicht von anderen Abbildungssystemen, wie optischen 3D-Kameras zu unterscheiden. Allerdings kann das Radarmodul auch unter schlechten Sichtbedingungen, wie Nebel oder Rauch, einwandfrei arbeiten und sogar dünne Sichtbehinderungen, wie Planen oder Vorwände, durchdringen. Im Rahmen des Projektes werden die Daten des Radarmodules mit optischen Daten überlagert. Es entsteht somit auch bei einem hohen Rauchaufkommen oder Blendeffekten ein Gesamtbild der Umgebung.

### Integrierte Silizium-Germanium Chips für hocheffektive Mehrkanalsysteme

Die Umsetzung der Radarkamera basiert auf hochintegrierten Millimeterwellen-Chips, welche am Fraunhofer FHR entworfen und getestet werden. Die verwendete Wafer-Technologie wird im Automobilbereich im großem Umfang zuverlässig eingesetzt.

Die Radar-Detektion basiert auf linearer Frequenzmodulation (FMCW). Somit ist die Signalerzeugung in Sende- und Empfangschip sehr ähnlich. Diese basiert auf einem hochstabilen



und hochgradig linear modulierten Referenzsignal bei 30 GHz. Ein auf jedem Chip integrierter Frequenzvervierfacher realisiert die Erzeugung der 120 GHz Arbeitsfrequenz. Dabei stehen bis zu 25 GHz Bandbreite zur Verfügung. Die Sende-Chips verfügen über schaltbare Signalausgänge, sodass die einzelnen Sender wechselseitig aktiviert werden können. Zusammen mit einer Vielzahl von Empfangskanälen können so alle Sende- und Empfangskonstellationen genutzt werden. Jeder Sendekanal stellt über 10 mW Ausgangsleistung zur Verfügung. Zusammen mit den hochempfindlichen Empfängern ergibt sich eine Dynamik von über 80 dB für jede einzelne Messung. Abhängig von den verwendeten Antennen sind damit Messungen von über 100 m Reichweite möglich. Die Integration gleich mehrerer Kanäle auf einem Chip führt zur Realisierbarkeit einer Vielzahl von Messkanälen auf kleinstem Raum.

### Erster hochintegrierter Prototyp

Ein erster Prototyp mit reduziert bestücktem MIMO-Array ist fertiggestellt. Dieses wenige Zentimeter große Modul umfasst zwei Sende- und acht Empfängerelemente bei 120 GHz. Bereits dieser Prototyp vereint analoge Radarsignalverarbeitung und digitale Vorverarbeitung. Die äußeren Schnittstellen beschränken sich auf eine industriell übliche Ethernet-Schnittstelle zur Konfiguration und zum Auslesen der Radardaten, sowie eine Schnittstelle für die Stromversorgung des Modules. Die digitale Back-End-Platine schließt einen FPGA für erste Datenverarbeitungsschritte ein.

Mit dem Prototyp wurden erfolgreich Messungen durchgeführt. Aus den Daten konnte ein punktförmiges Referenzziel mit 10° Auflösung detektiert werden. Die Weiterführung der Entwicklung hin zur Endausbaustufe soll zum Ende des Projektes Mitte 2018 abgeschlossen sein. Dieses Modul wird mit Auflösungen von unter ein Grad hochperformante Abbildung mit kompakter Bauform vereinen.

- 1** Gemessene Reflexion zweier punktförmiger Einzelziele.
- 2** Prototyp des 2 x 8 MIMO-Radarmoduls.
- 3** Der ausgerüstete Roboter im Einsatz (Fotomontage).



Dr.-Ing.  
 Reinhold Herschel  
 Tel. +49 228 9435-582  
 reinhold.herschel@  
 fhr.fraunhofer.de



## DROHNENDETEKTION MIT MIMO-RADAR

Rund 300.000 Drohnen werden weltweit Monat für Monat verkauft. Sie sind technologisch hoch entwickelt und lassen sich für die unterschiedlichsten Anwendungsfelder einsetzen, stellen aber auch ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Modernste MIMO-Radarsysteme helfen Gefahren abzuwehren.

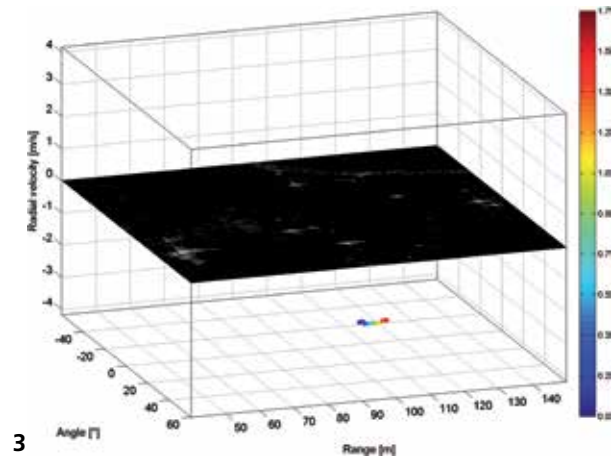
Mit der dramatisch steigenden Anzahl weltweit verkaufter Drohnen, auch UAVs (*Unmanned Aerial Vehicle*) genannt, werden immer mehr Anwendungsfelder erschlossen. Sie leisten Unterstützung bei Überwachungs- und Aufklärungsmissionen für das Militär und werden beispielsweise für Luftbildaufnahmen, Umweltmonitoring, polizeiliche Überwachung, Katastrophenhilfe oder im Hobbybereich eingesetzt. UAVs können hochpräzise ferngesteuert navigiert werden und das selbst ohne Sichtkontakt durch Live-Videoübertragung auf eine Datenbrille des Operators. Die eigene Positionsbestimmung (z. B. mittels GPS) ermöglicht UAVs auch einem vorher festgelegten Flugpfad zu folgen. Mehr noch: Durch modernste Sensorik auf den UAVs, können diese sogar eine sich zeitlich ändernde Umgebung erkennen und völlig autonom Hindernisse umfliegen, plötzlich auftauchenden Hindernissen ausweichen und situationsabhängig adaptiv agieren und so selbst komplexeste Missionen ohne menschliches Eingreifen erfüllen.

Die Kehrseite der Medaille sind jedoch neu geschaffene erhebliche Sicherheitsrisiken, die es in dieser Form bislang noch nicht gegeben hat. Durch Fehlfunktionen in der Steuerung oder Ausfälle einzelner Motoren können UAVs unkontrollierbar werden und mit Menschen, Verkehrswegen oder kritischer Infrastruktur kollidieren und so im schlimmsten

Fall Katastrophen auslösen. Aber auch der vorsätzliche Einsatz von UAVs, z. B. für Spionagezwecke, oder aber als Träger von hochgiftigen Substanzen oder Sprengstoffen für terroristische Anschläge, wird durch die moderne Technologie zum Kinderspiel. Zum Schutz vor UAVs, die unabsichtlich oder absichtlich zur Gefahr werden, bedarf es andererseits Kreativität gepaart mit modernster Technologie. Sowohl zur Erkennung anfliegender UAVs als auch zu deren Abwehr werden aktuell weltweit die unterschiedlichsten Ansätze verfolgt.

Radarsensoren eignen sich vorzüglich für die Detektion, die Zielverfolgung und die Merkmalerkennung von UAVs. Dabei arbeiten sie unabhängig von Tag und Nacht und können bei jedem Wetter eingesetzt werden. Zudem messen sie die exakte Entfernung zum UAV und können dessen Geschwindigkeit ableiten. Beides sind sehr wichtige Parameter zur Gefahrenabschätzung und für eine mögliche Intervention.

MIMO-Radarsysteme (*Multiple-Input Multiple-Output*) haben einige Besonderheiten gegenüber anderen Radarsystemen, was sie für die UAV-Detektion prädestiniert. Zum einen sind sie voll elektronisch, sodass der Wartungsaufwand gegenüber mechanischen Lösungen äußerst gering ist. Zum anderen ist die Anzahl der Sende- und Empfangselemente, im Vergleich zu einem vollbesetzten Phased-Array, stark reduziert, sodass erheblich Kosten gespart werden. Darüber hinaus beleuchtet ein MIMO-Radarsystem einen großen Raumwinkelbereich zur selben Zeit, sodass nahezu beliebig viele UAVs (z. B. UAV-Schwärme) gleichzeitig detektiert, verfolgt und klassifiziert werden können. Außerdem ist ein MIMO-Radarsystem auch quasi ein abbildendes System, weshalb Methoden zur Änderungsdetektion eingesetzt werden können. So sind sogar UAVs detektierbar die lediglich auf der Stelle schweben



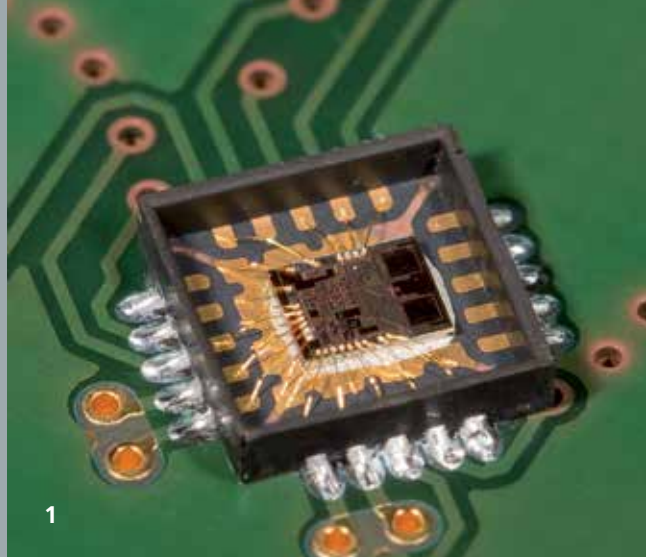
oder sich langsam entlang einer Häuserfront „anschleichen“. Mit Hilfe der Messung kleinster Eigenbewegungen der UAVs, z. B. der Rotation der einzelnen Rotoren oder der Vibrationen des Chassis, können sogar UAV-Klassen (Quad-Copter, Octo-Copter, e.tc.) aus großer Entfernung erkannt werden. Diese Information hilft ungemein bei der Gefahrenabschätzung, z. B. ob das anfliegende UAV überhaupt in der Lage ist größere Lasten, beispielsweise einen Sprengsatz, zu tragen.

Durch die Kombination unterschiedlichster Methoden der Signalprozessierung wird ein MIMO-Radarsystem zu einem mächtigen Baustein im Kampf gegen gefährliche UAVs. In ersten *Proof-of-Concept* Experimenten wurden im Auftrag der armasuisse, Schweiz, bereits viel versprechende Ergebnisse erzielt. UAV welche die unterschiedlichsten Manöver und Geschwindigkeiten flogen, dabei teilweise zwischen Bäumen manövierten, sich dicht vor Gebäuden bewegten oder in einem Multi-Bewegzielszenario einfach nur schwebten, konnten sicher detektiert werden. Zukünftige, speziell für die UAV-Detektion entwickelte, MIMO-Radarsysteme werden einen wesentlichen Beitrag für die Gefahrenabwehr gefährlicher UAVs liefern.

- 1 UAV der MIMO-Radar-Messkampagne.
- 2 MIMO-Radarantenne des MIRA-CLE Ka Radarsystems.
- 3 Trajektorie des detektierten UAVs mit eingebettetem MIMO-Radarbild der stationären Szene, berechnet aus denselben Radarrohdaten.



Dr. rer. nat  
 Jens Klare  
 Tel. +49 228 9435-311  
 jens.klare@  
 fhr.fraunhofer.de



## INTEGRIERTE RADARSYSTEME FÜR WERKZEUGMASCHINEN

Die Abstands- und Positionsmessung in Werkzeugmaschinen war bislang von Glasmaßstäben oder laserbasierten Sensoren dominiert. Die Entwicklung innovativer und hochpräziser Radarsensoren schafft jedoch eine flexible und kostengünstige Alternative und eröffnet neue Möglichkeiten im Werkzeugmaschinenbau.

### Hohe Präzision durch hohe Frequenzen und große Bandbreiten

In der Vergangenheit waren etablierte Messsysteme wie Glasmaßstäbe und laserbasierte Sensoren radarbasierten Lösungen in Messgenauigkeit und Preis weit überlegen. Erst in den letzten Jahren konnte die Radartechnik, vor allem getrieben durch die Automobilbranche, deutlich aufholen und hat längst auch in anderen Bereichen Einzug gehalten. Mit den neusten Entwicklungen stellen moderne Radarsysteme auch im Gebiet des Werkzeugmaschinenbaus eine ernstzunehmende Alternative zu bestehenden Messsystemen dar. Die technologische Basis dafür bilden aktuelle Silizium-Germanium-Technologien mit Grenzfrequenzen oberhalb von 300 GHz, welche die kostengünstige und massenmarktaugliche Nutzung des oberen Millimeterwellenbereichs erlauben. Eine dieser Technologien ist Infineons B11HFC SiGe BiCMOS-Technologie, mit derer Hilfe am Fraunhofer FHR Radarsysteme bei Frequenzen bis zu 240 GHz und Bandbreiten größer 50 GHz realisiert werden. Durch die kleine Freiraumwellenlänge von wenigen Millimetern bei diesen Frequenzen, in Verbindung mit der hohen Bandbreite, sind so hochaufgelöste Messungen mit Mikrometergenauigkeit möglich.

### Vielseitige Alternative zu bestehenden Technologien

Wenn in Werkzeugmaschinen bereits seit vielen Jahren Glasmaßstäbe und laserbasierte Sensoren etablierter Standard sind, warum besteht dann überhaupt die Notwendigkeit radarbasierte Sensorik in Werkzeugmaschinen zu bringen? Diese Frage lässt sich leicht im Hinblick auf den Fachbereich Mikrofertigung beantworten: Werden kleine Werkstücke in großen Werkzeugmaschinen mit hoher Präzision bearbeitet, liegt zwischen dem Bearbeitungspunkt am Werkstück, dem *Tool Center Point* (TCP), und der Positionsmessung, beispielsweise durch einen Glasmaßstab in der Antriebsachse, ein sehr langer mechanischer Hebelarm, welcher durch Vibrationen und Verwindungen Einbußen in der Präzision verursacht. Um diesem Effekt zu begegnen, ist eine massive, aufwendige und teure Konstruktion der Maschine notwendig, was sich im Gewicht moderner Bearbeitungszentren von oft mehreren Tonnen widerspiegelt. Eine Alternative stellt die Positionsmessung direkt auf dem Werkstück nahe am TCP dar. Das ist durch laserbasierte Sensorik zwar prinzipiell möglich, jedoch wird die optische Messung durch die bei der Bearbeitung auftretenden Späne sowie Kühlmittelnebel zu stark beeinflusst oder unmöglich. An dieser Stelle können radarbasierte Lösungen ihre Stärke voll ausspielen und erlauben eine wirkstellennahe, zuverlässige und präzise Positionsmessung auch unter Null-Sicht-Bedingungen durch dichten Kühlmittelnebel und Spanflug hindurch.





### Flexible Einsatzmöglichkeiten und neue Maschinenkonzepte

Durch die flexiblen Einsatzmöglichkeiten von kompakten Radarsensoren zur Abstands- und Positionsmessung ergeben sich neue Möglichkeiten im Werkzeugmaschinenbau. Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1476 „Kleine Werkzeugmaschinen für kleine Werkstücke“, an dem das Fraunhofer FHR ebenfalls beteiligt war, wurden neue Konzepte für modulare, konfigurierbare Werkzeugmaschinen für die Mikrofertigung entwickelt. Ziel war es dabei, eine einheitliche, flexible Plattform zu schaffen, an der mittels standardisierter elektromechanischer Schnittstellen je nach zu bearbeitenden Werkstück verschiedene Werkzeug-, Vortriebs- und Positioniermodule befestigt werden können. Durch die leichte und kompakte Bauweise bringt die werkstellennahe Positionsmessung unter beengten Platzverhältnissen mittels Radarsensorik deutliche Vorteile. Durch die Reflexionseigenschaften von metallischen Oberflächen ist die Ausrichtung des Radarsensors weitaus weniger kritisch als bei optischen, laserbasierten Systemen, sodass ein Umrüsten in einem modularen Aufbau in wenigen Handgriffen erledigt werden kann. Da keine für Verschmutzungen anfälligen optischen Linsenelemente vorhanden sind, ist auch ein Einsatz in rauen und verschmutzten Umgebungen ohne besondere Schutzmaßnahmen möglich.

### Robuster Aufbau und kostengünstige Systeme

Durch die Nutzung der hohen Frequenzen wird auf integrierte Antennenstrukturen gesetzt, welche einen besonders kompakten und kosteneffizienten Aufbau erlauben. Da keine komplexe Hochfrequenztechnik außerhalb des Chips benötigt wird, kann der Aufbau mit besonders günstigem Platinenmaterial auf Epoxidharz-Basis realisiert werden, welches in Verbindung mit der aus der Automobilindustrie bekannten Chiptechnologie massenmarktauglich auch in großen Stückzahlen produziert werden kann. Die Abstrahlung durch ein Teflon-Linsenelement ermöglicht zudem einen hermetisch geschlossenen, druckdichten Sensor mit hoher mechanischer Stabilität, welcher auch rausten industriellen Bedingungen gewachsen ist.

**1** 240 GHz SiGe Transceiver MMIC mit integrierten Antennen. Der Chip enthält alle hochfrequenten Komponenten des Radarsystems und ist in ein QFN Package auf einer FR4 Platine gebondet.

**2** Kompakter 240 GHz Radarsensor mit montierter Teflon-Linsenantenne.

**3** Radarsensor zur Positionsmessung in einer linearen Achse einer kompakten Werkzeugmaschine montiert.



Prof. Dr.-Ing.  
Nils Pohl  
Tel. +49 228 9435-147  
nils.pohl@  
fhr.fraunhofer.de



# BESONDERE EREIGNISSE 2016

Bonn / 23.2.2016 - 25.2.2016

## **Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland**

Die Konferenz adressiert sicherheits- und verteidigungsbezogene Forschungsthemen in den Dimensionen Land, Luft, See, Weltraum und Cyber. Sie richtet sich an Vertreter aus den Bereichen Politik, Ministerien, Behörden, Wissenschaft, Wirtschaft und Industrie. Fraunhofer FHR beteiligte sich mit mehreren Vorträgen und bei der Ausstellung mit einem Messestand.

Bochum / 13.3.2016 - 15.3.2016

## **GeMiC 2016 - German Microwave Conference**

Auch in diesem Jahr nahm das Fraunhofer FHR an der GeMiC teil, die an der Ruhr-Universität Bochum stattfindet.

Bonn-Bad Godesberg / 19.4.2016

## **Abschiedssymposium Professor Ender**

(Siehe ausführlicher Beitrag auf Seite 60)

Messe Stuttgart / 26.4.2016 - 29.4.2016

## **Control 2016**

Auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Vision präsentierte das Fraunhofer FHR bei der diesjährigen Control seine inline-fähigen Mess- und Prüfsysteme.

Bonn-Bad Godesberg / 27.4.2016 - 28.4.2016

## **30. AFCEA-Fachtagung**

Bei der 30. AFCEA-Fachtagung in der Stadthalle Bad Godesberg präsentierte das Fraunhofer FHR seine Forschungsarbeiten rund um das Kognitive Radar.

Wachtberg / 28.4.2016

## **Girls'Day 2016**

Am 28. April besuchten Mädchen verschiedener Altersgruppen das Fraunhofer FHR. In unterschiedlichen Workshops

bauten sie Radios, schauten sich in einem Elektroniklabor um, sahen Elektrotechnikern für Geräte und Systeme über die Schulter, bauten eine elektronische Baugruppe, programmierten Lego-Roboter oder erfuhren, was ein/e Feinwerkmechaniker/in macht. Bereits zum 16. Mal beteiligte sich das Fraunhofer FHR am Girls'Day.

Frankfurt / 2.-5.5.2016

## **Jahrestagung der Asian Development Bank (ADB)**

Das Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik (AMLS) des Fraunhofer FHR stellte bei der Jahrestagung der Asian Development Bank (ADB) auf dem Fraunhofer Gemeinschaftsstand seine Forschungsarbeiten zur luftgestützten Fernerkundung vor, die unter anderem bei der Landminen-Detektion in Kambodscha eingesetzt wird. Bundeskanzlerin Angela Merkel und Entwicklungshilfeminister Gerd Müller informierten sich vor Ort über die Arbeiten des AMLS.

Krakau (PL) / 10.-12.5.2016

## **Young Scientist Award für Aurora Baruzzi bei International Radar Symposium (IRS)**

Aurora Baruzzi wurde bei der IRS in Krakau für ihr Paper „Multipath Clutter Cancellation and Tracking Algorithms for Passive Radars“ mit dem Young Scientist Award ausgezeichnet. Das Paper entstand im Rahmen der BMVg-Zuwendung „Passiv Radar auf mobilen Plattformen“.

Berlin / 1.6.2016 - 4.6.2016

## **ILA Berlin Air Show**

Auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Space präsentierte das Fraunhofer FHR sein Projekt GESTRA. Dieses neue, nationale Weltraumüberwachungssystem soll ab 2018 in Betrieb gehen. Das Fraunhofer FHR entwickelt das Radar im Auftrag des DLR Raumfahrtmanagement.

Hamburg / 6.6.2016 - 9.6.2016

## **European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)**

Bei der EUSAR 2016 präsentierte das Fraunhofer FHR seine Forschungsarbeiten sowie seine Angebote als Arbeitsgeber für Studierende, Absolventen und Postdocs.

*Radarsysteme zur Entdeckung von Drohnen wurden beim Wachtberg-Forum präsentiert.*



1

München / 13.-17.6.2016

**World Conference on Non-Destructive Testing – (WCNDT 2016)**

Auf der diesjährigen WCNDT stellte das Fraunhofer FHR seine Systeme blackValue und den T-SENSE FMI aus. Die beiden Systeme repräsentieren unterschiedliche Technologien – eine Radar-Zeilenkamera sowie ein Stand-Alone-Scanner – zur zerstörungsfreien Analyse von Materialeigenschaften bzw. zur Qualitätskontrolle und -sicherung.

Wachtberg / 30.6.2016

**Wachtberg-Forum**

Am 30. Juni 2016 veranstaltete das Fraunhofer FHR zum sechsten Mal das Wachtberg-Forum. Auch in diesem Jahr standen Vorträge, Vorführungen und Infostände rund um die Themen Radar, Signalverarbeitung und Hochfrequenzphysik auf dem Programm.

Remagen / 15.7.2016 - 22.7.2016

**8th International Summer School on Radar/SAR**

45 Teilnehmende aus aller Welt kamen zur 8. International Summer School on Radar/SAR. Diese veranstaltet das Fraunhofer FHR jährlich. Neben intensiven Workshops rund um Radar und insbesondere SAR gibt es für die Teilnehmenden ein ansprechendes Begleitprogramm mit Ausflügen in die Region und anderen Social Events.

Hamburg / 6.9.2016 - 9.9.2016

**SMM 2016**

Die SMM ist die wichtigste internationale Fachmesse der maritimen Schifffahrt. Das Fraunhofer FHR stellte sein innovatives elektronisches Schiffsradar RASKEL vor.

Bonn / 8.9.2016

**Firmenlauf Bonn**

Das Fraunhofer FHR und das Fraunhofer FKIE nahmen als

gemeinsame Mannschaft am Bonner Firmenlauf in den Rheinauen teil. Rund 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vom Fraunhofer FHR und FKIE waren beim 10. Firmenlauf Bonn gestartet. Unter dem Motto „Mit Sicherheit vorne dabei“ ging es auf den 5,7 Kilometer langen Lauf durch die Rheinauen. Insgesamt waren rund 11.000 Läufer an den Start gegangen.

Berlin / 13.9.2016 - 14.9.2016

**Future Security 2016**

Die „Future Security“ ist eine Plattform zum Austausch zwischen Forschern, Experten und Akteuren aus Wissenschaft, Industrie und Politik. Sie vermittelt Einblicke in aktuelle Forschungsbereiche und Themen rund um das Thema Sicherheit. Sie wird jährlich durch den Fraunhofer-Verbund Verteidigungs- und Sicherheitsforschung VVS veranstaltet.

Aachen, Germany / 19.9.2016 - 22.9.2016

**CoSeRa Workshop 2016**

Beim 4th International Workshop on Compressed Sensing Theory and its Applications to Radar, Sonar and Remote Sensing kamen Experten, Wissenschaftler und Entwickler aus dem Bereich Compressive Sensing (CS) zusammen, um sich über neuste Ergebnisse sowie die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten auszutauschen.

Wachtberg / 19.-23.9.2016

**Internationaler Wissenschaftscampus**

Zum ersten Mal führte ein Fraunhofer-Institut einen internationalen Wissenschaftscampus durch. Junge Absolventen und Studierende aus höheren Semestern der Universität Pisa besuchten das Fraunhofer FHR. Sie nahmen an Fachseminaren über Radar sowie Workshops rund um die Themen Soft Skills und Karriere teil. Der Wissenschaftscampus ist ein Format, um Nachwuchs-Kräfte für einen Berufseinstieg in der angewandten Forschung und insbesondere bei Fraunhofer zu begeistern.

London (UK) / 4.10.2016 - 6.10.2016



2



3

### European Microwave Week (EUMW) 2016

Erstmals stellten Fraunhofer FHR und Fraunhofer IAF gemeinsam mit TNO ihre neuen Technologien aus dem Bereich Millimeterwellen- und Terahertzsysteme aus. Bei der EuRAD (europäische Radarkonferenz im Rahmen der EUMW) wurden Simon Wagner, Franz Dommermuth und Prof. Dr. Joachim Ender mit dem Best Paper Award ausgezeichnet.

Wachtberg / 23.11.2016

### Workshop Geschäftsfeld Verkehr 2016

Der vom Fraunhofer FHR veranstaltete Workshop zum Themengebiet Verkehr bot Gelegenheit die Aktivitäten und Kompetenzen des Instituts zum Thema Hochfrequenzsensorik im Bereich Automotive näher kennenzulernen sowie neue Kontakte zu knüpfen. Auf dem Programm standen Übersichts- und Fachvorträge rund um das Thema radarbasierte Sensorik im Geschäftsfeld Verkehr.

Köln / 24.11.2016 - 25.11.2016

### Absolventenkongress

Gemeinsam mit anderen Fraunhofer-Instituten aus den Bereichen IT und Elektrotechnik präsentierte sich das Fraunhofer FHR beim Absolventenkongress in Köln.

Aachen / 6.12.2016

### Bonding Firmenkontaktmesse Aachen

Bei der Karrieremesse Bonding in Aachen stellte das Fraunhofer FHR sich als zukünftiger Arbeitgeber für Studierende aus den Bereichen Elektrotechnik, Mathematik, Physik und Informatik vor und informierte über die verschiedenen Karrieremöglichkeiten.

Wachtberg / 6.-7.12.2016

### Specialist Meeting about Electromagnetic Waves and Wind Turbines (EMWT 2016)

(Siehe ausführlicher Beitrag auf Seite 62)

1 Kanzlerin Angela Merkel lässt sich von Prof. Dr. Jens Bongartz (ganz rechts) das Projekt zur luftgestützten Landminendetektion in Kambodscha vorstellen.

2 Beim WCNDT-Kongress in München wurde der blackValue Scanner zur Sortierung von schwarzen Kunststoffen gezeigt.

3 Über 40 Studentinnen und Studenten aus Italien kamen zum ersten internationalen Fraunhofer-Wissenschaftscampus beim Fraunhofer FHR.



Leiter

Interne und externe Kommunikation:

**Dipl.-Volksw. JENS FIEGE**

Tel. +49 228 9435-323

jens.fiege@fhr.fraunhofer.de



# LEITUNGSWECHSEL – PROFESSOR ENDER VERABSCHIEDETE SICH MIT RADARSYMPOSIUM IN DEN RUHESTAND

Vier Jahrzehnte prägte Prof. Dr. Joachim Ender als Mitarbeiter und Leiter die Radar- und Hochfrequenzforschung am Fraunhofer FHR. So bat er natürlich auch anlässlich seines Rentenantritts, der zu einem Symposium rund um die Entwicklung und Bedeutung der Radartechnik.

Rund 100 Gäste und Redner lud Professor Dr. Joachim Ender am 19. April 2016 zu seinem Abschiedssymposium in die Redoute in Bonn-Bad Godesberg ein, um das weite Feld der Radartechnik gestern, heute und morgen von verschiedenen Standpunkten aus zu beleuchten. Mit dieser Veranstaltung verabschiedete er sich als Leiter des Fraunhofer FHR von seinen Kunden, Partnern und treuen Wegbegleitern in den Ruhestand. Selbst 40 Jahre der Radarforschung verpflichtet, hat Ender das Institut in den letzten 13 Jahren durch Höhen und Tiefen gesteuert, seine Integration in die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt und mit seinen Mitarbeitenden die Radartechnologie für viele wichtige Anwendungen erschlossen. Das Fraunhofer FHR ist so inzwischen zu einem der größten Radarforschungsinstitute in Europa geworden.

In feierlichem Ambiente wurde insbesondere die Bedeutung der Radar- und Hochfrequenztechnik als Schlüsseltechnologie für Verteidigung und Sicherheit erörtert. Aber natürlich ließen es sich die Redner in ihren Grußworten und Vorträgen nicht nehmen, dabei immer wieder den Bezug auf das Werk des Gastgebers herzustellen und mit zahlreichen Anekdoten zu schmücken. Sie lobten Enders wissenschaftliche Expertise und Erfahrung, sein Engagement für das Institut und dass er trotz der verantwortungsvollen Position seine Kollegialität immer bewahrt hat. Nicht zuletzt betonten sie seine Kreativität und Vielseitigkeit, die nicht nur der Forschung und Entwicklung am Institut zu Gute kam: Dank ihr schmückt z. B. auch eine mit Kollegen selbstgefertigte Statue das Insitutsgelände noch heute.

Eine besondere Überraschung hatte Professor Dr. Alexander Kurz, Vorstandsmitglied der Fraunhofer-Gesellschaft, an dem

Nachmittag für Professor Ender parat: Für seine langjährigen und außergewöhnlichen Verdienste für die Forschungsorganisation überreichte er ihm die Fraunhofer-Medaille. Vor allem setzte sich Ender beharrlich für die Integration des Instituts in die Fraunhofer-Gesellschaft ein. Damit hat er 2009 die Verteidigungs- und Sicherheitsforschung der Fraunhofer-Gesellschaft national wie international gestärkt und gleichzeitig die Radarforschung am Standort Wachtberg für die zivile Forschung geöffnet und mit großem Erfolg genutzt. Außer für Verteidigung und Sicherheit entwickeln die Wissenschaftler dort mittlerweile auch Radaranwendungen für Weltraum, Umwelt, Verkehr und Produktion. Herr Ender freute sich sichtlich über diese zum Ende seiner Amtszeit kommende Ehrung.

Am 1. August übernahmen Dr.-Ing. Peter Knott und Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling die Institutsleitung. Der erfolgreiche Leitungswechsel war 2016 nicht die einzige Veränderung am Institut. Vor allem im wissenschaftlichen Bereich fanden Führungswechsel und Umstrukturierungen statt, mit denen das Institut seine Expertise verfeinert, um künftig noch differenzierter auf die Bedürfnisse seiner Kunden und Partner eingehen zu können.

Fortschritt ist Bewegung und so bedankt sich die Belegschaft des Fraunhofer FHR für die geleisteten Dienste ihres ehemaligen Leiters Prof. Dr. Joachim H. G. Ender und freut sich auf ebenso dynamische Zeiten unter der neuen Institutsleitung und einer aus erfahrenen wie neuen Kräften bestehenden Führungsriege.

*Kunden, Partner und langjährige Wegbegleiter feierten mit Prof. Ender in der Bad Godesberger Redoute seinen Übergang in den Ruhestand.*

*Dipl.-Biol.  
Christiane Weber  
Tel. +49 228 9435-79050  
christiane.weber@  
fhr.fraunhofer.de*



## SPECIALIST MEETING ABOUT ELECTROMAGNETIC WAVES AND WIND TURBINES (EMWT '16)

Am 6. und 7. Dezember 2016 wurde vom Fraunhofer FHR erstmals das „*Specialist Meeting about Electromagnetic Waves and Wind Turbines*“ (EMWT'16) organisiert. Die Veranstaltung wurde freundlicherweise vom IEEE MTT/AP Joint Chapter unterstützt.

Elektromagnetische Streueigenschaften von Windenergieanlagen (WEA) werden seit über einem Jahrzehnt untersucht und noch immer handelt es sich dabei um ein Thema von großem wissenschaftlichen und öffentlichen Interesse. Im Zuge der sogenannten Energiewende kommt der Stromerzeugung durch Windkraft eine bedeutende Rolle zu und die Anzahl der errichteten WEA wächst stetig. Neben Umweltaspekten, (z. B. Lärm) und ästhetischen Gesichtspunkten müssen dabei auch elektromagnetische Beeinflussungen von Radarsystemen betrachtet werden. Insbesondere empfindliche Radare wie zivile und militärische Luftraumüberwachungsradare, aber auch Wetterradare können durch die Wechselwirkung mit WEA ungünstig beeinflusst werden. Mögliche Effekte können z. B. Richtungsfehlschätzungen oder eine verminderte Reichweite sein.

Während der Einfluss von einzelnen WEA in vielen Studien untersucht wurde und meistens keine signifikanten Auswirkungen hat, sind die kumulativen Effekte von WEA in einem Windpark noch immer nicht ausreichend untersucht und Gegenstand aufwändiger theoretischer und experimenteller Stu-

dien. Das Fraunhofer FHR beschäftigt sich seit 2012 mit dieser Thematik und konnte dabei sowohl auf simulations- als auch auf messtechnischer Ebene Erfolge vorweisen. So wurden z. B. zeitvariante Ausbreitungseffekte durch WEA experimentell nachgewiesen und in elektromagnetischen Simulationen qualitativ bestätigt. Eine Reihe von Fachbeiträgen zu verschiedenen Konferenzen bestätigt die inzwischen am Fraunhofer FHR erarbeitete Kompetenz auf diesem Forschungsgebiet.

Die wissenschaftliche Relevanz der WEA-Thematik wurde u. a. bei der *European Conference on Antennas and Propagation* (EuCAP) im April 2016 in Davos unter Beweis gestellt, wo vom Fraunhofer FHR die Session „*Electromagnetic Scattering of Wind Turbines and Effects on Radar Systems*“ organisiert wurde. Dabei zeigte sich auch, dass der Themenkomplex so groß ist, dass er bei einer der etablierten Konferenzen nicht umfassend beleuchtet werden kann.

Um möglichst viele internationale WEA-Experten zusammenzubringen, wurde deshalb am 6. und 7. Dezember 2016 vom Fraunhofer FHR erstmals das „*Specialist Meeting about Electromagnetic Waves and Wind Turbines*“ (EMWT'16) organisiert. Das Ziel dieser Veranstaltung war, möglichst viele Aspekte von WEA im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern darzustellen und dabei gleichzeitig ein Forum zum intensiven Gedankenaustausch zu bieten. So nutzten viele Autoren die EMWT '16 zur Präsentation und Diskussion ihrer neuesten Forschungsergebnisse.





2



3

Die meisten Teilnehmer des Specialist Meetings zeigten sich von der großen Bandbreite der vorgestellten Themen sehr beeindruckt. Schwerpunkte der Vorträge waren u. a. die elektromagnetische Modellierung verschiedener Effekte durch WEA, Messungen und Wetterradar. In den Vorträgen wurde aber auch die aktuelle rechtliche Situation dargestellt sowie über konkrete bei der Bundeswehr beobachtete Fehlfunktionen von Feuerleitrادaren im Übungsbetrieb berichtet. Daneben kamen auch Umwelt-Themen wie die Beobachtung von geschützten Vögeln und Fledermäusen nicht zu kurz, da Beobachtungsrادare durch WEA beeinflusst werden können. In diesem Zusammenhang werden am Fraunhofer FHR spezielle Radare zum Schutz dieser Tiere entwickelt, so dass die WEA bedarfsgesteuert befeuert oder bei einem sich annähernden Vogelschwarm abgeschaltet werden können.

Die zweitägige Veranstaltung bot dem Teilnehmerkreis neben ca. 30 Fachvorträgen auch einen guten Rahmen für angeregte Diskussionen. Ein weiteres Highlight war der Besuch des Weltraumbeobachtungsrادars TIRA, dessen weithin sichtbares Radom das Wahrzeichen der Gemeinde Wachtberg ist.

Dass die EMWT'16 rundum gelungen ist, haben viele der ca. 60 Teilnehmer aus Deutschland, den Niederlanden, Frankreich, Großbritannien, Schweden, der Schweiz und den USA während der Veranstaltung bestätigt. Vielfach wurde auch der Wunsch geäußert, dieses sehr erfolgreiche Specialist Meeting auch in den kommenden Jahren durchzuführen.

- 1 Logo der EMWT'16.
- 2 Dr. Peter Knott bei der Eröffnung der EMWT'16.
- 3 Die etwa 60 Teilnehmer aus Deutschland, den Niederlanden, Frankreich, Großbritannien, Schweden, der Schweiz und den USA.



Dr.-Ing.  
 Frank Weinmann  
 Tel. +49 228 9435-223  
 frank.weinmann@  
 fhr.fraunhofer.de

# AUSBILDUNG UND LEHRE

## Vorlesungen

**Bertuch, T.:** „Antennen und Wellenausbreitung“, FH Aachen, Aachen, WS 2016/2017

**Bongartz, J.:** „Funktionsdiagnostik und Monitoring“, Hochschule Koblenz, Remagen, SS 2016

**Bongartz, J.:** „Lasermmedizin und Biomedizinische Optik“, Hochschule Koblenz, Remagen, SS 2016

**Bongartz, J.:** „Medizinische Gerätetechnik“, Hochschule Koblenz, Remagen, WS 2015/2016

**Bongartz, J.:** „Signalverarbeitung“, Hochschule Koblenz, Remagen, SS 2016

**Bongartz, J.:** „Signalverarbeitung“, Hochschule Koblenz, Remagen, WS 2016/2017

**Caris, M.:** „Physics“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, SS 2016

**Cerutti-Maori, D.:** „Signal Processing for Radar and Imaging Radar“, Vorlesung und Übungen, RWTH Aachen, WS 2015/2016

**Danklmayer, A.:** „Aerospace Remote Sensing“, TU Chemnitz, WS 2016/2017

**Ender, J.:** „Introduction to Radar“, Universität Siegen, WS 2015/2016

**Ender, J.:** „Radar – Techniques and Signal Processing I“, Universität Siegen, WS 2016/2017

**Heberling, D.:** „Elektromagnetische Felder 2 (IK)“, RWTH Aachen, SS 2016

**Heberling, D.:** „Hochfrequenztechnik 2“, RWTH Aachen, SS 2016

**Heberling, D.:** „Radarsysteme“, RWTH Aachen, SS 2016  
Heberling, D.; Hölscher, J.: „Hochfrequenztechnik 1, Vorlesung und Übung“, RWTH Aachen, WS 2016/2017

**Heberling, D.; Hölscher, J.:** „Moderne Kommunikationstechnik – EMV für Mensch und Gerät, Vorlesung und Übung“, RWTH Aachen, WS 2016/2017

**Heberling, D.; Hölscher, J.:** „Hochfrequenztechnik 1, Vorlesung und Übung“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, WS 2016/2017

**Knott, P.:** „Antenna Engineering“, RWTH Aachen, WS 2016/2017

**Krebs, C.:** „Leiterplatten-design“, Hochschule Koblenz, SS 2016

**Krebs, C.:** „Leiterplatten-design“, Hochschule Koblenz, WS 2016/2017

**Lorenz, F.:** „Physics“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, SS 2016

**Lorenz, F.:** „Measuring Techniques“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, WS 2016/2017

## **Promotionen**

**Gracheva, V.:** „Multichannel analysis of medium grazing angle sea clutter for airborne microwave radar systems“, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Universität, Siegen, Dr.-Ing.

**Pamies-Porras, M. J.:** „An AESA antenna demonstrator with a novel RF feeding network concept“, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Universität Siegen, Siegen, Dr.-Ing.

**Sommer, S.:** „Resolving the horizontal structure of mesospheric echoes applying modern radar approaches“, Math.-Naturwiss. Fakultät der Universität Rostock, Dr. rer. nat.

**Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten**

**Agthe, B.:** „Messung und Überprüfung der Kreuzung der Felder im RF Wien Filter“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Bachelor of Science

**Behrendt, D.:** „Interne Analyse des Projektportfolios des Geschäftsbereiches Sicherheit eines Forschungsinstitutes“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Bachelor of Arts

**Bell, R.:** „Entwicklung, Aufbau und Evaluation einer universellen SoC-Plattform zur sensornahen Datenverarbeitung“, Hochschule Koblenz, Bachelor of Science

**Bohlen, A.:** „Detektion und Analyse von Radar-Wellenformen auf der Red Pitaya-Plattform“, Hochschule Emden-Leer, Bachelor of Science

**Braun, N.:** „Entwicklung und Systemintegration eines Funkpeilsystems auf Basis der Interferometrie“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Master of Science

**Colditz, P.:** „Development of a software tool to analyse radar data of ship signatures during inbound and outbound runs“, Technische Universität Chemnitz, Master of Science

**Deitmerg, J.:** „Implementierung eines SDR-Empfängers im S-Band für den Dragsail-Cubesat“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Bachelor of Science, 15. November 2016

**Ebert, J.:** „Beobachtungsstrategie zur verbesserten, radarbasierten Bahnschätzung von Raumfahrtrückständen“, RWTH Aachen, Master of Science

**Emons, F.:** „Entwicklung, Herstellung und Test eines kompakten, drohnenba-

sierten Messsystems zur Vermessung von Antennen-diagrammen im Fernfeld“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Bachelor of Engineering

**Epp, A.:** „Segmentation and Detection of Man-made Targets“, Hochschule Koblenz, Rhein-Ahr-Campus Remagen, Februar 2016

**Herrmann, S.:** „Design eines hybriden Spulen- und Antennen- Arrays für simultane MRT- und Hyperthermieanwendungen“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Bachelor of Science

**Kalbhor, G.:** „Realization of a coherent radar sequence controller for a stationary MIMO radar system and an air-borne 3D MIMO SAR system on an FPGA“, Hochschule Bremerhaven, Master of Science

**Greis, R.:** „Design eines 3D-scannenden LiDAR-Systems“, Hochschule Koblenz RheinAhrCampus, Bachelor of Science

**Kalli, S.P.:** „Evaluation of Interference Mitigation Algorithms in 77 GHz Radar Systems“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Master of Science

**Küls, J.:** „Aufbau, Implementierung und Synchronisierung eines Multisensorsystems für Inline-Anwendungen unter der Einbindung von Hochfrequenzsensoren“, Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus, Master of Science

**Lambert, O.:** „Adaption und Implementierung von systeminhärenten HF-Charakterisierungsmethoden für ein nach dem SDR-Prinzip arbeitendes Empfangsmodul für ein Phased-Array Radar“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Master of Engineering

**Marques e Silva, R. R.:** „Development of a flexible graphical Programming Environment based on Simulink for Postprocessing of polarimetric Radar Cross-Section Measurement Data“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Bachelor of Science

**Meier, J.:** „Erstellung einer Telemetriestrecke zur Datenübertragung eines Flugcontrollersystems“, Hochschule Koblenz – Rhein Ahr Campus, Bachelor of Science

**Mende, J.K.:** „Konzeption und Dimensionierung eines Antennenfrontends für ein 92 GHz FMCW Radar mit 4 GHz Bandbreite“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Master of Science

**Minning, R.:** „Charakterisierung von Pflanzeninhaltsstoffen mittels zeitaufgelöster THz-Spektroskopie“, Fachhochschule Bingen, Bachelor of Engineering

**Müller, P.:** „Entwicklung und Implementierung einer CameraLink-Schnittstelle zur Integration eines THz-Sensors in ein inlinefähiges Multi-sensorsystem“ Technische Hochschule Köln – Campus Gummersbach, Bachelor of Science

**Nulwalla, D.:** „Investigation of integrable transponder antennas for a harmonic radar-based maritime search and rescue system“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Master of Science

**Piotrowsky, L.:** „Entwicklung eines Backends zur Datenaufnahme in einem hochintegrierten Multikanal-Radarsensorsystem“, Hochschule Koblenz, Bachelor

**Reihs, B.:** „Orbit Determination for Space Surveillance“, Luleå Tekniska Universitet, Sweden, Joint European Master in Space Science and Technology / Master of Science in Space Technology

**Schiffarth, A.M.:** „Untersuchung von numerischen Lösungen von T-BMT Gleichung in einem idealen magnetischen Speicherring mit realistischen RF-Wien-Filter Feldern“, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Bachelor of Science

**Sieger, M.:** „Entwicklung und Evaluierung einer Echtzeitsteuerung für das Interlock-System einer Großradaranlage“, Hochschule Koblenz, Master of Engineering

**Theisen, M.:** „Implementierung einer Radar-Datenerfassung für Multicopter-Anwendungen“, Technische Hochschule Köln – Campus Gummersbach, Bachelor of Science

**Tiesing, M.:** „Konzeptionierung, Design, Aufbau und Hardwarecharakterisierung eines hochintegrierten mehrkanaligen Arbiträrwellenformgenerators zur Erzeugung von Radarsignalen

bis 2GHz“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Bachelor of Engineering

**Tokos, C.:** „Automatisierung der Antriebssteuerung für das maßstabsgetreu verkleinerte Modell einer 34m-Parabolantenne“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Bachelor of Engineering

**Dozententätigkeiten bei Fachseminaren und Beratungsveranstaltungen**

<b>Bartsch, G.:</b> „SSA - From Building Blocks to Operational Systems“, internationaler Kurs „Fundamentals of Space Situational Awareness“, Führungsakademie der Bundeswehr, Hamburg, 6.-17.6.2016	techniques“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), 6.6.2016	Sensorik für den UAV Einsatz, 14.9.2016	2016, Führungsakademie der Bundeswehr, Clausewitz-Kaserne, Hamburg, 6.6.-17.6.2016
<b>Caris, M., Stanko, S.:</b> „Millimeterwellen und THz-Warnsensorik“, CCG-Seminar SE 3.11, Warnsensorik und Gegenmaßnahmen, 16.11.2016	<b>Danklmayer, A.:</b> „Radarstreuung und Wellenausbreitung“, CCG Seminar SE 2.01, Grundlagen der Radartechnik, Wessling, 21.6.2016	<b>Nüßler, D.:</b> „mmW and Terahertz technology“, WTu02, Radar Imaging – VHF to THz, European Radar Conference (EuRAD), London, Great Britain, 6.10.-7.10.2016	<b>Schumacher, R.:</b> „Meterwellenradar zur Detektion RCS-reduzierter Ziele“, CCG-Seminar SE 2.14, Ettlingen, 29.11.-1.12.2016
<b>Caris, M.:</b> „Detektion von Drohnen“, CCG-Seminar SE 3.27, Miniaturisierte Sensorik für den UAV Einsatz, 14.9.2016	<b>Danklmayer, A.:</b> „Grundlagen und Einführung in die UAV Thematik“, CCG Seminar SE 3.27 Miniaturisierte Sensorik für den UAV Einsatz“, Wessling, 13.9.2016	<b>Patzelt, T.:</b> „Techniques for Space Reconnaissance with Radar“, Fundamentals of Space Situational Awareness 2016, Führungsakademie der Bundeswehr, Clausewitz-Kaserne, Hamburg, 6.6.-17.6.2016	<b>Schumacher, R.:</b> „Nichtkooperative Ziel-Identifizierung und ATR“, CCG-Seminar SE 2.14, Ettlingen, 29.11.-1.12.2016
<b>Caris, M.:</b> „mmW-UAV SAR“, CCG-Seminar SE 3.27, Miniaturisierte Sensorik für den UAV Einsatz, 14.9.2016	<b>Ender, J.:</b> „Compressive Sensing Applied to Radar“, International Summer School on Radar/SAR, Rolandseck, Juli 2016	<b>Pohl, N.:</b> „Radargrundlagen“, CCG Seminar 2.14, Radar-, VIS- und IR-Signaturen: Technik und Anwendung, 30.11.2016	<b>Schumacher, R.:</b> „Passives Radar“, CCG-Seminar SE 2.14, Ettlingen, 29.11.-1.12.2016
<b>Cerutti-Maori, D.:</b> „SAR workshop“, International Summer School on Radar/SAR, Rolandseck, Juli 2016	<b>Ender, J.:</b> „Airborne SAR/MTI Techniques“, Tutorial auf der EUSAR 2016, Hamburg, 6. Juni 2016	<b>Pohl, N; Nüßler, D.:</b> „Hochauflösende Messverfahren mit Radar“, Technolgietag der VISION Allianz, 19.10.2016	<b>Stanko, S.:</b> „FMCW Millimeterwellen Radartechnik für UAV“, CCG-Seminar SE 3.27, Miniaturisierte Sensorik für den UAV Einsatz, 14.9.2016
<b>Cerutti-Maori, D.:</b> „Space-based SAR/GMTI	<b>Jenal, A.:</b> „Multimodale und luftgestützte Sensorik für den UAV Einsatz Teil 1“, CCG Seminar Se 3.27, Miniaturisierte	<b>Rosebrock, J.:</b> „Techniques for Radar Based Imaging of Satellites“, Fundamentals of Space Situational Awareness	<b>Stanko, S.:</b> „mmW-Technik für UAV“, CCG-Seminar SE 3.27, Miniaturisierte Sensorik für den UAV Einsatz, 14.9.2016

**Walterscheid, I.; Briskin, S.:** „Experimental Aspects of Distributed SAR/ISAR Systems“, EUSAR Tutorial 4, Spatial Diversity Imaging Systems, 6.6.2016

**Weber, I.:** „Multimodale und luftgestützte Sensorik für den UAV Einsatz Teil 2“, CCG Seminar Se 3.27, Miniaturisierte Sensorik für den UAV Einsatz, 14.9.2016

# VERÖFFENTLICHUNGEN

## Veröffentlichungen in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften und Büchern

- Baer, C.; Jaeschke, T.; Fischer, J.-T.; Fromm, R.; Rauter, M.; Achleitner, S.; Pohl, N.:** Investigation of a mmWave-Radar-Based Sensor for Snow-Suspension Density Measurements, in *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 24, pp. 8861-8862, Dec. 2016.
- Cornelius, R.; Heberling, D.:** „Spherical Near-Field Scanning With Pointwise Probe Correction“, *Transactions on Antennas and Propagation*, IEEE, Volume: pp, Issue: 99, Dec. 2016
- Cristallini, D.; Walterscheid, I.:** „Joint Monostatic and Bistatic STAP for Improved SAR-GMTI Capabilities“, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 54, Issue 3, pp. 1834-1848, March 2016
- Cristallini, D.; Walterscheid, I.:** „Joint Monostatic and Bistatic STAP for Improved SAR-GMTI Capabilities“, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 54, no. 3, pp. 1834-1848, March 2016
- Gracheva, V.; Ender, J.:** „Multichannel Analysis and Suppression of Sea Clutter for Airborne Microwave Radar Systems“, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, no. 4, pp. 2385-2399, April 2016.
- Hasenaecker, G.; van Delden, M.; Jaeschke, T.; Pohl, N.; Aufinger, K.; Musch, T.:** „A SiGe Fractional-Frequency Synthesizer for mm-Wave Wideband FMCW Radar Transceivers“, in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 64, no. 3, pp. 847-858, March 2016.
- López-Rodríguez, P.; Escot-Bocanegra, D.; Poyatos-Martínez, D.; Weinmann, F.:** „Comparison of Metal-Backed Free-Space and Open-Ended Coaxial Probe Techniques for the Dielectric Characterization of Aeronautical Composites“, *Sensors* 2016, Vol. 16, Iss. 7, 967.
- McDonald, M.; Cerutti-Maori, D.:** „Clairvoyant radar sea clutter covariance matrix modelling“, *IET Radar, Sonar & Navigation*, DOI: 10.1049/iet-rsn.2016.0103.
- McDonald, M.; Cerutti-Maori, D.:** „Coherent Radar Processing in Sea Clutter Environments Part 1: Modelling and Partially Adaptive STAP Performance“, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Volume 52, No. 4, pp. 1797-1817, August 2016
- McDonald, M.; Cerutti-Maori, D.:** „Coherent Radar Processing in Sea Clutter Environments Part 2: Adaptive Normalised Matched Filter versus Adaptive Matched Filter Performance“, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Volume 52, No. 4, pp. 1818-1833, August 2016,
- Palm, S.; Sommer, R.; Hommes, A.; Pohl, N.; Stilla, U.:** Mobile Mapping by FMCW Synthetic Aperture Radar Operating at 300 GHz, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B1, pp. 81-87, June 2016.
- Ribalta, A.:** „ Error analysis of Filon’s method for the numerical computations of Fourier integrals“, *IMA Journal of Numerical Analysis* Magnard, C.; Frioud, M.; Small, D.; Brehm, T.; Meier, E.: „Analysis of a Maximum Likelihood Phase Estimation



Method for Airborne Multi-baseline SAR Interferometry", IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, Vol. 9, No. 3, pp. 1072-1085, March 2016

**Rodriguez-Ulibarri, P.; Bertuch, T.:** „Microstrip-fed complementary Yagi-Uda antenna, IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 10, no. 9, pp. 926-931, June 2016

**Rodríguez-Ulibarri, P.; Crépin, T.; Martel, C.; Boust, F.; Falcone, F.; Löcker, C.; Herbertz, K.; Bertuch, T.; Dousset, T.; Martinaud, J.-P. Maci, M.; Marcotegui, J. A.; Beruete, M.:** „Experimental demonstration of meta-materials application for mitigating scan blindness in phased array antennas", EPJ Applied Metamaterials, Volume 3, DOI <http://dx.doi.org/10.1051/epjam/2016010>, Oct. 2016

**Weinmann, F.** „Adaptive and Automated Multi-Level Uniform Space Division for

Acceleration of High-Frequency EM Simulations" accepted for publication in IEEE Antennas and Propagation Magazine.

**Welp, B.; Noujeim, K.; Pohl, N.:** A Wideband 20 to 28 GHz Signal Generator MMIC with 30.8 dBm Output Power Based on a Power Amplifier Cell with 31% PAE in SiGe, IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 51, no. 9, pp. 1975-1984, Sept. 2016.

**Konferenzbeiträge**

**Bareth, G.; Bolten, A.; Bongartz, J.; Jenal, A.; Kneer, C.; Lussem, U.; Waldhoff, G.; Weber, I.:**

Single tree detection in agro-silvo-pastoral systems from high resolution digital surface models obtained from UAV- and gyrocopter-based RGB-imaging; World Congress Silvo-Pastoral Systems, Portugal, 2016

**Baruzzi A.; Schwark C.; Bournaka G.; Cristallini D.; Kuschel, H.:** „Multipath Clutter Cancellation and Tracking Algorithms for Passive Radars“, IEEE Radar Conference, Philadelphia/US, CD Rom, Mai 2016,

**Baruzzi, A.; Bournaka, G., Cristallini, D.; Kuschel, H.; Boeniger, U.; Schuepbach, C.:** „UAVs detection and tracking with a Multi-Channel Passive bistatic radar“, NATO SET 231 Specialist's Meeting, Lissabon/POR, Oct. 2016

**Baruzzi, A.; Schwark, C.; Bournaka, G.; Cristallini,**

**D.; Kuschel, H.:** „Multipath clutter cancellation and tracking algorithms for passive radars“, 2016 17th International Radar Symposium (IRS), Mai 2016, pp. 1-4, Krakow

**Berens, P.:** „SAR image formation by backprojection of range velocity segments“, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016

**Berizzi, F.; Saverino, A.; Conti, M.; Briskens, S.; Ummenhofer, M.; Samczynski, P.; Baczyk, M.:** „Imaging of Moving Targets with Passive Radar: The MAPIS project“, NATO SET 231 Specialist's Meeting, Lissabon/POR, Oct. 2016

**Biallawons, O.; Klare, J.; Klenke, R.; Panhuber, R.:** „MIMO concept for the imaging radar of the radar warning and information system RAWIS“, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016

**Bongartz, J.; Jenal, A.; Kneer, C.; Weber, I.; Baschek, B.; Fricke, K.; Schöl, A.; Wyrwa, J.:**

Ortsaufgelöste Messung der Wasseroberflächentemperatur an der Hahnöfer Nebenelbe mit einem Tragschrauber; Tag der Hydrologie 2016, Volume: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 37.16 (DOI: 10.14617/for.hydrol.wasbew.37.16) Pages: 239-249, Koblenz

**Böniger, U.; Ott, B.; Wellig, P.; Aulenbacher, U.; Klare, J.; Nussbaumer, T.; Leblebici, Y.:** „Detection of mini-UAVs in the presence of strong topographic relief – a multi-sensor perspective“, SPIE Security + Defence 2016

**Bournaka, G.; Heckenbach, J.; Baruzzi, A.; Cristallini, D.; Kuschel, H.:** „A two stage beam-forming approach for low complexity CFAR detection and localization for passive radar“, IEEE Radar Conference, Philadelphia/US, Mai 2016

**Brandt, C.; Kieninger, M.; Negara, C.; Gruna, G.; Längle, T.; Küter, A.:**

**Nüßler, D.:** Sorting of black plastics using statistical pattern recognition on terahertz frequency domain data. 7th Sensor-Based Sorting & Control 2016, February 23rd-24th, Aachen, 2016

**Briskens, S.; Tran, Hai-Tan:** „On spatial Aspect Decorrelation in SAR and ISAR“, IEEE SAM 2016, pp. 1-5, Rio de Janeiro/BRA, Juli 2016

**Brüggenwirth, S.:** „Design and Implementation of a Three-layer Cognitive Radar Architecture“ 2016, IEEE Proceedings of the Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers

**Bürger, W.; Perna, I.:** „Knowledge Aided STAP/ GMTI with Subarrayed AESA Radar“, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016

**Caris, M.; Stanko, S.; Johannes, W.; Sieger, S.; Pohl, N.:** „Detection and Tracking of Micro Aerial Vehicles with Millimeter Wave Radar“, Proceedings

of European Microwave Week, London, 2016

**Cetinkaya, H.; Kueppers, S.; Herschel, R.; Pohl, N.:** Comparison of Near and Far Field Focusing Patterns for Two-Dimensional Sparse MIMO Arrays in Proc. 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Switzerland, April 10.-15., 2016.

**Dakovic, M.; Stanković, I.; Ender, J.; Stanković, L.:** „Sample selection strategy in DFT based compressive sensing”, 2016 24th Telecommunications Forum (TELFOR), pp. 1-4. doi: 10.1109/TELFOR.2016.7818825, Belgrade, 2016

**Dankmayer, A.:** Atmospheric Effects for Air- and Spaceborne SAR revisited, Proceedings of European Conference on Synthetic Aperture Radar, Hamburg, 2016

**Dankmayer, A., Förster, F., Colditz, P., Biegel, G.,**

**Brehm, T.:** „North Sea Millimeterwave Propagation Experiment”, Proceedings of International Radar Symposium, Krakow, 2016

**Dankmayer, A., Förster, J., Biegel, G., Colditz, P., Brehm T.:** „Multifrequency RF-Measurements and Characterisation of Propagation Conditions in the Maritime Boundary Layer”, Proceedings of IEEE AP-S Conference 2016, Puerto Rico

**Ender, J.; Giovanneschi, F.; Fuhrmann, L.:** „Concepts for 3D MIMO imaging of buildings”, Proceedings of EUSAR 2016: 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Hamburg, pp. 1-4, 2016

**Fischer, B.; Antoine, C. P.; Krebs, C.; Gütgemann, S.; Nüßler, D.; Pohl, N.; Krauthäuser, H.:** „Radar width measurement system for hot rolling mills”, 10th International Rolling Conference and the 7th European Rolling Conference, Juni 2016,

**Fontana, A.; Berens, P.; Staglianò, D.; Martorella, M.:** „3D InSAR target reconstruction using airborne PAMIR data”, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016

**Fontana, A.; Berens, P.; Staglianò, D.; Martorella, M.:** „3D ISAR/SAR imaging using multichannel real data”, IEEE Radar Conference, Philadelphia, PA, USA, Mai 2016

**Fricke, K.; Baschek, B.; Jenal, A.; Kneer, C.; Weber, I.; Bongartz, J.; Wyrwa, J.; Schöl, A.:** Correction and evaluation of thermal infrared data acquired with two different airborne systems at the Elbe estuary. Proc. SPIE 9999, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2016, 99990E; doi:10.1117/12.2241182, October 19, 2016

**Geibig, T.; Shoykhetbrod, A.; Hommes, A.; Herschel, R.; Pohl, N.:** Compact 3D imaging radar based on FMCW

driven frequency-scanning antennas, 2016 IEEE Radar Conference (RadarConf), pp. 1-5. doi: 10.1109/RADAR.2016.7485168, Philadelphia, PA, 2016

**Giacomini, A.; Foged, L. J.; Riccardi, A.; Pamp, J.; Cornelius, R.; Heberling, D.:** „Improving the Cross-Polar Discrimination of Compact Antenna Test Range using the CXR Feed”, Antenna Measurement Techniques Association (AMTA), Austin, Texas USA, Oktober/November 2016

**Gracheva, V.; Ender, J.:** „Eigenvalue Analysis of Airborne Multichannel Sea Data for Ocean Monitoring,” Proceedings of EUSAR 2016: 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Hamburg, pp. 1-6., 2016

**Gütgemann, S.; Krebs, C.; Nüßler, D.; Fischer, B.; Krauthäuser, H.:** „Radar Technology In Hot Rolling Mills”, 2016 IRMMW-THz, Copenhagen

- Herschel, R.; Briese, G.; Lang, S. A.; Pohl, N.:** Focused Imaging by Geometric Optics for Real-Time Passenger Screening at Sub-Millimetre Wave Frequencies in Proc. European Radar Conference (EuRAD), London, Great Britain, Oct. 6.-7., 2016
- Herschel, R.; Briese, G.; Lang, S. A.; Pohl, N.:** Focused Imaging by Geometric Optics for Real-Time Passenger Screening at Sub-Millimetre Wave Frequencies, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016
- Herschel, R.; Lang, S. A.; Pohl, N.:** MIMO imaging for Next Generation Passenger Security Systems in Proc. 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Hamburg, June 6.-9., 2016.
- Herschel, R.; Lang, S.; Pohl, N.:** Sensor Fusion supporting High Resolution Radar for Security Applications in Proc. 11th Future Security Conference, Berlin, Sept. 13.-14., 2016.
- Herschel, R.; Nowok, S.; Zimmermann, R.; Lang, S. A.; Pohl, N.:** MIMO Based 3D Imaging System at 360 GHz, SPIE DEFENSE +COMMERCIAL SENSING 2016, Baltimore, USA, April/2016
- Hommes, A.; Shoykhetbrod, A.; Noetel, D.; Stanko, S.; Laurenzis, M.; Hengy, S.; Christnacher F.:** „Detection of acoustic, electro-optical and RADAR signatures of small unmanned aerial vehicles“, Proc. SPIE 9997, Target and Background Signatures II, 999701; doi:10.1117/12.2242180., October 25, 2016
- Jaeschke, T.; Bredendiek, C.; Kueppers, S.; Schulz, C.; Baer, C.; Pohl, N.:** Cross-Polarized Multi-Channel W-band Radar for turbulent Flow Velocity Measurements in Proc. 2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), San Francisco, CA, May 22.-27., 2016.
- Klare, J.; Biallawons, O.; Cerutti-Maori, D.:** „Detection of UAVs using the MIMO radar MIRA-CLE Ka“, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016
- Kneer, C.; Jenal, A.; Weber, I.; Bongartz, J.:** Ein adaptives und kompaktes Fernerkundungssystem für UL-Fluggeräte – Konzept und Anwendungen; Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF, Volumen: 25, Pages: 89 - 96, Bern, Schweiz
- Küter, A.; Reible, S.; Nüßler, D.; Brandt, C.; Werner, T.; Kieninger, M.; Negara, C.; Gruna, G.; Längle, T.:** Terahertz Imaging for Recycling of Black Plastics. 7th International Workshop on Terahertz Technology and Applications, March 15th-16th, Kaiserslautern, 2016
- Lang, S.:** „Sensor Fusion Fundamentals for 3D Object Imaging with Synthetic Aperture Radar and Time-of-Flight-Camera“, International Microwave Symposium, IMS, San Francisco, USA, Mai 2016
- Liontas, C.A.; Knott P.:** „An Alternating Projections Algorithm for optimizing electromagnetic fields in regional hyperthermia“, European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Switzerland, April 2016
- McDonald, M.; Cerutti-Maori, D.:** „Two component models for simulation of coherent clutter from multi-phase centre airborne radars“, Proceedings NATO-SET-239 on Maritime Radar Surveillance from Medium and High Grazing Angle Platforms, Edinburgh, GBR, October 2016
- Loecker, C.; Galvis Salzburg, C.; Herberich, K.; Bertuch, T.:** „Series Feeding Network with Tailored Dispersion Compensation Lines“ 2016 International Workshop on Metamaterial-By-Design, 2016, Riva Del Garda, Italien, December 1.-16.
- Matthes, D.:** „Coherent Electronic Attack to Passive

- Radar", NATO SET-SCI-230 STO Specialist's Meeting, April 2016, CD ROM, Den Haag/NL
- Matthes, D.:** „Störverfahren gegen moderne Radarverfahren“, Symposium „Elektronischer Kampf der Luftwaffe“, BizBw Mannheim, Januar 2016
- Noetel, D.; Johannes, W.; Caris, M.; Hommes, A.; Stanko, S.:** „Detection of MAVs (Micro Aerial Vehicles) based on millimeter wave radar“, Proc. SPIE 9993, Millimetre Wave and Terahertz Sensors and Technology IX, 999308; doi:10.1117/12.2242020., October 21, 2016
- Noetel, D.; Kloeppe, F.; Sieger, S.; Janssen, D.; Pohl, N.:** „MIRANDA 35 GHz SAR based change detection“, 2016 German Microwave Conference (GeMiC), Bochum, Germany, pp. 197-200., March 14.-16., 2016
- Nowok, S.; Herschel, R.; Zimmermann, R.; Shoykhetbrod, A.; Lang, S. A.; Pohl, N.:** „3D Imaging System based on a MIMO Approach at 360 GHz for Security Screening“, Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Shanghai, August 2016
- Nüßler, D.; Gruna, G.; Brandt, C.; A. Küter, Längle T.; Kieninger, M.; Pohl, N.:** Innovative Technologies as Enabler for Sorting of Black Plastics in Proc. 19th World Conference on Non-Destructive Testing 2016, Munich, 13.-17. June 2016.
- Nüßler, D.; Schubert, M.; Reible, S.; Kose, S.; Rosenthal, T.; Salman, R.; Pohl, N.:** T-Sense - the New Generation of Non-Contact Transmission Imaging with Non-Ionizing Radiation in Proc. 19th World Conference on Non-Destructive Testing 2016, Munich, Germany, 13-17 June 2016.
- Palm, S.; Sommer, R.; Caris, M.; Pohl, N.; Stilla, U.:** „Ultra-High Resolution SAR in Lower Terahertz Domain for Applications in Mobile Mapping“, German Microwave Conference (GeMiC), Bochum, Germany, pp. 205-208, March 14-16, 2016
- Palm, S.; Sommer, R.; Hommes, A.; Pohl, N.; Stilla, U.:** „Mobile Mapping by FMCW synthetic aperture Radar operating at 300 GHz“, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016, XLI-B1: 81-87
- Palm, S.; Sommer, R.; Pohl, N.; Stilla, U.:** „Airborne SAR on circular trajectories to reduce layover and shadow effects of urban scenes“, Proc. SPIE 10008, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments, Edinburgh, 2016
- Panhuber, R.; Biallawons, O.; Klenke, R.; Klare, J.:** „Hardware Design and Realization of Transmit and Receive Paths for the Imaging MIMO Radar of the Radar Warning and Information System RAWIS“, EURAD 2016, London, Oktober 2016
- Panhuber, R.; Klenke, R.; Biallawons, O.; Klare, J.:** „System Concept for the imaging MIMO Radar of the Radar Warning and Information System RAWIS“, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016
- Persico, A.; Ilioudis, Ch.; Clemente, C.; Brüngenwirth, S.; Bieker, T.; Soraghan, J.:** „Ballistic Targets Discrimination based on High Resolution Range Profiles“, Proceeding of the 11th IMA International Conference on Mathematics in Signal Processing, Birmingham, 2016
- Poisson, J.-B.; Fabbro, V.; Castanet, L.; Marcellin, J.-P.; Boulanger, X.; Förster, J.; Böhler, C.; Gallus, M.; Ulland, A.; Biegel, G.; Brehm, T.; Danklmayer, A.; Hurtaud, Y.:** „Analysis of radar sea clutter data acquired during the MARLENE measurement campaign“, Proceedings of

- IEEE AP-S Conference 2016, Puerto Rico, 2016
- Poisson, J.-B.; Fabbro, V.; Castanet, L.; Marcellin, J.-P.; Boulanger, X.; Förster, J.; Böhrer, C.; Gallus, M.; Ulland, A.; Biegel, G.; Brehm, T.; Danklmayer, A.; Hurtaud, Y.:** Analysis of radar sea clutter data acquired during the MARLENE measurement campaign, Proceedings of IEEE AP-S Conference 2016, Puerto Rico, 2016
- Prünthe, L.:** „Compressed Sensing for Removing Moving Target Artifacts and Reducing Noise in SAR Images“, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016
- Prünthe, L.:** „Compressed Sensing for the detection of moving targets from short sequences of pulses“, CoSeRa 2016
- Reible, S.; Herschel, R.; Brauns, R.; Nübler, D.; Pohl, N.:** Synthesis and Design of Narrowband Bandpass Filters in Waveguide Technique Bandwidth
- in Proc. German Microwave Conference (GeMiC) 2016, Bochum, March 14-16, 2016.
- Schwark, C.; Cristallini, D.:** „Advanced Multipath Clutter Cancellation in OFDM-Based Passive Radar Systems“, IEEE Radar Conference, Mai 2016, Philadelphia/US
- Shakhtour, H.; Heberling, D.:** „Phase-less Spherical Near-Field Antenna Characterization: A Case Study and Comparison“, Antenna Measurement Techniques Association (AMTA), Austin, Texas USA, Oktober/November 2016
- Shoykhetbrod, A.; Geibig, T.; Hommes, A.; Herschel, R.; Pohl, N.:** Concept for a fast tracking 60 GHz 3D-RADAR using frequency scanning antennas, 41st International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz), 2016, pp. 1-3. doi: 10.1109/IRMMW-THz.2016.7758541, Copenhagen, Denmark,
- Slim, J.; Herberling, D.; Nass, A.; Rathmann, F.; Soltar, H.:** „Design of the electrical circuit of the new RF Wien Filter at COSY-Jülich“, International Spin Symposium (Spin), Illinois, Indiana USA, September 2016
- Stanko, S.; Palm, S.; Sommer, R.; Klöppel, F.; Caris, M.; Pohl, N.:** Millimeter Resolution SAR Imaging of Infrastructure in the Lower THz Region using MIRANDA-300 in Proc. 13th European Radar Conference (EuRAD), London, Oct. 6.-7., 2016.
- Stove, A.; Galati, G.; Wasserzier, C.:** „Design of a Noise Radar Demonstrator“, IRS 2016, Mai 2016, Krakow/PL, CD ROM
- Thomas, S.; Bredendiek, C.; Jaeschke, T.; Vogelsang, F.; Pohl, N.:** A Compact, Energy-Efficient 240 GHz FMCW Radar Sensor with High Modulation Bandwidth in Proc. German Microwave Conference (GeMiC) 2016, Bochum,
- Germany, March 14-16, 2016.
- Uschkerat, U.:** „Vom senkrecht schauenden zum vorwärts schauenden Ground Penetrating Radar“, C-IED Konferenz 2016, Mannheim
- van der Ven, H.; Liontas, C.A.; Cools K.; van der Heul, D.R.:** „On the accuracy of different boundary integral formulations for dielectric bodies using RWG and BC functions“, European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Switzerland, April 2016
- Vaupel, T.:** „A MFIE/ Volume Integral Equation Approach with Minimum Discretization Effort for Substrate Integrated Waveguide Structures and Leaky Wave/Slot Antennas“, IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Fajardo, Puerto Rico, Juni 2016
- Vaupel, T.:** „A Fast 3-D Cylindrical Scanning Near-

Field ISAR Imaging Approach With Extended Far-Field RCS Extraction Based On a Modified Focusing Operator", Proceedings of EUSAR 2016: 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Hamburg, Germany, 2016

**Wagner, S.; Dommermuth, F.; Ender, J.:** „Detection of Jet Engines via Sparse Decomposition of ISAR Images for Target Classification Purposes“, European Radar Conference 2016, pp. 77-80., London, 2016

**Wagner, S.:** „Radar ATR by a combination of Convolutional Neural Network and Support Vector Machines“, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Journal-Veröffentlichung

**Wagner, S.:** „Radar Target Identification using Deep Learning“, NATO Specialists Meeting SCI-SET-230 on Reconfigurable and Scalable Multi-Function RF Systems

in a Congested EM Spectrum, Den Haag, NL

**Walterscheid, I.; Smith, G.E.; Ender, J.; Baker, C.:** „Experimental demonstration of distributed MIMO imaging“, EUSAR 2016, Hamburg, Juni 2016

**Walterscheid, I.; Smith, G.E.; Ender, J.; Baker, C.:** „Experimental demonstration of distributed MIMO imaging“, Proceedings of EUSAR 2016: 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, pp. 1-4., Hamburg, 2016

**Wang, S.; Nolden, V.; Briese, G.; Lang, S. A.; Pohl, N.:** Effects of Radar Position Errors on Near Range Ultrawideband 3D-SAR Imaging in Proc. 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Hamburg, Germany, June 6.-9., 2016.

**Weinmann, F.:** „EM Modelling of Radar Signatures of Targets Behind Wind Farms – A Time-Gating Ray Tracing Approach“, 2016

European Radar Conference Technology 2016 (EuRAD), 3.-7. October 2016, London.

**Weinmann, F.; Worms, J. G.:** „EM Scattering Effects Caused by Wind Turbines“, EuCAP 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation, 10-14 April 2016, Davos, Switzerland.

**WeiB, M.:** „Group Sparsity Techniques for Data Fusion of a SIMO passive Radar Network“, IRS 2016, Mai 2016, Krakow/PL

**WeiB, M.:** „Single Frequency Surveillance Radar Network using an adapted l1 Minimization Approach for Extended Targets“, CoSeRa 2016, Aachen, Sept. 2016

**Wilden, H.; Kirchner, C.; Peters, O.; Ben Bekhti, N.; Brenner, A.; Eversberg, T.:** „GESTRA – A Phased-Array based surveillance and tracking Radar for Space Situational Awareness“, IEEE International Symposium on Phased Array Systems and

### Sonstige Vorträge auf wissenschaftlichen Veranstaltungen

**Bertuch, T.:** „Antennenentwurf für Automotive-Anwendungen“, Workshop: Geschäftsfeld Verkehr, Fraunhofer FHR, Wachtberg, November 2016

**Brenner, A.; Wilden, H.:** „GESTRA – Ein experimentelles Phased-Array-Radar für die Weltraumüberwachung“, Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland, 23-25.02.2016, Bonn

**Brüggenwirth, S.:** „Cognitive Architecture for UAV Sensor-management“, European Defense Agency EDA, Workshop on small-UAV payload, 13-14.04.2016

**Brüggenwirth, S.:** „Kognitives Radar am FHR“, Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland, 23-25.02.2016, Bonn

**Ender, J.:** „Grundsätze und Einsatzmöglichkeiten von Compressive Sensing und Sparse Representation in der bildgebenden Sensorik“, 31. Optik-Kolloquium ITO Stuttgart, „Optik in einer digitalen Welt“, 11.02.2016

**Ender, J.:** „Radar für Verteidigung und Sicherheit - aktuelle Forschung beim Fraunhofer FHR“, Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland, 23-25.02.2016, Bonn

**Ender, J.:** „RADAR – bedeutsame Entwicklungen und neue Konzepte“, Symposium zum Abschied als Institutsleiter, 19. April 2016, Bonn-Bad Godesberg

**Ender, J.; Leushacke, L.; Wilden, H.; Berizzi, F.; Dalle Mese, E.; Martorella, M.:** „Status and plans on Space Situational Awareness“, NATO SET Panel Business Meeting,

Den Haag, 20.04.2016

**Ender, J.:** „Progress in Radar Systems and Techniques for Space Surveillance and Reconnaissance“, Symposium on Considerations for Space and Space-Enabled Capabilities in NATO coalition operations, Loughborough University, 17. May 2016

**Ender, J.:** „Compressive Sensing Theory and the Real World“, Keynote speech at CoSeRa 2016, 21. Sept. 2016, RWTH Aachen

**Ender, J.:** „Compressive Sensing Techniken für Radaranwendungen“, Radarsymposium Airbus, Ulm, 11. November 2016

**Ender, J.:** „RADAR – bedeutsame Entwicklungen und neue Konzepte“, Festvortrag anlässlich der Verleihung des VDE-Promotionspreises 2016, Ruhr Universität Bochum, 24. November 2016

**Gonzalez-Huici, M.:** Workshop Geschäftsfeld Verkehr, „Signal Processing for Automotive Radar“, 23. November, 2016, Wachtberg

**Herschel, R.; Lang, S.; Pohl, N.:** „TeraSCREEN – THz imaging for future passenger security systems“ 03/2016, 7th International Workshop on Terahertz Technology and Applications, 03/2016, Fraunhofer IPM, Kaiserlautern

**Klare, J.:** „Sicherung der Rettungskräfte bei Katastrophen und komplexen Einsatzlagen mit dem Radarsystem RAWIS“, BMBF-Innovationsforum „Zivile Sicherheit“, Berlin, April 2016

**Kohlleppel, R.:** „Radar signal processing for space surveillance“, 8th International Summer School on Radar / SAR, Fraunhofer FHR, Juli 2016



## Sonstige Veröffentlichungen

**Pohl, N.:** „Integrierte SiGe Schaltungen für die Radartechnik“, Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland, 23-25.02.2016, Bonn

**Wagner, S.:** „Introduction to Radar Systems“, Compressed Sensing in Information Processing Winter Retreat

**Weinmann, F.:** „Electromagnetic Modelling of Vehicles and Complex Scenarios“, Workshop: Geschäftsfeld Verkehr, Fraunhofer FHR, Wachtberg, November 2016

**Bertuch, T.:** „Elektronisch schaltbares Reflektorelement für Parallelplatten- oder Oberflächenwellen und dessen Anwendung“, Offenlegungsschrift, DE 10 2014 017 621 A1, erteilt Aug. 2016, Laufzeitbeginn Nov. 2014

**Brüggewirth, St.:** „Entwicklung und Anwendung einer kognitiven Systemarchitektur zur UAV-Missionsplanung“ DGLR Mitglieiderschrift „Luft- und Raumfahrt“

**Jelali, M., Zander, D., Nüßler, D.:** Inline Messen mit Radartechnik- eine neue Revolution in der Prozessautomation?, Fachzeitschrift: „Stahl und Eisen“, Ausgabe: 01/2016

**McDonald, M.; Angelliaume, S.; Bickert, B.; Cerutti-Maori, D.; Cochin, C.; Caro Cuenca, M.; Fabbro, V.; Fiche, A.; Greig, D.; Griffiths, H.; Johnsen, T.; Khenchaf, A.;**

**Kirscht, M.; Mietzner, J.; Mountford, C.; Ritchie, M.; Rosenberg, L.; Stehwein, W.; van Rossum, W.; Ward, K.; Watts, S.:** „Maritime Radar Surface Surveillance Techniques and the High Grazing Angle Challenge“, Final report NATO-SET-185, 2016.

**Nüßler, D.:** „Technologien für Recycling und Ressourcenmanagement blackValue - Sortenreine Trennung von schwarzen Kunststoffen im industriellen Maßstab“, Fachforum Nachhaltigkeit: WiProNa-Jahrestreffen, 06 Dezember

# GREMIENTÄTIGKEITEN

## Bartsch, G.

- EDA's CapTech Networks of Experts: Member
- Interessengemeinschaft Deutsche Luftwaffe (IDLw) e.V.
- Deutsche Gesellschaft für Wehrtechnik (DWT) e.V.

## Berens, P.

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Program Committee

## Brenner, A.

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Program Committee

## Brüggewirth, S.

- IEEE AES, Germany Chapter, Secretary
- European Defense Agency, RADAR-CapTech, German Government Expert

## Cristallini, D.

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Technical Program Committee

## Cerutti-Maori, D.

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Technical Program Committee
- IGARSS 2016: Scientific Committee member

## Danklmayer, A.

- EuCAP 2016: Technical Program Committee
- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Technical Program Committee
- IGARSS 2016: Technical Program Committee

- GEMIC 2016: Technical Program Committee
- Mitglied im Fachausschuss Radartechnik der DGON (Deutscher Gesellschaft für Ortung und Navigation)
- VDI-ITG Fachausschuss 7.5 Wellenausbreitung, Member

## Ender, J.

- IRS 2016: Technical Program Committee
- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Technical Program Board
- CoSeRa 2016: Vice Chair
- Mitglied im Rat der DGON (Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation)
- Fellow des IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers)
- VDI-ITG Fachbereich 7: Fachbereichsleiter Hochfrequenztechnik

## Heberling, D.

- Vorsitzender des ITG-Fachausschuss 7.1 „Antennen“
- Mitwirkender der europäischen Antennen-Kompetenzprojekte COST 260, COST 284, IC0603 und IC1102
- Deutscher Delegierter und Grantholder des europäischen Antennen-Kompetenzprojektes COST IC1102
- Mitorganisator der jährlichen internationalen Antennenkonferenz EuCAP
- Mitglied des Steering Committees EuCAP
- Wissenschaftlicher Beirat des ZESS (Zentrum für Sensorsysteme, Siegen)

## Klare, J.

- International conference on Computers, Data Management and Technology Applications (ICCDMTA): Technical Program Committee (TPC)

- IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE): Technical Program Committee (TPC)
- European Conference on Synthetic Aperture SAR (EUSAR): Technical Program Committee (TPC)
- European Radar Conference (EuRAD): Technical Program Committee (TPC)

#### **Klemm, R.**

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Honorary Member; Program Committee

#### **Knott, P.**

- 7.1 Antennen der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG): Stellv. Vorsitzender
- Capability Technology Area (CapTech) IAP2 - RF Sensor Systems & Signal Processing Panel, European Defence Agency (EDA): CapTech Governmental Expert (CGE)
- Executive Committee (Vorstand) des IEEE Microwave Theory and Techniques (MTT) / Antennas and Propagation (AP) Joint Chapter: Chair
- Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON) e.V.: Mitglied im Wiss. Beirat und Vorsitzender des Fachausschuss Radartechnik

#### **Kuschel, H.**

- DMPAR verification of short term solution (SET 195), Chairman
- Multi-band, multi-mode radar (SET231), Chairman

#### **Matthes, D.**

- Solutions Advancing next Generation Radar Electronic Attack (NATO-SCI 281) , Chairman

#### **Nüßler D.**

- Fraunhofer Allianz Vision (FHR Vertreter)
- FHR Vertreter in der DGZfP
- Programkomitee OCM 2017
- European Radar Conference (EuRAD): Technical Program Committee (TPC)
- German Microwave Conference (GEMIC): Technical Program Committee (TPC)

#### **Perna, I.**

- Young Professionals Conference on Remote Sensing, Oberpfaffenhofen, Germany: Organizing Committee

#### **Pohl, N.**

- vMTT-16 Microwave Systems Committee: Mitglied
- VDE-ITG-Fachausschusses 7.3 „Mikrowellentechnik“ (Informationstechnische Gesellschaft im Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.): Mitglied
- U.R.S.I. (International Union of Radio Science: Mitglied der Kommission A: Elektromagnetische Metrologie
- IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (ISVLSI), Track Chair für Analog and Mixed-Signal Circuits
- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Technical Program Committee (TPC)
- IEEE Topical Meetings on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SIRF): TPC Chair & Executive Committee
- International Microwave Symposium (IMS): Technical Program Review Committee & Student Design Competition Organizer
- IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting (BCTM), Chair des Wireless Subcommittee seit 2016
- European Radar Conference (EuRAD): Technical Program

Committee (TPC) Chair

- German Microwave Conference (GEMIC): Co-Chair und TPC Chair 2016

**Prünke, L.**

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Program Committee
- CoSeRa 2016, Aachen: Technical Programme Chair

**Ribalta, A.**

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Program Committee

**Stanko, S.**

- German Microwave Conference (GEMIC): Technical Program Committee (TPC)

**Uschkerat, U.**

- EDA-RFST, National Expert
- NATO-SET-208, Co-Chair

**Walterscheid, I.**

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): Program Committee

**Weinmann, F.**

- EuCAP 2016, Davos: Session Chairman

▪

**Weiß, M.**

- European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR): EUSAR-Executive, Technical Program Committee (TPC)
- CoSeRa 2016: Technical Chair
- International Radar Symposium (IRS): Technical Program Committee (TPC)
- European Radar Conference (EuRAD): Technical Program Committee (TPC)



# AUSZEICHNUNGEN

**Baruzzi, A.:** „Young Scientist Award“, IRS 2016, Krakau/PL

**Kuschel, H.:** NATO CSO S&T medal

**Ender, J.:** Fraunhofer Medaille, April 2016

**Wagner, S.:** EURAD Radarprize, Titel: „Detection of Jet Engines via Sparse Decomposition of ISAR Images for Target Classification Purposes“, EuMA European Microwave Association

# VERANSTALTUNGEN

## Tagungsorganisation

Girls Day, 28. April 2016, Wachtberg

7<sup>th</sup> Int. Summer School on Radar/SAR, 17.-22. Juni 2016, Rolandseck

6. Wachtberg-Forum, 30. Juni 2016, Wachtberg

International Workshop on Compressed Sensing Theory and it's Applications to Radar, Sonar an Remote Sensing (CoSeRa), 19.-22. September 2016, Aachen

Internationaler Wissenschaftscampus 19.-22. September 2016

SET231 Specialist Meeting on „Multi-band , multi-mode radar“, 17.-20. Oktober 2017, Lissabon/POR

NATO SET 235-Lecture Series, 24.Oct. - 25.Oct. 2016, Lisboa (PRT), 27.Oct.-28.Oct. 2016, Ljubljana (SVN),

31.Oct.-1.Nov. 2016, Sofia (BGR), 3.Nov.-4.Nov. 2016, Warszawa (POL)

1. Workshop Geschäftsfeld Verkehr, 23. November 2016, Wachtberg

Specialist Meeting About Electromegnetic Waves and Wind Turbines EMWT'16, 6.-7. Dezember 2016, Wachtberg

## Beteiligung an Messen und Fachausstellungen

Fraunhofer FHR Stand bei der Gemic, 14.-16. März, Bochum

Beteiligung am Messestand der Firma AutoGyro GmbH auf der AERO 2016, 20.-23. April 2016, Friedrichshafen

Beteiligung am Fraunhofer Gemeinschaftsstand beim „49<sup>th</sup> ADB Annual Meeting“, 2.-5. Mai 2016, Frankfurt am Main

Beteiligung am Gemeinschaftsstand von Fraunhofer Vision bei der Messe „Control“, 26.-27. Mai 2016, Stuttgart

Beteiligung am Gemeinschaftsstand von Fraunhofer bei der ILA Berlin Airshow, 1.-4. Juni 2016

Fraunhofer FHR Stand bei dem „19<sup>th</sup> World Congress on Non -Destructive Testing

(WCNDT)“, 13.-17. Juni, München

Beteiligung am Gemeinschaftsstand von Fraunhofer-Allianz Verkehr bei der Messe „SMM“, 6.-9. September 2016, Hamburg

Gemeinschaftsstand mit Fraunhofer IAF und TNO auf der European Microwave Week (EUMW), 4.-6. Oktober, London

Fraunhofer FHR-Stand bei der „Nationalen Konferenz Europäischer Forschungsraum“, 10. Oktober 2016, Berlin  
Beteiligung am Fraunhofer-Vision Technologietag, 19.-20. Oktober, Fürth

Fraunhofer FHR Stand bei der „Security Essen“, 26.-30. Oktober 2016, Essen

Beteiligung am Messestand der Firma AutoGyro GmbH bei der „11<sup>th</sup> Airshow China“, 1.-6. November 2016, Zhuhai

# PRESSESPIEGEL

Datum	Titel	Medium
01.01.16	SAR-Radar gegen Kofferbomben	Wehrwirtschaft
01.01.16	Integration of Frequency Domain Wideband Antenna Nulling and Wavenumber Domain Image Formation for Multi-Channel SAR	International Journal of Antennas and Propagation
05.01.16	Ferngelenkter Roboter untersucht Gepäckstücke	Sicherheit.info
12.01.16	Intelligenter Einsatzhelfer	Offenbach-Post
15.01.16	Bomben-Detektor mit 3-D-Kamera	Trierischer Volksfreund
15.01.16	Ferngelenkter Roboter untersucht Kofferbomben	Elektronik Praxis
18.01.16	Ferngelenkter Roboter untersucht Kofferbomben	Scope-online.de
26.01.16	Robo gegen Bomben	Frankfurter Allgemeine
01.02.16	Radar: Durchblick unter allen Bedingungen	Crisis Prevention
01.02.16	Roboter gegen Kofferbomben	Technology Review
03.02.16	Roboter untersuchen Kofferbomben	MM Maschinenmarkt
03.02.16	Roboter mit Sensoren sucht nach Sprengstoff	Labor Praxis
04.02.16	Terrorbekämpfung	Elektronik Praxis
08.02.16	Roboter untersuchen Bomben	MM Maschinenmarkt
10.02.16	Roboter gegen Kofferbomben	Technology Review
10.02.16	Exkursion zum Super-Radioteleskop in der Eifel und zu einem einzigartigen Radargerät für Weltraumschrott	Rhein-Zeitung
17.02.16	Mobiler Roboter zur Untersuchung von Gepäckstücken	Deutschlandfunk
03.03.16	Fraunhofer Vision auf der Control 2016	inspect-online
18.03.16	Weltraum-Radarstation statt Gewerbe?	Siegener Zeitung
18.03.16	Schneeballeffekt im Orbit verhindern	Siegener Zeitung
19.03.16	Schrott aus dem Orbit im Vesir	Rhein-Zeitung
28.03.16	Neue Kulturinitiative: Eine „Kugel“ für komische Gedichte	Bonner Rundschau
30.03.16	Chefarzt referiert über Herzerkrankungen	Rhein-Zeitung
31.03.16	Hochgenaue Entfernungsmessung mit Radar	Science.Newz
31.03.16	Hochgenaue Entfernungsmessung mit Radar	polyscope.ch
01.04.16	Miniatur-Radarsystem	pro-physik
01.04.16	Hochgenaue Entfernungsmessung mit Radar	wissenschaftler.de
01.04.16	Radarsensoren vereinfachen Entfernungsmessung	Presstext.com



Datum	Titel	Medium
01.04.16	Radarsensoren vereinfachen Entfernungsmessung	prikk
03.04.16	Hochgenaue Entfernungsmessung mit Radar	spotfolio.com
04.04.16	Hochpräzise Entfernungsmessung mittels Radarsensoren	TM20 - Technical Reports
04.04.16	Präzise Entfernungsmessung mit Radar	KE-Next.de
04.04.16	Hochgenaue Entfernungsmessung mit Radar	q-more.com
04.04.16	Hochgenaue Entfernungsmessung mit Radar	chemie.de
14.04.16	Das dritte Auge des Qualitätsers	QualityEngineering Controlex-press Vol. 1
16.04.16	Technologietransfer zum Anfassen - Hochschule Koblenz präsentiert sich auf der Hannover Messe	idw-online
18.04.16	Radarsensor in Chip-Größe	Blechnet.com
18.04.16	Radarsensor in Chip-Größe	MM Maschinenmarkt
26.04.16	Wachtberger Wissenschaftler ausgezeichnet: Joachim Ender erhält Fraunhofer-Medaille	idw-online
26.04.16	Wachtberger Wissenschaftler ausgezeichnet: Joachim Ender erhält Fraunhofer-Medaille	Innovations-Report
27.04.16	Professor Joachim Ender erhält Fraunhofer-Medaille	Blick Aktuell
29.04.16	Hochpräzise, auch bei Null-Sicht	Control Stuttgart Messe Zeitung
10.05.16	Rückenwind für luftgestützte Landminen-Detektion	idw-online
16.05.16	Technologietransfer zum Anfassen - Hochschule Koblenz präsentiert sich auf der Hannover Messe	medizin-aspekte
24.05.16	So kommt das schnelle Internet aufs Land	Die Welt
24.05.16	Multi-Gigabit-Funk über größte Distanzen	IP-Insider
25.05.16	Datenautobahn aufs Land	Die Welt
25.05.16	Datenautobahn aufs Land	Die Welt online
25.05.16	Internet für Hintertupfingen	Die Welt kompakt
30.05.16	Deutsches Forscherteam stellt neuen Übertragungsrekord auf	inside-handy
01.06.16	Sorting black plastics according to type	ScienceDaily
01.06.16	DVD in zehn Sekunden: Neuer Weltrekord bei der Datenübertragung	Techtag

Datum	Titel	Medium
01.06.16	Komisch und lyrisch zugleich	General-Anzeiger Bonn
02.06.16	Fraunhofer-Institute: Schwarze Kunststoffe sortenrein trennen	Plasticker
06.06.16	Mehr Raum für den Gewerbepark Villip	General-Anzeiger Bonn
10.06.16	Wie man schwarze Kunststoffe sortenrein trennt	K-Zeitung
15.06.16	Schwarze Kunststoffe sortenrein trennen	all-electronics
15.06.16	Hochpräzises Radar für die Stahlindustrie	Bayern Metall
18.06.16	Fraunhofer-Institut: Rekord mit Multi-Gigabit-Funk über 37 Kilomete	Golem.de
20.06.16	Eine DVD in nur zehn Sekunden übertragen	Ingenieur.de
21.06.16	Die hohe Kunst des Kunststoffsortierens	MM Maschinenmarkt
23.06.16	World record in terrestrial radio transmission: Multi-Gigabit wireless commu- nication	ScienceDaily
27.06.16	Die hohe Kunst des Kunststoffsortierens	Process-Vogel
27.06.16	Die hohe Kunst des Kunststoffsortierens	MM Maschinenmarkt
01.07.16	Vielseitiger Radar-Winzling	Chemie Technik
01.07.16	Schwarze Kunststoffe sortenrein trennen	IEE
01.07.16	Ein bezahlbares Sortiersystem für schwarze Kunststoffe	EU-Recycling
06.07.16	Anregungen und Kritik zur geplanten Erweiterung	General-Anzeiger Bonn
06.07.16	Exakte Entfernung mit Radar messen	Produktion
21.07.16	Gewerbegebiet soll größer werden	Könische Rundschau
01.08.16	Neue Institutsleitung berufen: Dr. Peter Knott und Prof. Dirk Heberling leiten gemeinsam das Fraunhofer FHR in Wachtberg	NewsKitchen.de
01.08.16	Doppelspitze leitet nun das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik	Kölnische Rundschau
01.08.16	Neue Institutsleitung berufen Dr Peter Knott und Prof Dirk Heberling leiten gemeinsam das Fraunhofer FHR in Wachtberg	NerdGuru.de
01.08.16	Doppelspitze leitet nun das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik	Bonner Rundschau
02.08.16	Eine Doppelspitze für das Fraunhofer-Institut	General-Anzeiger Bonn
02.08.16	Doppelspitze leitet nun das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik	Kölnische Rundschau
03.08.16	Knott und Heberling übernehmen Leitung	Rhein-Zeitung
08.08.16	Peter Knott und Dirk Heberling leiten Fraunhofer FHR	Wehrwirtschaft
09.08.16	Neues Sortiersystem für schwarze Kunststoffe	Produktion
16.08.16	Immer mehr Verpackungsmüll in Deutschland	Wirtschaftswoche
16.08.16	Ausblick auf Westerwald und Ahrgebirge	General-Anzeiger Bonn
17.08.16	INTERVIEW Germany expands a centre for space junk to deal	Thomson Reuter Foundation News

<b>Datum</b>	<b>Titel</b>	<b>Medium</b>
17.08.16	Germany expands a centre for space junk to deal with new threats	Yahoo News
17.08.16	Germany expands a centre for space junk to deal with new threats	Reuters
09.09.16	Bedrohung aus der Luft - Illegale Drohnen	Deutschlandfunk
12.09.16	Schnelle Aufklärung durch Helfer	Behörden Spiegel
26.10.16	Schwarze Kunststoffe aussortieren	Produktion
09.11.16	Leuchtende Forschung auf dem Münsterplatz	General-Anzeiger Bonn
11.11.16	Facebook erreicht Rekord im Richtfunk	Golem.de
15.11.16	"Messe" kommt in die Schule	Kölnische Rundschau
23.11.16	Millionen für die Materialforschung	Westdeutsche Allgemeine
29.11.16	Mehr als 500 komische Gedichte	General-Anzeiger

ANHANG



# STANDORTE

Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR hat insgesamt drei Standorte in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz.

## Hauptsitz und Postanschrift:

Fraunhofer FHR  
Fraunhoferstr. 20  
53343 Wachtberg

Tel.: +49 228 9435-227  
Fax: +49 228 9435-627

info@fhr.fraunhofer.de  
www.fhr.fraunhofer.de

## Institutsteil Wachtberg-Villip

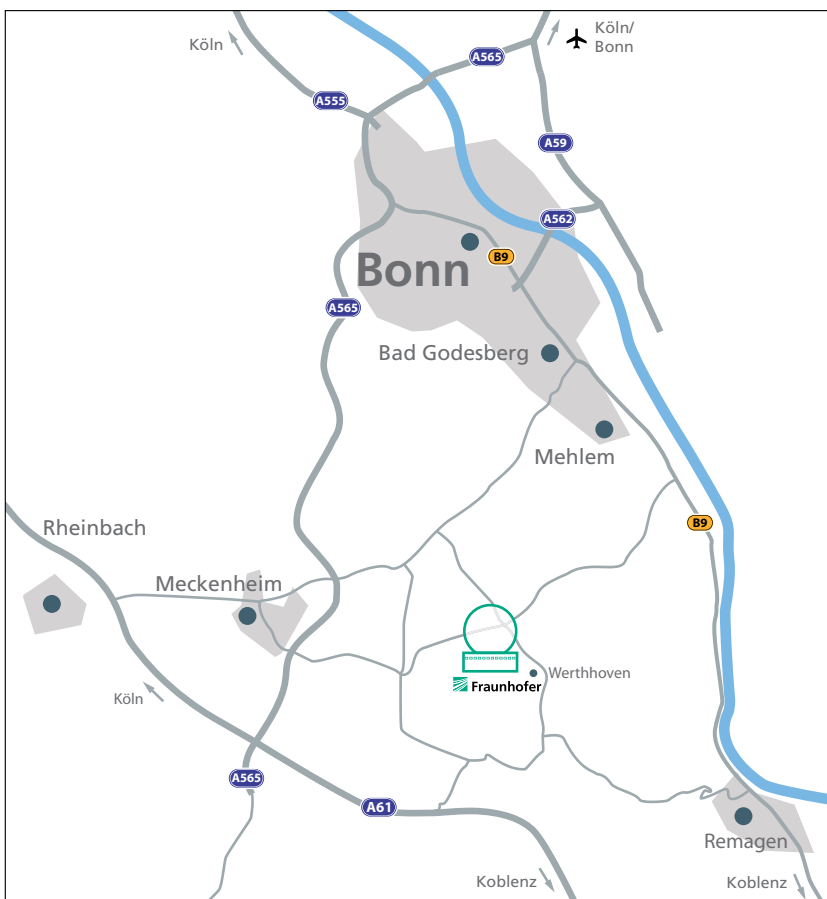
Fraunhofer FHR  
Siebengebirgsblick 22  
53343 Wachtberg-Villip

Tel.: +49 228 9435-159  
Fax: +49 228 9435-192

## Anwendungszentrum Remagen

Fraunhofer-Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik AMLS  
Joseph-Rovan-Allee 2  
53424 Remagen

Tel.: +49 2642 932-427  
Fax: +49 2642 905440-427



# IMPRESSUM

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik  
und Radartechnik FHR  
Fraunhoferstr. 20  
53343 Wachtberg

Tel.: +49 228 9435-227  
Fax: +49 228 9435-627  
info@fhr.fraunhofer.de  
www.fhr.fraunhofer.de

## Redaktion

Dipl.-Volksw. Jens Fiege (Leitung)  
M.Sc. Hanne Bendel  
Dipl.-Biol. Christiane Weber

## Layout und Satz

B.A. Jacqueline Reinders  
Dipl.-Volksw. Jens Fiege

## Bilder

© Fraunhofer FHR, außer:  
Titelbild, S. 2, S. 7, S. 14, S. 15, S. 19 Abb. 2, S. 21 Abb. 2, S.  
23 Abb. 2, S. 25 Abb. 2, S. 27, S. 29 Abb. 2, S. 41 Abb. 3, S.  
42, S. 43, S. 51, S. 53 Abb. 2: © Uwe Bellhäuser, Saarbrücken  
S. 21 Abb. 1, S. 23 Abb. 1, S. 29 Abb. 1: © Shutterstock  
S. 33 Abb. 1: Kartendaten von OpenStreetMap-Mitwirkende  
S. 36: © Fraunhofer IAF  
S. 38: © ESA  
S. 51 Abb. 3: © Uwe Bellhäuser / Taurob GmbH  
S. 56, S. 59 Abb. 3, S. 60: © Hans-Jürgen Vollrath  
S. 59 Abb. 1: © WCNDT

## Social Media



Facebook  
<http://www.facebook.com>



Twitter  
[http://www.twitter.com/Fraunhofer\\_FHR](http://www.twitter.com/Fraunhofer_FHR)

Alle Rechte vorbehalten.  
Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der  
Redaktion.

Wachtberg, April 2017

# WACHTBERG-FORUM

22. JUNI 2017 / 9.30 - 16:00 UHR

SAVE THE  
DATE!



Das Fraunhofer FHR präsentiert Fachbesuchern seine vielfältigen Forschungsarbeiten aus allen Geschäftsfeldern mit Vorträgen, Vorführungen und einer Ausstellung.

Bitte melden Sie sich online zum Wachtberg-Forum an unter:

[www.fhr.fraunhofer.de/wachtberg-forum](http://www.fhr.fraunhofer.de/wachtberg-forum)



# TAG DER OFFENEN TÜR

25. JUNI 2017 / 11:00 - 17:00 UHR

**Forschung zum Anfassen für die ganze Familie!**

Lernen Sie das große Spektrum der Forschungsarbeiten des Fraunhofer FHR kennen und schauen Sie in die "Kugel", um hautnah das Weltraumbeobachtungsradar TIRA zu erleben.

Weitere Informationen finden Sie unter:

[www.fhr.fraunhofer.de/tag-der-offenen-tuer](http://www.fhr.fraunhofer.de/tag-der-offenen-tuer)



