



**Fraunhofer**

**FHR**

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZPHYSIK UND RADARTECHNIK FHR



**JAHRESBERICHT**

**2012**

*ISAR-Messung einer Person  
in 140 m Entfernung mit  
dem höchauflösenden  
Radar MIRANDA 300*

**JAHRESBERICHT**  
**2012**

# VORWORT

Liebe Freunde und Partner des Fraunhofer FHR,  
liebe Leserinnen und Leser,

mittels Reflexionen elektromagnetischer Wellen machen die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer FHR Verborgenes sichtbar. Dank Radar können sie nicht nur Luft-, Raum-, Wasser- und Bodenfahrzeuge entdecken, sondern auch deren Position und Geschwindigkeit ermitteln sowie die aufgefangenen Signale zu hoch- und höchstauflösenden Bildern verarbeiten. Für das Fraunhofer FHR steht dabei die angewandte Forschung zum Nutzen der Gesellschaft im Mittelpunkt sowie die Entwicklung industriell verwertbarer Produkte. Auf Basis des breiten Fachwissens der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entwickelt das Fraunhofer FHR seit über fünf Jahrzehnten modernste Radarverfahren und -technologien. Im Verbund mit der Industrie arbeitet es intensiv daran, deren Leistungsfähigkeit weiter zu steigern. Das Engagement für unseren Hauptkunden, die Bundeswehr, besteht auch nach der Öffnung für zivile Märkte uneingeschränkt weiter.

Auslandseinsätze der Bundeswehr werden mit zunehmender Häufigkeit erforderlich, oft nur mit kurzer Vorlaufzeit und unter kaum oder nicht vorhersehbaren Rahmenbedingungen. Für das Fraunhofer FHR bedeutet dies, durch Forschung auf breiter Front Wissen zu erwerben – auch in Bereichen, die derzeit nicht im unmittelbaren Fokus der Bundeswehr oder der wehrtechnischen Industrie stehen, um flexibel auf die Anforderungen unserer Partner reagieren zu können. Dies gilt insbesondere für unsere Beratungsfähigkeit für das Verteidigungsministerium und die ihm nachgeordneten Behörden.

Seit 2009 ist das Fraunhofer FHR ein Institut der Fraunhofer-Gesellschaft. Dadurch erhielt es die Möglichkeit, ein zweites Standbein durch die Einrichtung eines Vertragsforschungsbereiches aufzubauen und zivile Auftraggeber und Forschungsförderungen zu akquirieren. Innerhalb der letzten drei Jahre verliefen diese Bestrebungen sehr erfolgreich, Zuwachs bei der Belegschaft konnte durch die steigende Anzahl von Industrieaufträgen und öffentliche Förderung finanziert werden. Im Jahr 2012 konnte das Fraunhofer FHR im Vertragsforschungsbereich rund 2,6 Millionen Euro Drittmittel einwerben, der Industrieanteil betrug dabei ungefähr eine Million Euro. Damit liegt das Fraunhofer FHR weit über den Planzahlen des Eingliederungskonzepts. Für 2013 erwartet das Institut eine weitere Steigerung der Drittmittel.

Die strategischen Kooperationen mit den umliegenden Universitäten und Hochschulen wurde im November 2012 durch Einrichtung des Fraunhofer-Anwendungszentrums für multimodale und luftgestützte Sensorik – kurz AMLS – an der Hochschule Koblenz, Standort



RheinAhrCampus-Remagen, um einen weiteren Baustein erweitert. Das Fraunhofer FHR verstärkt hiermit den Bezug zur Region im nördlichen Rheinland-Pfalz und den dort angesiedelten mittelständischen Betrieben. Das Anwendungszentrum wird geleitet von Prof. Dr. Jens Bongartz.

Überdies ist es dem Fraunhofer FHR gelungen, Prof. Dr. Nils Pohl als neuen Leiter der Abteilung MHS zu gewinnen. Prof. Dr. Nils Pohl promovierte 2010 an der Ruhr-Universität Bochum und war dort zuletzt Juniorprofessor für Integrierte Systeme. Er ist Experte für schnelle integrierte Millimeterwellenschaltungen auf Basis von SiGe, was der Abteilung MHS neue Horizonte eröffnet.

An dieser Stelle möchte ich den fördernden nationalen und internationalen Institutionen danken - allen voran dem BMVg und dem BAAINBw, den Kunden und Auftraggebern aus der Industrie, den kooperierenden Forschungseinrichtungen, aber auch den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer FHR, die durch gute Ideen und wissenschaftliche Leistungen die Qualität unseres Institutes garantieren.

Seine einzigartigen Fähigkeiten machen Radar zum Herzstück vieler moderner Systeme zur Aufklärung, Überwachung und Beobachtung, sei es zur Entdeckung verborgener Waffen oder zur Materialanalyse in der industriellen Fertigung. In diesem Jahresbericht haben wir eine Vielzahl spannender Beispiele für Sie zusammengestellt. Ich lade Sie daher ein, liebe Leserinnen und Leser, sich einen Überblick über die vielfältigen Aktivitäten des Fraunhofer FHR zu verschaffen und wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.

Joachim Ender, Mai 2013

*Institutsleiter:*  
*Prof. Dr.-Ing. Joachim Ender*  
*Tel. +49 228 9435-227*  
*Fax +49 228 9435-627*  
*joachim.ender@*  
*fhr.fraunhofer.de*

# INHALTSVERZEICHNIS

## 2 ÜBERBLICK

- 2 Vorwort
- 4 Inhaltsverzeichnis
- 6 FHR im Profil
- 10 Ansprechpartner im FHR
- 12 Das Kuratorium

## 14 KEYNOTE

- 14 SiGe-Schaltungen – Radar der Zukunft?

## 18 SICHERHEIT IM WELTRAUM

- 20 Schadensanalyse des europäischen Erdbeobachtungssatelliten ENVISAT
- 22 Missionsunterstützung des ESA-Weltraumfrachters ATV-3

## 24 LUFT- UND RAUMGESTÜTZTE RADARSYSTEME

- 26 SARape: Miniaturisiertes SAR für UAVs
- 28 Abbildung maritimer Objekte auf hoher See
- 30 Entdeckung kleiner Boote auf offener See
- 32 Neue Signalprozessierungsmethoden für SAR-Satelliten
- 34 Antennengruppe mit aktiver Kompensation von Vibrationen

## 36 LAND- UND SEEGESTÜTZTE AUFKLÄRUNG

- 38 Das MOBIDAR-System

## 40 SYSTEME FÜR SICHERHEIT UND SCHUTZ

- 42 Aus SAMMI wird T-Sense
- 44 Das höchstauflösende Radar MIRANDA 300
- 46 Passive Millimeterwellenbilder mit dem RotRad-System
- 48 Multisensorsysteme für Personenscanner

## 50 SENSOREN FÜR FAHRZEUGE UND VERKEHR

- 52 Schiffsradar mit elektronisch gesteuerter Gruppenantenne

## 54 SENSOREN FÜR DIE QUALITÄTS-SICHERUNG

- 56 Klassifikation von Materialien in der industriellen Produktion

## 58 ENERGIE UND UMWELT

- 60 Bedarfsorientierte Warnbefeuerung an Windenergieanlagen.

## 62 ELEKTROMAGNETISCHE SIMULATION UND ANTENNENTECHNOLOGIE

- 64 Zukunftstechnologie Metamaterialien
- 66 Validierung und Anwendung von EM-Simulationen
- 68 EOSAR – Ein Werkzeug zum Einfügen von Objekten in SAR-Szenen

## 70 AUS DEM INSTITUT

- 70 Besondere Ereignisse 2012
- 74 Einrichtung eines Anwendungszentrums

## 76 FRAUNHOFER-VERBÜNDE

- 76 Verbund Verteidigungs- und Sicherheitsforschung
- 77 Verbund Mikroelektronik

## 78 FRAUNHOFER-ALLIANZ

- 78 Allianz Vision

## 79 FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

- 79 Überblick

## 80 ANHANG

- 80 Ausbildung und Lehre
- 84 Veröffentlichungen
- 94 Gremientätigkeiten
- 96 Auszeichnungen
- 97 Veranstaltungen
- 98 Pressespiegel

## 102 ANFAHRT

## 104 IMPRESSUM



ÜBERBLICK





# 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.

## Ziele und Kompetenzen

Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR entwickelt Konzepte, Verfahren und Systeme für elektromagnetische Sensorik, insbesondere im Bereich Radar, verbunden mit neuartigen Methoden der Signalverarbeitung und innovativen Technologien vom Mikrowellen- bis zum unteren Terahertzbereich. Seine international anerkannte und geschätzte Kompetenz erstreckt sich über nahezu alle Teilgebiete moderner Radarverfahren.

Radar und verwandte Hochfrequenzsysteme bilden eine Schlüsseltechnologie im Bereich Verteidigung und Sicherheit, insbesondere im Bereich Aufklärung und Überwachung. Das Fraunhofer FHR unterstützt das Bundesministerium für Verteidigung in diesem Bereich seit der Institutsgründung im Jahre 1957. Es war in Deutschland in zahlreichen Anwendungen der Vorreiter neuer Technologien: z. B. bei der Weltraumbeobachtung mit Radar, Multifunktionsradaren mit phasengesteuerten Gruppenantennen, adaptiven Störunterdrückung, Millimeterwellentechnik, höchstauflösenden Radar-Bildgebung, Bewegzielenerkennung mit Raum-Zeit-Filterung, Zielklassifizierung und Passiv-Radar.

Die Alleinstellungsmerkmale und Kompetenzen des Instituts fördern unter den neuen Rahmenbedingungen der Fraunhofer-Gesellschaft zusätzlich die Betätigung auf zivilen Märkten. Die Umsetzung in den neuen Geschäftsfeldern Luft- und raumgestützte Radarsysteme, Land- und seegestützte Aufklärung, Systeme für Sicherheit und Schutz, Sensoren für Fahrzeuge und Verkehr, Sensoren für die Qualitätssicherung, Energie und Umwelt sowie Elektromagnetische Simulation und Antennentechnologie liefern jeweils konkrete Beispiele für innovative Anwendungen in vielen Bereichen der Gesellschaft.

*Foto von Fraunhofer FHR-Gebäuden und Weltraumbeobachtungsradar TIRA in Wachtberg*

## Ausstattung und Hochschul-Kooperationen

Die wichtigsten Kernkompetenzen des Fraunhofer FHR – numerische Berechnung elektromagnetischer Felder, Höchstfrequenztechnologie und Sensor-Signalverarbeitung – ermöglichen den Entwurf, den Aufbau und den Betrieb komplexer Hochfrequenzsysteme unter einem Dach. Das ist nur durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, vorwiegend von Physikern, Ingenieuren und Mathematikern, möglich.

Das Institut bietet mit der Großanlage des Weltraumbeobachtungsradars TIRA umfangreichen Einrichtungen für analoge und digitale Leiterplattentechnologie, Messtechnik bis in den Terahertz-Bereich, mehreren echoarmen Messkammern, mit Radarsystemen ausgestatteten Fahrzeugen und einem Ultraleicht-Flugzeug zur Radarbeobachtung aus der Luft hervorragende Möglichkeiten zur Entwicklung moderner elektromagnetischer Sensorsysteme, aber auch zur Ausbildung technisch-wissenschaftlichen Personals.

In der gemeinsam geschaffenen und besetzten Professur für Hochfrequenzsensoren und Radartechnik streben die Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Universität Siegen mit ihrem Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) und das Fraunhofer FHR eine weitere Intensivierung ihrer langjährigen und erfolgreichen Zusammenarbeit an. Insbesondere wollen sie ihr Know-How und die Forschungsinfrastruktur auf den Gebieten Radarsensorik, Bildgebende Radarverfahren, SAR für die Fernerkundung und Umweltextploration bündeln sowie gemeinsam neue Bild- und Informationsgewinnungsmethoden wie *Compressive Sensing* erforschen und zur Anwendungsreife entwickeln. Weiterhin intensiviert werden auch die langjährigen Kooperationen mit anderen Universitäten wie der RWTH Aachen, der Ruhr-Universität Bochum sowie mit den Hochschulen Koblenz – Rhein-Ahr-Campus Remagen, sichtbar durch die diesjährige Einrichtung des Anwendungszentrums AMLS, und Bonn-Rhein Sieg. An den Universitäten und Hochschulen der Umgebung halten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer FHR Vorlesungen, Absolventen und Doktoranden werden am Institut ausgebildet.

### Arbeitsschwerpunkte

Aufbauend auf den Kernkompetenzen bietet das Institut unter den neuen Gestaltungsmöglichkeiten in den folgenden Geschäftsfeldern wertvolle Lösungen und Ergebnisbeiträge für Kunden aus Bundeswehr und Industrie an.

Im Geschäftsfeld **Sicherheit im Weltraum** werden Radarverfahren zur Beobachtung von Objekten im erdnahen Weltraum und in der Atmosphäre entwickelt. Hauptziel ist, die Kenntnis über einzelne Satelliten und die Situation im Weltraum zu vertiefen, Risiken zu analysieren, Missionen zu begleiten oder Radarsignaturen zu gewinnen.

Das Geschäftsfeld **Luft- und raumgestützte Radarsysteme** unterstützt die militärischen und zivilen Anwender mit Radar zeitnah und bei fast jedem Wetter hoch aufgelöst mit einzigartigen Fähigkeiten bei der weiträumigen Aufklärung und Aufklärung im Einsatzgebiet. Im Vordergrund stehen die Radaraufklärung der Bodenszene mit höchstauflösender Radarbildgebung sowie die Erkennung und Ortung bewegter Fahrzeuge.

Im Geschäftsfeld **Land- und seegestützte Aufklärung** wird durch bodengebundene Radarsysteme ein wesentlicher Beitrag zur „Nachrichtengewinnung und Aufklärung“ in den verschiedensten Bereichen erbracht. Im Fokus der Arbeiten stehen innovative Radarsysteme zur Luftraumüberwachung, wie Passiv-Radar oder vernetzte Radarsysteme, ebenso wie moderne Radarverfahren zur Erkennung und Differenzierung von Fahrzeugen und Luftfahrzeugen.

Intelligente Radarsysteme, die sowohl im militärischen als auch im zivilen Kontext die Sicherheit erhöhen, werden im Geschäftsfeld **Systeme für Sicherheit und Schutz** erforscht. Gemeinsames Ziel ist in allen Anwendungsfeldern die Entwick-

lung kompakter, aktiver und passiver Sicherheitssensoren mit höherer Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig reduzierten Kosten.

Aufgabe des Geschäftsfeldes **Sensoren für Fahrzeuge und Verkehr** ist die Optimierung und Verbesserung der Nutzbarkeit von durch zunehmende Miniaturisierung und den Einsatz hochintegrierter Komponenten preiswert und kompakt gefertigten Radarsystemen, so dass sie in verschiedensten Fahrzeugtypen eingesetzt werden können.

Die Entwicklung innovativer Systeme, die die besonderen Eigenschaften von Radar für industrielle Anwendungen nutzen, ist Aufgabe des Geschäftsfeldes **Sensoren für die Qualitätssicherung**. Dazu gehören die Fähigkeiten zur Durchdringung von optisch nicht transparenten Materialien sowie zur hochauflösenden Bildgebung.

Im Geschäftsfeld **Energie und Umwelt** steht die Erforschung von Hochfrequenzsystemen im Fokus, die in diesen Bereichen zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten erschließen, vorhandene Sensoren ergänzen oder ersetzen können. Dazu gehören hochgenaue Radarmessverfahren zur Entfernungsbestimmung, die Beurteilung des Reifegrades von Biomasse aufgrund ihrer Radarreflektivität aber auch der Einsatz umweltfreundlicher Passiv-Radar-Technologie.

Im Mittelpunkt des Geschäftsfeldes **Elektromagnetische Simulation** und Antennentechnologie stehen Technologien zum Aufbau moderner Antennensysteme für Anwendungen in den Bereichen Radar, Kommunikation und Navigation. Selbstentwickelte numerische Verfahren zur Berechnung elektromagnetischer Felder bilden einerseits die Grundlage für den Antennenentwurf, andererseits dienen sie zur Modellierung des Streuverhaltens komplexer Radarziele.

## Personal- und Budgetentwicklung

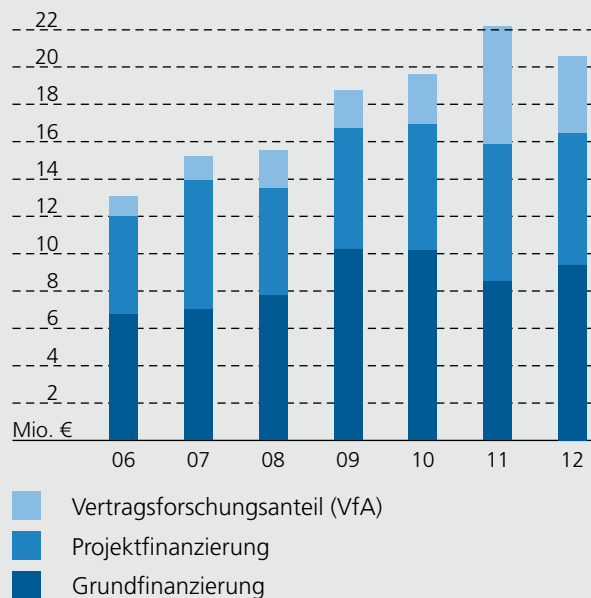
Die jährlichen Erträge des FHR als Fraunhofer-Institut übertreffen erneut die Prognose. Die Industrieerträge lagen ebenfalls über den Erwartungen.

Das Budget des Fraunhofer FHR kumuliert sich aus drei Finanzierungsquellen: Der Grundfinanzierung durch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), der Projektfinanzierung aus Mitteln des Verteidigungshaushaltes und den Einkünften aus dem Vertragsforschungsbereich (VfA). Im Jahr 2012 erwirtschaftete das Fraunhofer FHR im wehrtechnischen und im zivilen Institutsteil einen Gesamtertrag in Höhe von 20,7 Millionen Euro (Grundfinanzierung: 9,5 Mio. €; Projektfinanzierung: 6,5 Mio. €; VfA: 4,6 Mio. €).

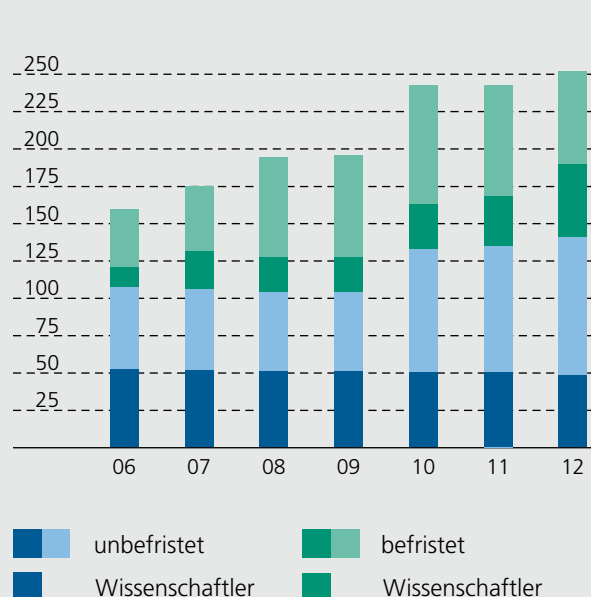
Zum Jahresende 2012 waren am Fraunhofer FHR insgesamt 254 Mitarbeiter beschäftigt, ein leichtes Wachstum im Vergleich zum Vorjahr. Die Personalstruktur des Instituts zeigte einen stetig ansteigenden Anteil an Wissenschaftlern (aktuell 95). Diese wurden von Diplomanden und wissenschaftlichen Hilfskräften bei der Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützt.

Das FHR ist an einem wachsenden Anteil von Frauen in der Forschung sehr interessiert. Im Jahr 2012 lag der Frauenanteil im wissenschaftlichen Bereich mit 12% über dem entsprechenden Anteil der Absolventinnen des Fachgebietes Elektrotechnik in Deutschland (11%).

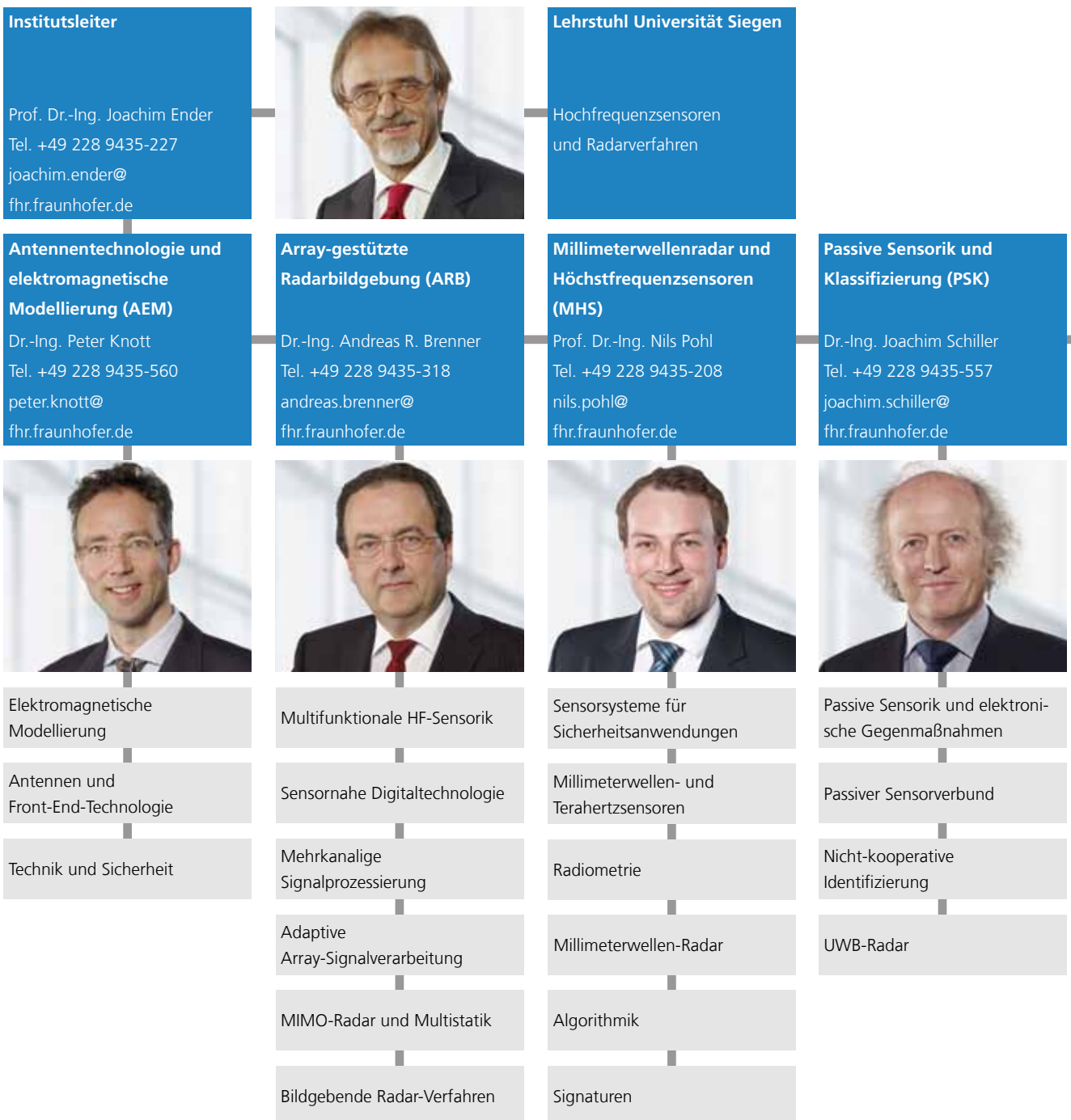
### Budgetentwicklung 2006-2012



### Mitarbeiterentwicklung 2006-2012



# ANSPRECHPARTNER IM FHR



**Radar zur Weltraumbeobachtung (RWB)**

Dr.-Ing. Ludger Leushacke  
Tel. +49 228 9435-256  
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

**Verwaltung**

Jürgen Neitzel  
Tel. +49 228 9435-240  
juergen.neitzel@fhr.fraunhofer.de

**Business Development**

Dr. rer. nat. Frank Lorenz  
Tel. +49 228 9435-399  
frank.lorenz@fhr.fraunhofer.de



Verfahren zur Weltraumbeobachtung

TIRA – Radartechnik, Weiterentwicklung und Betrieb

TIRA – Antennensystem und Infrastruktur

Hochschule Koblenz Rhein-Ahr-Campus-Remagen

Finanzen

Personal

Technik

**Interne und externe Kommunikation**

Dipl.-Volksw. Jens Fiege  
Tel. +49 228 9435-323  
jens.fiege@fhr.fraunhofer.de





ÜBERBLICK



# DAS KURATORIUM

Das Kuratorium begleitet unsere Forschungsarbeit und berät 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.-Ing. Dirk Heberling**

RWTH Aachen

Aachen

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

Universität Erlangen-Nürnberg

Erlangen

**Dr. Gerhard Kahl**

CASSIDIAN

Unterschleißheim

**Prof. Dr.-Ing. Klaus Solbach**

Universität Duisburg-Essen

Duisburg

**Prof. Dr.-Ing. Heiner Klinkrad**

ESA / ESOC

Darmstadt

**Dr.-Ing. Walter Stammer**

LFK-Lenkflugkörpersysteme GmbH

Unterschleißheim

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

Universität Siegen

Siegen

**MinRat Norbert Michael Weber**

Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)

Bonn

**Dipl.-Ing. Martin Pirkl**

CASSIDIAN

Ulm

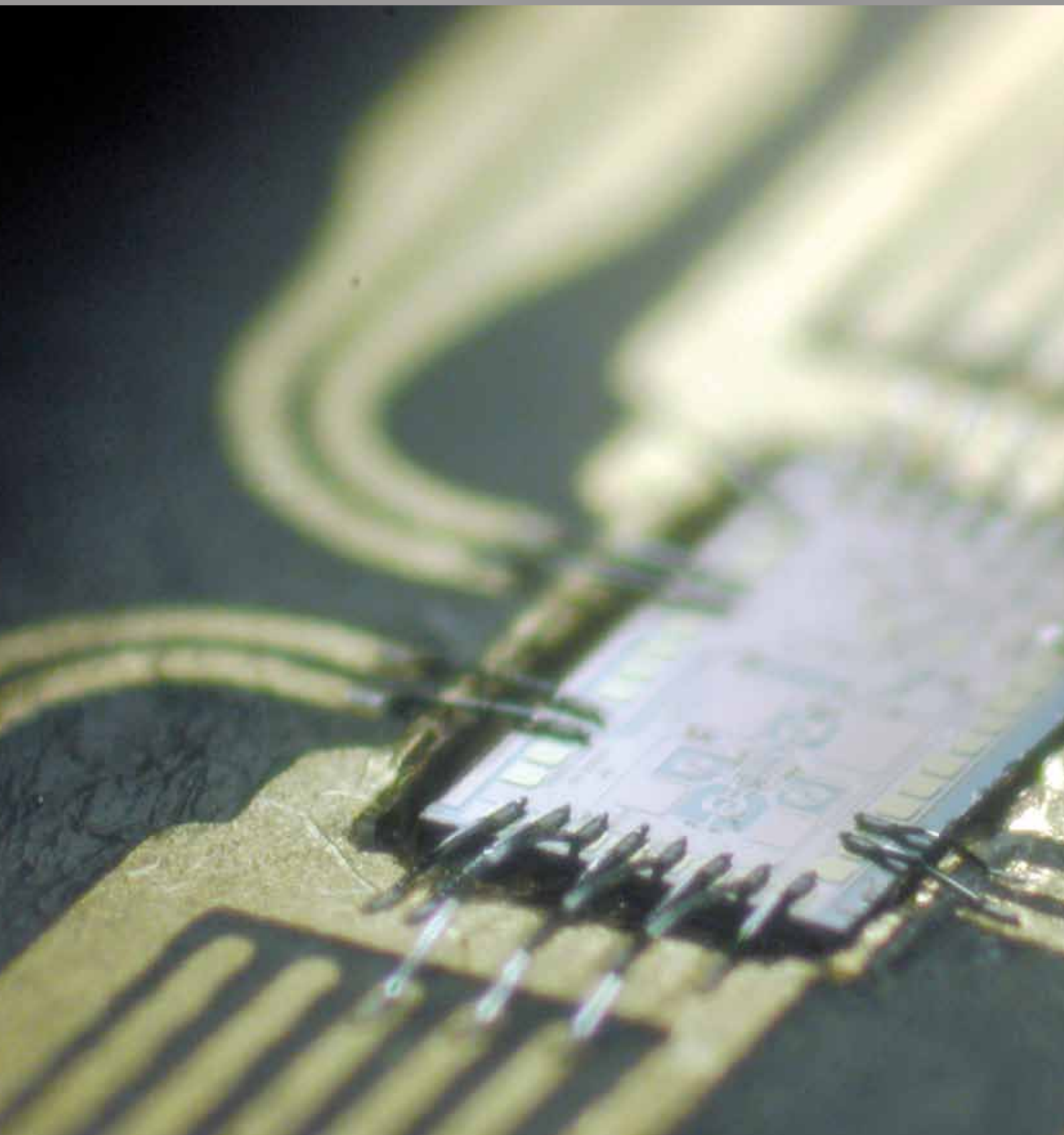
*Die Teilnehmer der Kuratoriumssitzung am 22.06.2012 auf dem Institutsgelände in Wachtberg:*

*Herr Neppig, Herr Speck, Prof. Gossner (Vorstand Fraunhofer), Prof. Loffeld, Herr Weber, Prof. Klinkrad,*

*Herr Pappert, Dr. Stammer, Prof. Schmidt, Herr Pirkl, Prof. Heberling, Prof. Rohling, Dr. Kahl, Prof. Ender*

*(Fraunhofer FHR)*

KEYNOTE



# SIGE-SCHALTUNGEN – RADAR DER ZUKUNFT?

Bislang galt Radartechnik insbesondere im Millimeterwellenbereich als aufwendig und teuer. Doch aktuell zeigen Fortschritte bei Silizium-basierten Halbleitertechnologien, dass dies nicht so sein muss und ermöglichen damit Anwendungsfelder, die bisher als uninteressant für Radar galten.

Obwohl der technische Fortschritt kontinuierlich und unaufhaltsam voranschreitet, haben sich schon viele etablierte Experten in ihren Zukunftsprognosen erheblich verschätzt: So postulierte Gottlieb Daimler im Jahre 1901: „Die weltweite Nachfrage nach Kraftfahrzeugen wird eine Million nicht überschreiten - allein schon aus Mangel an verfügbaren Chauffeuren.“ Auch ein angesehener Wissenschaftler wie Albert Einstein erkannte noch im Jahr 1932 „[...] nicht das geringste Anzeichen, dass wir jemals Atomenergie entwickeln können.“ Im Jahre 1943 äußerte der IBM-Gründer Thomas Watson noch, „[...] dass es einen Weltmarkt für vielleicht fünf Computer gibt.“ Die Reihe von berühmten Fehleinschätzungen langfristiger Entwicklungen ließe sich an dieser Stelle wahrscheinlich beliebig fortsetzen.

In der Reihe der Zukunftsprognosen stellt die von Gordon Moore (Gründer der Firma Intel) aufgestellte Prognose eine absolute Ausnahme dar. Er beobachtete im Jahr 1965, dass die Komplexität der ersten frühen integrierten Schaltungen einem exponentiellen Wachstum unterliegt. Daraus leitete er die Prognose ab, dass sich die Komplexität alle ein bis zwei Jahre verdoppeln wird. Er war damals so mutig die Prognose zehn Jahre in die Zukunft zu projizieren, aber auch er hätte sich damals wahrscheinlich nicht vorstellen können, dass seine Prognose auch fast 50 Jahre später noch Bestand haben würde und mittlerweile als „Moore'sches Gesetz“ bezeichnet wird und damit zum Grundbestandteil aller Technologie- und Produktionsplanungen der Halbleiterindustrie geworden ist. So hat sich eine reine Beobachtung und Prognose zu einem Paradigma entwickelt. Heutzutage werden auf diese Weise Chips mit 10 Milliarden Transistoren hergestellt, was den Transistor zu dem am meisten produzierten Element überhaupt macht.

*Ein SiGe Radar Chip eingebettet in ein Teflon-Substrat. Der Chip ist mit durch Bonddrähte mit den Leitungen auf dem Substratmaterial verbunden.*

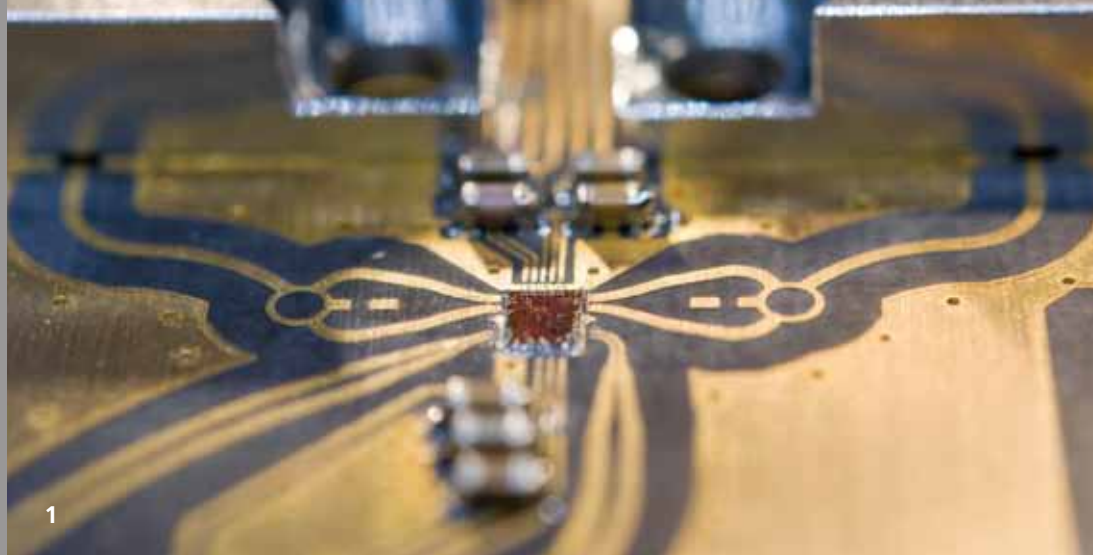
Seit jeher ist zu beobachten, dass ein Ende des exponentiellen Wachstums und damit des Mooreschen Gesetzes vorhergesehen wird und typischerweise in 10 bis 20 Jahren in der Zukunft liegt. Dies ließ sich auch stets durch einfache physikalische Zusammenhänge begründen. In der Vergangenheit haben sich diese Grenzen allerdings stets durch neue Fertigungstechniken, Materialien oder andere geschickte Konzepte umgehen lassen. Aktuell erscheint es eindeutig, dass spätestens wenn die Strukturgrößen in die Größenordnung atomarer Strukturen kommen, keine weitere Verkleinerung mehr möglich ist und damit in circa 10 bis 20 Jahren das Ende der Entwicklung erreicht sein dürfte.

Die Fortschritte der Halbleitertechnologien haben auf diese Weise in den letzten 50 Jahren eine digitale Revolution losgetreten, die nicht nur die Durchführung immer aufwendigerer Berechnungen durch Computer ermöglicht, sondern vielmehr haben die immer leistungsfähigeren Prozessoren unsere komplette Gesellschaft und Industrie umgekrempelt. Typischerweise zielen die Komplexitätssteigerungen dabei hauptsächlich auf digitale Schaltungen ab.

Beinahe schon als Nebeneffekt oder Abfallprodukt dieses gigantischen Halbleitermarktes zu bezeichnen ist dabei, dass die verkleinerten Strukturgrößen auch Analogschaltungen immer schnelleres Schaltverhalten bis in den Hochfrequenzbereich hin ermöglichen. In den 1990er Jahren war es so erstmals möglich, Schaltungen auf Siliziumchips zu integrieren, die die Frequenzen der Mobilfunksysteme bei 900 MHz bzw. 1800 MHz beherrschten. Erst dadurch konnten die Hochfrequenzkomponenten von Handys so klein und kostengünstig realisiert werden, dass Mobiletelefone immer kleiner und kostengünstiger wurden und somit eine beispiellose Marktdurchdringung innerhalb weniger Jahre erreichen konnten.

Doch seitdem haben sich die Hochfrequenzeigenschaften-Technologien auf Basis von Silizium (Si) erheblich weiterentwickelt. Durch die stetige Strukturgrößenverkleinerung und das gezielte Einbringen von neuen weiteren Materialien wie Germanium (Ge) und Kohlenstoff (C) in das Basisgebiet von Bipolar-Transistoren konnten bereits vor zehn Jahren erste





1

Transistoren mit Grenzfrequenzen von bis zu 200 GHz im Labor demonstriert werden, was ganz neue Anwendungsfelder eröffnet und somit die Realisierung von Radarschaltungen bis zu Frequenzen von 100 GHz ermöglicht. Realisierungen in Silizium-Technologien haben dabei nicht nur den Vorteil einer enorm perfektionierten Serienfertigung, sondern ermöglichen auch die Realisierung komplexer Millimeterwellensysteme auf einem einzigen Chip. Aktuelle SiGe-Technologien arbeiten mit Waferdurchmessern von 200 mm, was die gleichzeitige und kostengünstige Herstellung von großen Mengen hochintegrierter Radarsysteme erlaubt.

Als Vorreiter auf dem Gebiet der Millimeterwellenschaltungen haben Radar-Sensoren im Automobil Einzug gehalten. Diese Sensoren überwachen in ihrer einfachsten Form die vorrausfahrenden Fahrzeuge, was nicht nur eine automatische Abstandsregelung, sondern auch die Vermeidung von Auffahrunfällen durch die Einleitung von Notbremsmanövern ermöglicht. Darüber hinaus kann so eine vielfältige Sensorik rund ums Auto realisiert werden, die etwa den toten Winkel überwacht. Im Vergleich zu optischen Sensoren sind Radar-Sensoren unbeeinträchtigt von Nebel, Regen oder Schnee. Nachdem die ersten Sensoren dieser Art lediglich in Oberklassenwagen Einzug hielten, sind durch die kostengünstigen SiGe-Chips Abstandsradare mittlerweile in allen Wagenklassen möglich. Dies zeigt sich insbesondere dadurch, dass seit 2012 sogar im neuen VW Golf ein Abstandsradar als Option verfügbar ist. Dies wird durch einen SiGe-Chip ermöglicht, der ein komplettes vierkanaliges Radarsystem mit digitalem Beamforming enthält.

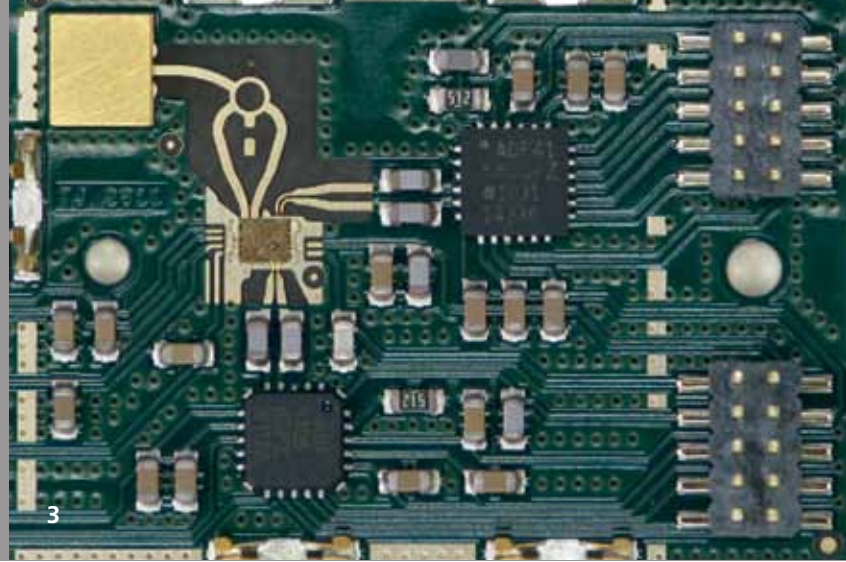
Die Fortschritte in der Schaltungsentwicklung und Radar-Forschung haben in den letzten Jahren gezeigt, dass auf diesem Wege nicht nur kostengünstige Systeme realisiert werden können, sondern auch sehr gute Eigenschaften erreicht werden. An der Ruhr-Universität Bochum wurde

etwa in Zusammenarbeit mit dem Halbleiterkonzern Infineon ein extrem breitbandiges FMCW-Radarsystem bei 80 GHz Mittenfrequenz und 25 GHz Bandbreite realisiert. Das Millimeterwellen-Frontend des Systems ist dabei auf einem einzigen SiGe-Chip mit weniger als 4 mm<sup>2</sup> Fläche implementiert. Die so erzeugte Sendeleistung liegt bei etwa 1 mW, was als absolut ungefährlich für Menschen anzusehen ist und trotzdem für einige 10 m bis zu einigen 100 m Reichweite genügt. Dabei wird durch die Stabilisierung in einem Phasenregelkreis ein sehr geringes Phasenrauschen erreicht. Die Kombination der hohen Stabilität mit einer extremen Bandbreite ermöglichen dadurch Messungen mit einer Trennschärfe (Auflösung) von 7 mm (6 dB Breite) und Entfernungsmessgenauigkeit von einem Mikrometer. Dadurch werden nicht nur hochauflösende bildgebende Systeme, sondern auch hochpräzise Ortungen ermöglicht.

Durch die Realisierung eines Radarsystems auf einem einzigen Chip sind darüber hinaus durch die Verwendung mehrerer Chips sehr komplexe mehrkanalige Systeme mit vielen Sendee- und Empfangskanälen als Array- oder MIMO-System möglich. Außerdem ermöglichen aktuelle Fortschritte der SiGe-Technologien die Erschließung immer höherer Frequenzen bis in den oberen Millimeterwellenbereich und darüber hinaus. Dabei wird in zukünftigen Systemen die Schaltungstechnologie gar nicht mehr das limitierende Element zum Erschließen immer höherer Frequenzen sein, sondern die Schnittstelle vom Chip bis zur Antenne. Andererseits werden die Antennen bei immer höheren Frequenzen so klein, dass diese direkt mit auf dem Chip integriert werden können.

Auf der Anwendungsseite eröffnet sich durch diese Fortschritte der Halbleitertechnologien ein weites Feld an Möglichkeiten. Einerseits geht es dabei um Gebiete, die bisher sehr aufwendigen und anfälligen Laser- und Röntgenmesssysteme vorbehalten waren, und andererseits haben die Millimeterwellen





ganz spezifische Eigenschaften, die etwa bestimmte Materialien gut unterscheiden können und damit neue Anwendungen erobern. So sind im Bereich der hochpräzisen Entfernungsmessung zahlreiche Anwendungen in Produktion und Industrie denkbar und im Bereich der bildgebenden Systeme können etwa Sicherheitstechnik, Produktionsüberwachung, Qualitätskontrolle davon profitieren.

**1** Ein SiGe-Radar-Chip, dessen differentielle Anschlüsse über Rat-Race-Koppler in einen Hohlleiter verbunden werden.

**2** Ein Radar-Messszenario im reflexionsfreien Messraum. Der Radar-Demonstrator ist auf einen Reflektor ausgerichtet.

**3** Ein Kompaktes Millimeterwellenfrontend. Der SiGe-Chip ist zusammen mit PLL-Komponenten und passiven Bauelementen auf einem Modul integriert.

Prof. Dr.-Ing. Nils Pohl  
Tel. +49 228 9435-208  
Fax +49 228 9435-608  
nils.pohl@  
fhr.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD



# SICHERHEIT IM WELTRAUM

Raumfahrt und Nutzung raumgestützter Systeme und Dienste sind aus unserer Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Eine auch künftig sichere Nutzung des Weltraums verlangt in Deutschland und Europa verstärkte Anstrengungen zur Erfassung der Weltraumlage, um drohenden Gefahren begegnen zu können.

Auch wenn in Politik und Öffentlichkeit eine gewisse gesteigerte Wahrnehmung der Gefahren nicht zuletzt aufgrund mehrerer schwerer Rückschläge der letzten Jahre zu erkennen ist, stehen wir dem drohenden Verkehrsinfarkt im Weltraum mit seinen schwerwiegenden Konsequenzen immer noch hilflos gegenüber. Erst seit etwa Anfang des Jahrtausends sind in Europa erste konkrete Schritte zur Schaffung von Systemen zur Weltraumlageerfassung (SSA) zu verzeichnen. Im Rahmen des ESA SSA Vorbereitungsprogramms wurden noch bis Ende 2012 Studien durchgeführt, um die technische Machbarkeit, Kosten und konkrete Konzeption eines europäischen Weltraumlagesystems zu untersuchen.

Ende 2006 hat die Bundeswehr begonnen, den Weltraum mit satellitengestützter Bodenaufklärung und Kommunikation strategisch zu nutzen. Damit entstand auch in Deutschland der Bedarf nach einem nationalen Weltraumlagesystem. Seit 2009 arbeiten Bundeswehr und DLR gemeinsam am Aufbau eines nationalen Weltraumlagezentrums (WRLageZ) in Uedem am Niederrhein. Dieses soll bis Ende des Jahrzehnts eine entsprechende nationale Kernkompetenz schaffen. Dem Radarsensor kommt im Gesamtkomplex „Weltraumlage“ eine besondere Bedeutung zu. So erfordert die kontinuierliche Überwachung des Bereiches niedriger Erdumlaufbahnen ein (oder mehrere) bodengestützte *Phased-Array*-Hochleistungsradar(e). Hier übernahm das Fraunhofer FHR im Rahmen des europäischen Vorbereitungsprogramms eine wichtige Rolle beim Aufbau eines Demonstrators für ein monostatisches, gepulstes *Phased-Array*-Überwachungsradar. Ein solches Überwachungssystem muss zur Gewinnung der in vielen Fällen notwendigen hochpräzisen Bahninformation durch *Full-Pass-Tracking*-Radare ergänzt werden. Auch hier werden bereits grundlegende Fragestellungen, die im Sensorverbund von Überwachungs- und Verfolgungsradar auftreten, im Rahmen der deutsch-

französischen Weltraumlage-Kooperation untersucht. Aktuelle Studien belegen zwar, dass gewisse Grundfähigkeiten mit den national und in Europa derzeit verfügbaren Einrichtungen bereits vorhanden sind. Andererseits müssen aber für voll funktionsfähige, auch künftigen Anforderungen genügende Weltraumlagesysteme neuartige Verfahren, Technologien und Systemkonzepte untersucht und entwickelt werden. Besondere Herausforderungen bezüglich der Radarsensorik liegen dabei u. a. auf den Gebieten Höchstleistungsradar zur Reichweitensteigerung bei gleichzeitiger Multifunktionalität (Detektion, Verfolgung, Imaging), dreidimensionale Zielabbildung in Echtzeit mit sehr hohen Auflösungen, Verfahren zur hochpräzisen, autonomen Bahnverfolgung und -bestimmung sowie der Vermessung und Analyse der kleinteiligen Trümmerpopulation.

Im Geschäftsfeld „Sicherheit im Weltraum“ werden deshalb die spezifischen Fragestellungen und Anforderungen an Radarsysteme und -verfahren zur Zielentdeckung, -verfolgung und hochauflösenden Zielabbildung von Objekten im erdnahen Weltraum und in der Atmosphäre untersucht. Als Experimentalträger zur Unterstützung und Verifikation der Verfahrensentwicklung und zur Demonstration der operativen Einsatzfähigkeit wird dabei das in Europa einzigartige TIRA-System eingesetzt und stetig weiterentwickelt. Die Rahmenbedingungen für mögliche Beiträge, mit denen das Fraunhofer FHR insbesondere mit dem TIRA-System den Betrieb des WRLageZ unterstützen kann, werden derzeit diskutiert. Darüber hinaus werden aufbauend auf der langjährigen Expertise Aufträge von militärischen und zivilen Auftraggebern vorwiegend zu den Themenbereichen Weltraumlageerfassung und -systemkonzepte, *Space Debris*, Kollisionsvermeidung, Raumfahrtsicherheit, Missionsanalyse und -unterstützung sowie zum Satellitenwiedereintritt bearbeitet.

*Der Weltraumfrachter ATV nähert sich der Internationalen Raumstation ISS.*

*Dr.-Ing. Ludger Leushacke  
Tel. +49 228 9435-200  
Fax +49 228 9435-656  
ludger.leushacke@fhr.fraunhofer.de*



## SCHADENSANALYSE DES EUROPÄISCHEN ERDBEOBACHTUNGSSATELLITEN ENVISAT

Mittels Radarabbildungen konnten Wissenschaftler Schaden und Bewegungszustand des europäischen Erdbeobachtungssatelliten ENVISAT analysieren. Die Aufnahmen entstanden auf Basis von Daten des Fraunhofer FHR Tracking and Imaging Radars (TIRA).

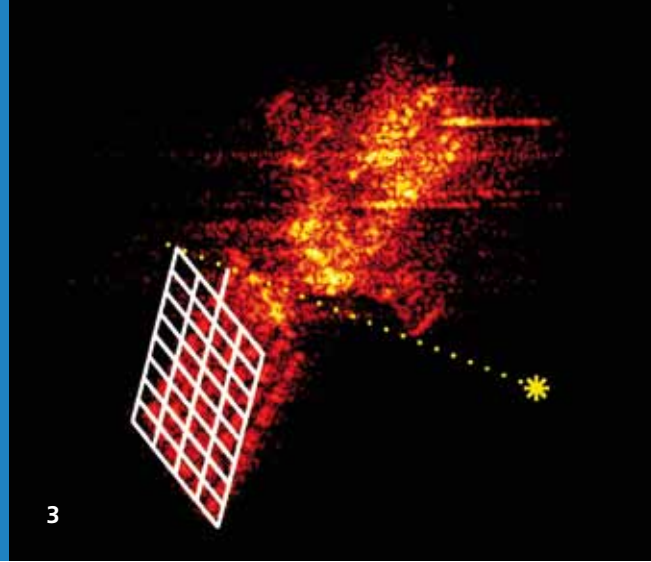
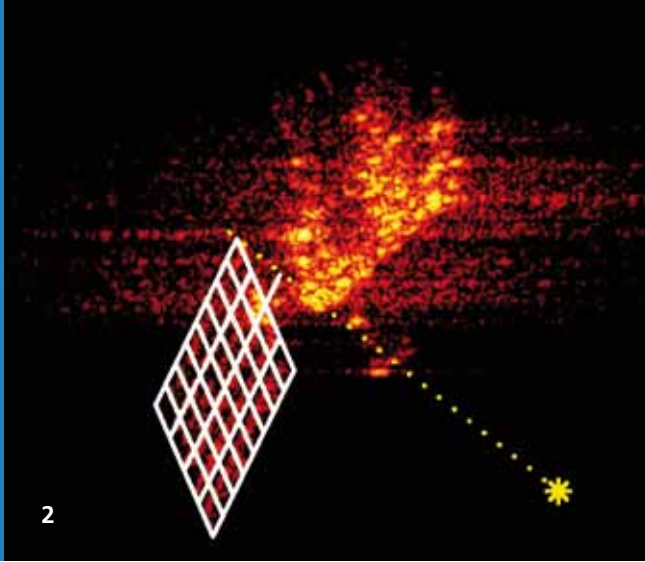
### Ausgangssituation

Am 8. April 2012 brach der Kontakt der Kontrollstation in Kiruna zum Erdbeobachtungssatelliten ENVISAT aus unbekanntem Grund ab, nachdem dieser mehr als das Doppelte der geplanten Lebensdauer in Betrieb gewesen war. Zu der erhöhten Lebensdauer trug nicht zuletzt bei, dass Ausweichmanöver beim nahen Vorbeiflug von Weltraummüll mit vom Fraunhofer FHR gelieferten hochgenauen Bahndaten häufig vermieden werden konnten. Der Ausfall des Satelliten bedeutet eine erhebliche Lücke bei der Gewinnung von Daten über Erdatmosphäre, Beschaffenheit der Erdoberfläche und weiterer Informationen bis zum geplanten Start der Nachfolgemission Sentinel (geplant für 2013). Diese Lücke kann nur zu einem kleineren Teil durch andere Satelliten kompensiert werden. Um die Möglichkeiten der Reaktivierung von ENVISAT beurteilen zu können, benötigten Experten Informationen über Art und Umfang des Schadens, insbesondere über die Stellung des Solarpaneels relativ zur Sonne und über die Rotationsbewegung des Satelliten. Wegen des Ausfalls der Telemetrie blieb dazu nur die Beobachtung mittels externer Sensoren. Hierzu wurden ISAR-Abbildungen durch das TIRA-System gewonnen. Optische Systeme brauchen zur Erzielung einer ausreichenden Auflösung einen niedrigen Abstand zwischen Teleskop und abzubildendem Objekt. Außerdem muss die dem Teleskop zugewandte Seite des Objekts von der Sonne beleuchtet sein. Diese Bedingungen waren für das 62,5 cm große Teleskop des raumgestützten französischen *Pléiades*-Systems rein zufällig für kurze Zeit erfüllt, so dass es aus etwa 100 Kilometer Entfernung auch einige optische Bilder gewinnen konnte.

### Analyse der ISAR-Abbildungen

Zur Interpretation der Abbildungen mit *Inverse Synthetic Aperture Radar* (ISAR) ist die Kenntnis der Bildebene wichtig. Anders als bei optischen Bildern, bei denen die Bildebene senkrecht





zur Sichtrichtung liegt, ist bei ISAR-Abbildungen die Sichtrichtung in der Bildebene enthalten. Die dazu senkrechte Richtung und die Skalierung des Bildes in dieser Richtung hängen von der Bahnbewegung des Satelliten und von seiner Eigenrotationsgeschwindigkeit und -achse ab. Ist die Lage des Satelliten stabilisiert und damit die Bildebene bekannt, dreht man ein Drahtgittermodell so, dass sich in einer ISAR-Abbildung die Projektion des Modells auf die Bildebene mit dem Bildinhalt deckt. Die Projektionen des Drahtgittermodells in den übrigen Bildern folgen dann aus der angenommenen Stabilisierung. Stimmen diese mit den Bildinhalten überein, bestätigt dies die Richtigkeit der Annahme. Abweichungen belegen eine zusätzliche Eigenrotation. Bleibt die durch Eigenrotation verursachte Richtungsänderung der Sichtlinie relativ zum Satelliten klein, verglichen mit derjenigen, die der angenommenen Stabilisierung entspricht, bleibt die Bildebene nahezu unverändert. Dann kann die (langsame) Eigenrotation des Satelliten aus der Drehung des Modells bestimmt werden, die die Projektion nach einer zusätzlichen Skalierung quer zur Sichtlinie wieder mit dem Bildinhalt zur Deckung bringt.

### Auswertung der Beobachtungen

ISAR-Abbildungen von ENVISAT wurden zwischen dem 10. April und dem 31. Mai 2012 aus den Messungen von mehreren Passagen gewonnen. Ihre Auswertung ergab eine langsame, allmählich zunehmende Eigenrotation und einen langsam veränderlichen Winkel zwischen Sonnenrichtung und der Senkrechten zum Solarpaneel. Jedoch waren äußere Beschädigungen weder in ISAR-Abbildungen noch in den optischen Bildern des Pléiades-Systems erkennbar. Bild 1 zeigt eine realistische Darstellung des ENVISAT. Die Bilder 2 und 3 zeigen ISAR-Abbildungen mit überlagertem Drahtgittermodell. Das Drahtgittermodell wurde im Bild 2 angepasst. In Bild 3 mit zeitlichem Abstand von 44 Sekunden zu Bild 2 ist das Drahtgittermodell entsprechend der angenommenen Stabilisierung eingetragen. Seine Abweichung von der tatsächlichen ISAR-Abbildung beweist, dass eine Eigenrotation vorhanden ist. Die gewonnenen Erkenntnisse trugen mit zu der Entscheidung der ESA bei, ENVISAT endgültig aufzugeben.

1 *Realistische Darstellung von ENVISAT.*

2, 3

*ISAR-Abbildungen mit überlagertem Drahtgittermodell des Solarpaneels (weiß) und eingezeichneter Sonnenrichtung (gelb).*

*Dr.-Ing. Jens Rosebrock  
Tel. +49 228 9435-254  
Fax +49 228 9435-656  
jens.rosebrock@  
fhr.fraunhofer.de*





## MISSIONSUNTERSTÜTZUNG DES ESA-WELTRAUMFRACHTERS ATV-3

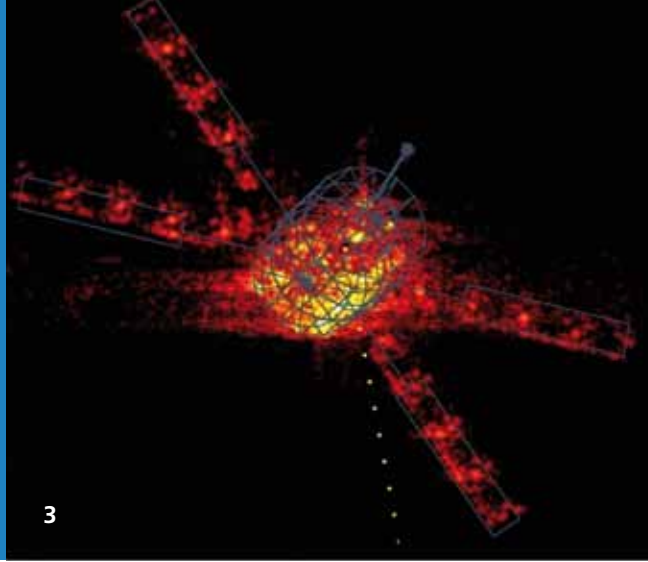
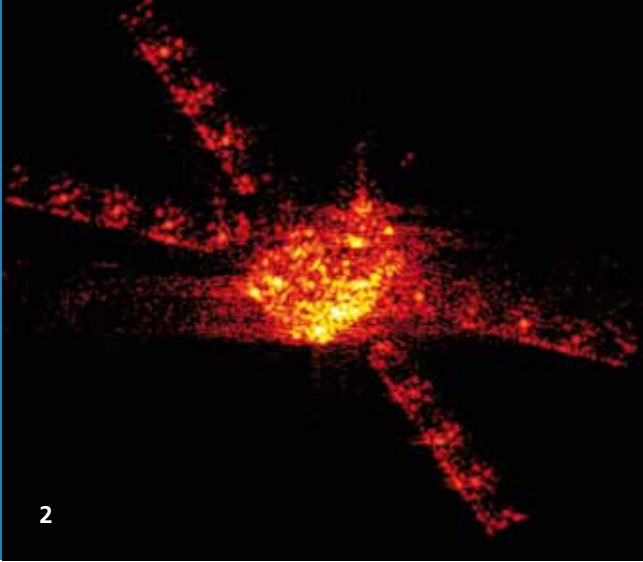
Zur automatisierten Ankopplung des Weltraumfrachters ATV an die Raumstation ISS ist eine Kommunikationsantenne am Ende eines ausklappbaren Auslegers erforderlich. Die Ankopplung an die ISS ohne vollständige Entfaltung des Antennenauslegers wäre ein hochriskantes Manöver. Nur mit dem Weltraumbeobachtungsradar TIRA kann der tatsächliche Zustand des Antennenauslegers von der Erde aus geprüft werden.

Der Weltraumfrachter ATV (*Automated Transfer Vehicle*) der europäischen Raumfahrtbehörde ESA ist in der Lage, die Raumstation ISS mit 9 Tonnen Nutzlast (Wasser, Treibstoff, Luft) zu versorgen. Nach Abschluss der Mission entsorgt ein ATV bis zu 6,5 Tonnen Stationsmüll in der Erdatmosphäre.

Zur automatisierten Ankopplung des ATV an die ISS werden per Funk Daten ausgetauscht. Die hierfür erforderliche Antenne befindet sich am Ende eines ausklappbaren Antennenauslegers auf der Oberseite des ATV. Dieser wird erst nach Separation des ATV von der Raketenoberstufe ausgeklappt. Die Ankopplung des ATV an die ISS ohne vollständig ausgeklappten Antennenausleger stellt ein unkalkulierbares Risiko dar. Im Regelfall wird dem Kontrollzentrum der ESA das Einrasten des Auslegers in der Endposition durch ein Signal bestätigt. Dieses Signal blieb jedoch im Fall von ATV-3 über zwei Tage lang aus. Versuche der Astronauten, den Ausleger mit Hilfe von Ferngläsern von der ISS aus zu prüfen, blieben erfolglos.

### **Zustandsprüfung des Antennenauslegers auf Basis von Radarabbildungen**

Die Forscher vom Fraunhofer FHR begleiten die ATV-Missionen seit dem Start des ersten Frachters im März 2008. Bei Analysen aller bisher gewonnenen Radarbilder zeigte sich, dass der Antennenausleger bereits auf Bildern von September 2008 zu sehen ist. Damals beobachteten die Forscher ATV-1 kurz vor dem Wiedereintritt. Als Vorbereitung für eine Missionsunterstützung beim Start des nächsten Weltraumfrachters im Juni 2013 überprüften die Wissenschaftler daher nicht nur wie sie die gewünschten Referenz-Radarbilder für die ATV-4 Mission akquirieren können, sondern auch welche Beobachtungsbedingungen für den Nachweis der vollständigen Entfaltung des Antennenauslegers mit Hilfe des TIRA Abbildungsradars optimal sind.



### Enge Einbindung beim Start der ESA-Mission ATV-4

Die bislang umfangreichste Missionsunterstützung ist für den Start von ATV-4 Anfang Juni 2013 vorgesehen: Beim ersten Umlauf ist zunächst innerhalb eines eng gesteckten Zeitrahmens vor der Entkopplung von Raketenoberstufe und ATV-4 eine hochgenaue Bahnbestimmung geplant. Diese ermöglicht der ESA-Bodenstation in Neuseeland eine exakte Positionierung der Antenne zwecks Übertragung des Separationssignals.

Nach der Separation der beiden Objekte soll TIRA beim zweiten Umlauf gezielt die Bahn der Nutzlast ATV-4 erfassen. Hierbei besteht die besondere Schwierigkeit, dass sich kurz nach der Separation beide Objekte für einen relativ langen Zeitraum der beobachtbaren Passage gleichzeitig in der Antennenkeule des TIRA Zielverfolgungsraders befinden. Zur Bahnerfassung nur des ATV wurde daher eine geeignete Zieldiskriminierungs- und Akquisitionsstrategie entwickelt.

Aufgrund der Erfahrungen bei ATV-3 hat sich die ESA entschieden, bei ATV-4 den Antennenausleger so früh wie möglich zu entfalten, um eine Zustandsüberprüfung durch Radarbildanalyse bereits bei den ersten Umläufen zu ermöglichen. Sollten bei der Entfaltung des Antennenauslegers erneut Probleme auftreten und die Radarbildserien der ersten Umläufe nicht genügend Information zur Aufklärung des Zustands liefern, führt die ESA bei ATV-4 das mit dem Fraunhofer FHR abgesprochene Manöver durch, welches die Bedingungen zur Bestimmung des Ausklappwinkels durch Radarbildanalyse verbessert.

Zur erfolgreichen Unterstützung der ATV-Mission wird somit ein großer Teil der zur Analyse von Satelliten entwickelten Werkzeuge benötigt. Zur Beantwortung neuer, komplexerer Fragestellungen seitens der für die Mission zuständigen Raumfahrtagenturen wächst hierdurch am Fraunhofer FHR konsequent der Bedarf nach der Neuentwicklung geeigneter radarbasierter Analyseverfahren.

**1** Auf der Oberseite des ATV befindet sich ein zwei Meter langer Ausleger (ADB), an dessen Ende sich die Antenne zur Datenübertragung während der automatisierten Ankopplung an die Raumstation ISS befindet.

**2** Mit einer Serie von hochauflösenden Radarabbildungen lässt sich die vollständige Entfaltung des Antennenauslegers ADB geeignet überprüfen.

**3** Die Überlagerung eines Drahtgittermodells ist zwar sehr aufwendig, erleichtert aber erheblich die Radarbildanalyse.

Dr.-Ing. Thomas Patzelt  
 Tel. +49 228 9435-262  
 Fax +49 228 9435-656  
 Thomas.Patzelt@  
 fhr.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD



# LUFT- UND RAUMGESTÜTZTE RADARSYSTEME

Aus der Luft und dem erdnahen Weltraum können zivilen als auch militärischen Anwendern mit Radar zeitnah und bei fast jedem Wetter hoch aufgelöst und teilweise auch weit reichend einzigartige Fähigkeiten in Überwachung und Aufklärung zur Verfügung gestellt werden.

## Scharfer Blick von oben

Künftige Aufklärung, von der weltweiten über die weiträumige Aufklärung bis zur Aufklärung im Einsatzgebiet, wird sich verstärkt der radarbasierten Bildgebung mit Hilfe luft- und raumgestützter Sensoren bedienen. Um dabei sowohl ruhende als auch bewegte Objekte zwei- und dreidimensional mit hoher Auflösung darstellen zu können, ist eine hochgenaue Berücksichtigung der Flugdynamik erforderlich. Diese Fragen werden mit dem Radarsensor PAMIR untersucht. Das System liefert Radarbilder hoher Dynamik und mit einer Auflösung unterhalb von fünf Zentimetern; es ermöglicht dreidimensionale Abbildungen urbaner Szenen mit Höhensensitivitäten bis hinunter in den Zentimeterbereich und die Abbildung bewegter Land- und Seefahrzeuge.

Die Entwicklung von miniaturisierten SAR-Systemen, die sowohl in unbemannten UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*), aber auch in kleinen, oft für die spezifische Anwendung bereits verfügbaren, Kleinstflugzeugen integriert werden können, war ausschlaggebend für die Realisierung des Radarsensors SUMATRA. Das System welches im Bereich der Millimeterwellen arbeitet, zeichnet sich durch ein geringes Gewicht und ein kleines Volumen aus und bietet die Möglichkeit, die akquirierten Radardaten in Realzeit auf einer Anzeige in der Bodenstation darstellen zu können.

## Was bewegt sich da?

Die Entdeckung, Ortung und Verfolgung bewegter Objekte am Erdboden, auf See und in der Luft ist eine zentrale Aufgabe der Radaraufklärung. Diese wird jedoch vielfach durch störende Reflexionen von der Erdoberfläche, dem so genannten Clutter, erschwert. Sofern das Radargerät über

mehrere parallele Empfangskanäle verfügt, lassen sich diese störenden Radarechos mit Verfahren der mehrkanaligen Signalverarbeitung unterdrücken und somit auch sehr langsam bewegte Objekte entdecken. Je nach betrachtetem Radarsystem und -modus kommen dabei ganz unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Mit PAMIR lassen sich z. B. in mehreren zehn Kilometern Entfernung noch Objekte entdecken, die sich mit Fußgängerschrittgeschwindigkeit bewegen.

Für den raumgestützten Sensor RADARSAT-2 entwickeln Fraunhofer FHR und DRDC Ottawa, Kanada, eine Fähigkeitssteigerung im Bereich Bewegzielentdeckung. Während der Betriebsphase dieses sehr flexibel konzipierten Satelliten sind bereits erste auf Antennenumschaltung basierende Modi erfolgreich implementiert und eingesetzt worden.

## Teamarbeit am Himmel

Monostatische Radarsensoren, bei denen Sender und Empfänger an einem Ort vereint arbeiten, repräsentieren zurzeit noch die überwältigende Mehrheit der Radarsysteme. Bi- und multistatische Konfigurationen luft- und raumgestützter Systeme mit bis zu mehreren Sendern und Empfängern an räumlich weit verteilten Positionen werden jedoch künftig zu einer immensen Steigerung der Fähigkeiten führen. Zur Lösung verschiedener noch offener technologischer und wissenschaftlicher Probleme wurden in den letzten Jahren am Fraunhofer FHR vielfältige Experimente erfolgreich durchgeführt. In einer Konfiguration mit PAMIR und dem Radarsatelliten TerraSAR-X (Astrium/DLR) konnte erstmals eine bistatische Bildgebung in Flugrichtung nachgewiesen werden, was künftig als ergänzende Landeunterstützung durch bildgebende Radarsensorik Landevorgänge erheblich sicherer gestalten könnte.

*Zur Erprobung der Experimentalsysteme wird das insitutseigene Ultraleichtflugzeug Delphin eingesetzt.*

*Dr.-Ing. Andreas R. Brenner  
Tel. +49 228 9435-318  
Fax +49 228 9435-618  
andreas.brenner@  
fhr.fraunhofer.de*

*Prof. Dr.-Ing. Nils Pohl  
Tel. +49 228 9435-208  
Fax +49 228 9435-608  
nils.pohl@  
fhr.fraunhofer.de*



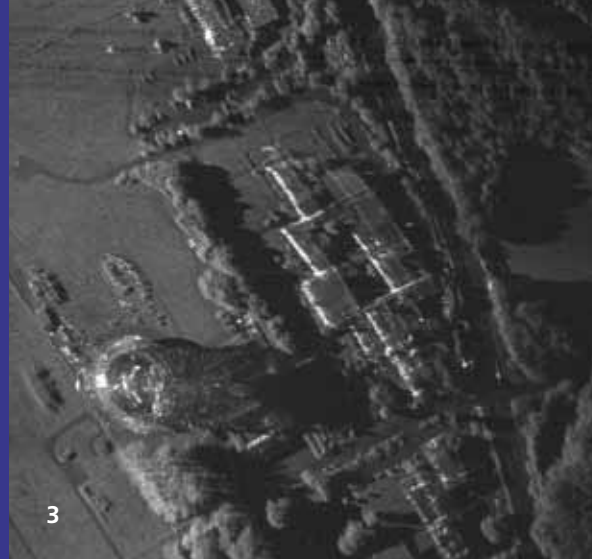
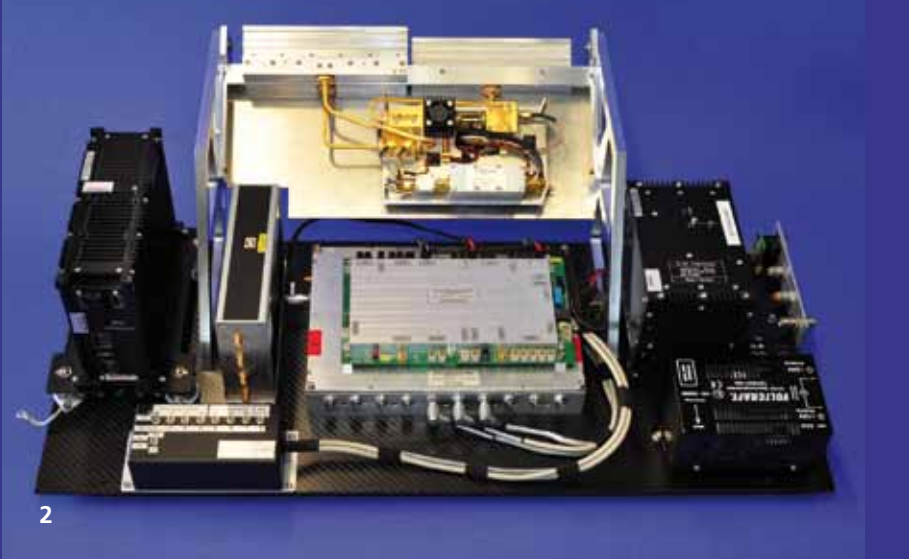
## SARape: MINIATURISIERTES SAR FÜR UAVS

Der luftgetragenen Überwachung von zivilen und militärischen Szenen mittels unbemannter Luftfahrzeuge kommt eine immer größere Bedeutung zu. Dabei spielen Dimension und Masse des bildgebenden Sensorsystems eine entscheidende Rolle.

Das Ziel des SARape-Projektes (*Synthetic Aperture Radar for all weather penetrating UAV Application*) war die Entwicklung eines miniaturisierten SAR-Systems, welches für den Einsatz in einem UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) mit geringer Nutzlast optimiert ist. Dazu ist nicht nur ein kompakter und leichter Radar-Sensor nötig, sondern auch eine entsprechende Signalprozessierung und Telemetrieinheit. Ferner sollte im Rahmen des Projektes ein effizienter und robuster SAR-Prozessor entstehen, der - trotz der instabilen Flugbedingungen eines kleinen unbemannten Luftfahrzeugs - vollfokussierte und hochaufgelöste Bilder in Echtzeit produziert. Die Konzepte der Einzelkomponenten sind weitestgehend bekannt, jedoch deren Kombination und Einsatz auf einem Kleinstfluggerät sind ein Novum. Insbesondere die hohe Bandbreite und die damit verbundene sehr gute Auflösung sind im UAV-Bereich bislang einzigartig.

Entstanden ist ein hochentwickeltes SAR-System, das in jeglicher Hinsicht modernen Ansprüchen in den zivilen und militärischen Szenarien entspricht. Insbesondere die Echtzeitfähigkeit des Systems eröffnet ein weites Anwendungsfeld, dabei ist die Ausgangsleistung des Radars von 100 mW ausreichend für eine Reichweite von mehreren hundert Metern. Durch den Einsatz einer hohen Sendefrequenz von 94 GHz ist der Sensor auch zur Detektion kleinskaliger Objekte geeignet und in Verbindung mit einer modernen FMCW-Erzeugung mit hoher Bandbreite (bis zu 1 GHz) und kleinen Antennen ergibt sich eine sehr hohe Auflösung von 15 cm x 15 cm. Ein weiterer Vorteil der Millimeterwellen ist ihre geringere Anfälligkeit für Bildfehler durch Mehrwegeausbreitung. SARape wurde als Zweikanal-Empfänger konzipiert, womit polarimetrische und interferometrische Messungen ermöglicht werden. Aufgrund des guten Signal-zu-Rauschabstandes der Empfänger wird ein optimaler Bildkontrast erzielt. Um eine ausreichende Bandbreite für die Datenübertragung zur Verfügung zu haben, wird das Signal an Bord im Vorprozessor digitalisiert und ins Basisband gebracht. So können neben den zwei Signalkanälen auch die Navigationsdaten parallel gesendet und die Komplexität der Datenauswertung reduziert werden. Die digitale Datenübertragung erfolgt im 2,4 GHz Band (WLAN) mit etwa 1 Watt Sendeleistung, da auf diese Weise keine besonderen Genehmigungsverfahren beachtet werden müssen. Unter Benutzung des entwickelten SAR-Prozessors und





eines hochpräzisen Inertialsystems (IMU) wird damit eine echtzeitfähige Bildgebung ermöglicht. Im Rahmen des Projektes wurde ebenfalls eine umfangreiche Datenbank mit möglichen unbemannten Plattformen aufgebaut, welche die Auswahl des bestmöglichen UAV für eine Reihe von Szenarien ermöglicht.

Das SARape-Konsortium wird von fünf Partnern aus vier europäischen Ländern (Deutschland, Polen, Ungarn und Zypern) gebildet und steht unter der Federführung der European Defence Agency (EDA). Jeder Partner bringt eine andere Kernkompetenz ein. Das Fraunhofer FHR ist als Konsortialführer für das Projektmanagement verantwortlich. Ferner wurden in Wachtberg das Systemkonzept und das Radar-Frontend entwickelt sowie das SARape-Gesamtsystem integriert und getestet. Das Fraunhofer IAF war für das Design und die Herstellung der benötigten HF-Komponenten für das Frontend zuständig. Aus Ungarn (Pro Patria Electronics) kam der Vorprozessor zur Signaldigitalisierung bzw. -konversion und aus Zypern (University of Cyprus) die Telemetrieinheit zur digitalen Datenübertragung. Die Technische Universität Warschau war für die Entwicklung des Echtzeit-SAR-Prozessors sowie für die Datenaufzeichnung und -analyse verantwortlich. Ein weiterer Konsortialpartner aus Ungarn (Slot Consulting) übernahm die Programmierung der UAV-Datenbank sowie das Medienmanagement.

Während der Testmessungen und bei einer Systempräsentation für geladene Gäste aus der Industrie und den Verteidigungsministerien wurden die Fähigkeiten von SARape eindrucksvoll demonstriert. Eine Echtzeit-Auswertung der Signale und damit die Erstellung eines online „SAR-Videos“ war bis zu einer Entfernung von 4,5 km zwischen Sender und Empfänger möglich. Für die Messflüge im September und Oktober wurde das institutseigene Ultraleicht-Flugzeug „Delphin“ benutzt (s. Abb. 1).

Abb. 2 zeigt das integrierte SARape-System (Radar-Frontend, IMU und Vorprozessor) mit einer Gesamtgröße von etwa 8 cm x 35 cm x 15 cm (H x B x T). Die Abbildung 3 demonstriert die hohe Auflösung des Systems anhand einer SAR-Aufnahme des FHR-Geländes.

**1** SARape-System im POD unter dem „Delphin“ Ultraleicht-Flugzeug bei einem Messflug im September.

**2** Integriertes SARape-System, bestehend aus Radar-Frontend, IMU und Vorprozessor, mit einer Gesamtgröße von etwa 8 x 35 x 15 cm<sup>3</sup> (H x B x T). Die Telemetrieinheit ist hier nicht abgebildet.

**3** Hochaufgelöste SAR-Aufnahme des FHR-Geländes – entstanden bei einem Überflug mit dem SARape-System im Rahmen einer Testkampagne im September.

Dr. rer. nat. Michael Caris  
Tel. +49 228 9435-353  
Fax +49 228 9435-608  
michael.caris@  
fhr.fraunhofer.de



## ABBILDUNG MARITIMER OBJEKTE AUF HOHER SEE

Bildgebendes Radar spielt eine wichtige Rolle für die weiträumige Überwachung. Luftgetragene SAR-Systeme eignen sich besonders für die Beobachtung begrenzter Gebiete. Die Abbildung maritimer Objekte bei Seegang stellt besondere Anforderungen an die Signalverarbeitung.

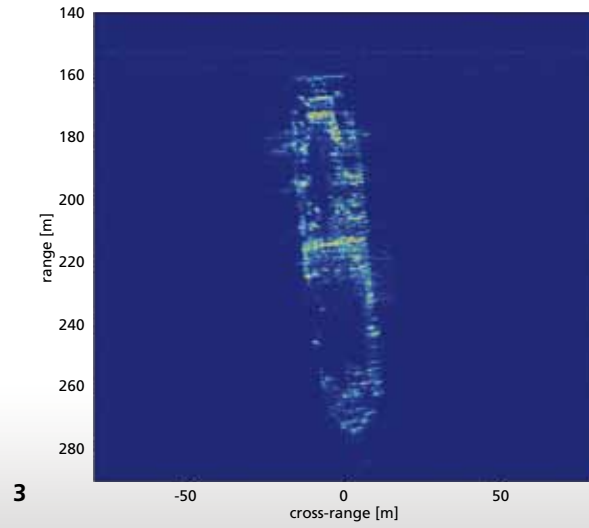
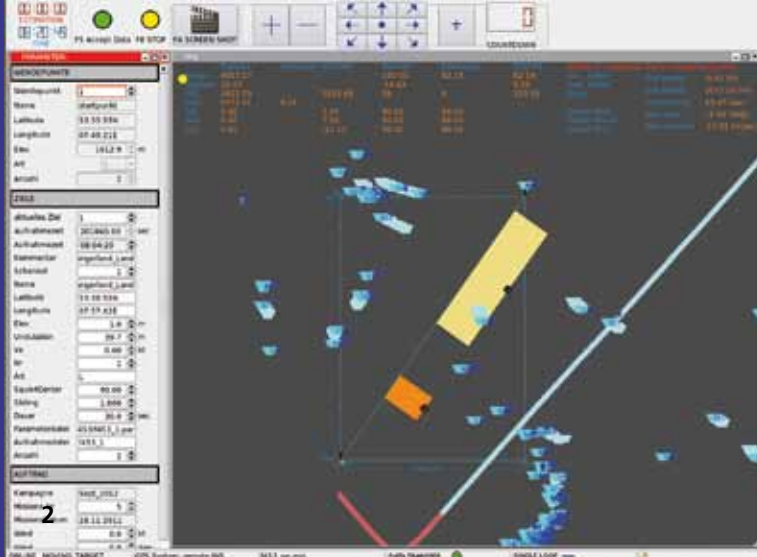
### Alles dreht sich um Bewegung

Radar mit synthetischer Apertur (SAR) nutzt die Bewegung des Radarsensors, um eine virtuelle Antenne aufzuspannen. Die Auflösung dieser virtuellen Antenne ist in Flugrichtung viel höher als die einer an Bord eines Flugzeugs realisierbaren Antenne. Die Nutzung einer großen Signalbandbreite gestattet es, auch in Entfernungsrichtung eine vergleichbare Auflösung zu erzielen. So entstehen zweidimensionale Radarbilder stationärer Szenen mit einer Auflösung im Dezimeterbereich.

Bei Überwachungsaufgaben, sowohl im militärischen als auch im sicherheitstechnischen Kontext, sind bewegte Objekte von besonderem Interesse. Eine hochaufgelöste Abbildung liefert einen wichtigen Beitrag zu ihrer Klassifikation. Beim Einsatz gewöhnlicher SAR-Verfahren wird diese jedoch durch die im Allgemeinen unbekannte Eigenbewegung des Objekts gestört. Die Schätzung der Objektbewegung bildet die Grundlage, die Störungen im Rahmen der Bildberechnung zu beseitigen und Zusatzpotential zu nutzen. Insbesondere mehrdimensionale Drehbewegungen maritimer Objekte auf hoher See führen zu komplexen synthetischen Aperturen und erfordern besondere Verfahren für eine präzise und robuste Bewegungsschätzung. Die Tatsache, dass die synthetische Apertur bei der Abbildung eines bewegten Objekts im Wesentlichen durch seine eigene Bewegung und nicht wie bei SAR allein durch die Bewegung des Radarsensors bestimmt wird, führte zu der Bezeichnung „Inverses SAR“ bzw. ISAR.

### Methoden der Signalverarbeitung

Die klassische Methode für die Auswertung empfangener Radarechos basiert auf der Range-Doppler-Analyse. Dabei muss vorausgesetzt werden, dass sich die Differenz der Abstände zwischen dem Radarsensor und einem beliebigen Streuzentrum des Objekts einerseits und dem



Sensor und einem Referenzpunkt des Objekts andererseits nur linear mit der Zeit ändert. Soll eine Abbildung mit feiner Auflösung erstellt werden, die eine große Integrationsdauer erfordert, wird diese Annahme jedoch in der Regel verletzt. Bei maritimen Objekten liegt dies nicht nur an einer variierenden Drehgeschwindigkeit, sondern auch an der sich ändernden Ausrichtung der Rotationsachse. Infolge der nichtkonstanten Geschwindigkeiten der Streuzentren tritt eine Unschärfe ihrer Doppler-Informationen auf. Aufgrund dieser Effekte muss die Bewegung des Objekts genau bekannt sein und kompensiert werden.

Die zu ermittelnde Bewegung enthält zwei Komponenten, die aus dem Zusammenwirken der Objekt- und Sensorbewegung resultieren: Eine translatorische Komponente, die den Abstand zwischen dem Radarsensor und dem abzubildenden Objekt beschreibt, und eine rotatorische Komponente, welche die Beleuchtungsrichtung durch das Radar bestimmt. Während für die Bestimmung der Translation (Längsbewegung) geeignete Verfahren zur Verfügung stehen, stellt die Ermittlung der Rotation (Drehbewegung) aufgrund der komplexen Roll- und Stampfbewegung eine große Herausforderung dar. Aus dem Verlauf der Signatur der Längsachse eines Schiffs im Entfernung-Doppler-Bereich kann auch die Rotation, getrennt nach horizontaler und vertikaler Richtung, geschätzt werden. Wissenschaftler des Fraunhofer FHR haben dieses Verfahren weiterentwickelt. Dabei erfolgt die Analyse der Verteilung starker Streuzentren eines Schiffs mit Hilfe von einer Eigenvektor-Analyse. Dies ermöglicht die Schätzung der Rotation, auch wenn Bug oder Heck nicht klar hervortreten.

**Ein Bild sagt mehr**

Für die Evaluation des Verfahrens wurden auf der Basis gemessener Schiffsbewegungen zunächst Radarechos simuliert und erfolgreich verarbeitet. Es folgten Experimente mit dem Radarsensor PAMIR zur Aufnahme von Schiffen auf der Nordsee. Für die Aufnahme nicht-kooperativer Schiffe im experimentellen Einsatz ist dabei eine grobe Kenntnis ihrer Position erforderlich. Ein in PAMIR integrierter AIS-Empfänger (Empfänger zur Schiffsidentifikation) ermöglicht es, Schiffskoordinaten während des Fluges zu ermitteln und für Aufnahmen zu nutzen.

Neben der hohen Reichweite steigert die uneingeschränkte Nutzbarkeit von Radar den Wert eines ISAR-Systems zusätzlich: Während optische Sensoren nur tageszeit- und wetterabhängig operieren können, ist Radar jederzeit nutzbar. Die bloße Ortung maritimer Objekte, wie sie von klassischen Radaren erfolgt, ist zu ihrer Klassifikation nutzlos. Erst die Abbildung mit Hilfe des ISAR-Verfahrens gibt Aufschluss über das Objekt an sich.

- 1 *Optische Aufnahme des Schiffs aus einer Bilddatenbank.*
- 2 *Schiffspositionen, die aus empfangenen AIS-Meldungen extrahiert werden, stellt der Navigationsprozess für die Einweisung experimenteller Aufnahmen grafisch dar.*
- 3 *Bewegungsschätzung, Bildrekonstruktion und Autofokus liefern das aussagekräftige ISAR-Bild eines Schiffs auf hoher See.*

*Dr.-Ing. Patrick Berens  
 Tel. +49 228 9435-641  
 Fax +49 228 9435-618  
 patrick.berens@  
 fhr.fraunhofer.de*



## ENTDECKUNG KLEINER BOOTE AUF OFFENER SEE

Die Detektion kleiner Boote inmitten großer Meeresgebiete ist in vielen Fällen von großer Bedeutung. Bestehende Radarsysteme können jedoch lediglich große Schiffe zuverlässig entdecken. Daher arbeitet das Fraunhofer FHR an neuartigen Systemen zur Entdeckung und Ortung kleiner Ziele auf offener See.

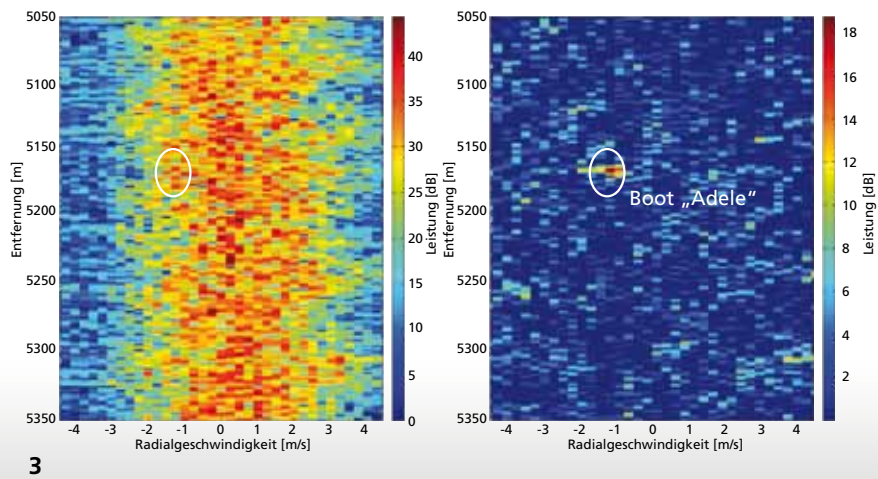
### Neue Anforderungen für maritime Radarsysteme

Piraten, Schmuggler und illegale Fischer gefährden die allgemeine Sicherheit auf dem Meer. Sie operieren meist mit kleinen Booten und sind daher schwer zu entdecken. Da der größte Teil der Erdoberfläche von Wasser bedeckt ist, müssen riesige Gebiete überwacht werden, um diese Bedrohungen einzudämmen. Radarsysteme auf luftgetragenen Plattformen sind dieser Herausforderung gewachsen und daher von zentraler Bedeutung.

Klassische maritime Radarsysteme operieren jedoch auf niedrigen Plattformen und haben die Aufgabe große Schiffe zu detektieren. Aufgrund des großen Radarquerschnitts der Schiffe und der niedrigen Rückstreuung des Wassers kann die Detektion ohne komplizierte Signalverarbeitung erfolgen. Bei luftgetragenen Plattformen aber muss das Ziel, insbesondere bei stürmischer See, aus einem deutlich stärkeren Wasserecho heraus entdeckt werden. Erschwerend kommt hinzu, dass diese kleinen Wasserfahrzeuge nur einen kleinen Radarquerschnitt haben. Somit müssen Ziele mit einem niedrigen Signal aus einem starken Wasserecho heraus detektiert werden. Klassische maritime Radarsysteme versagen mit ihrer einfachen Signalverarbeitung bei der Bewältigung dieser Aufgabe.

Das Fraunhofer FHR versucht das Problem anhand fortgeschrittener Algorithmen und dem selbstentwickelten Experimentalradarsystem PAMIR zu lösen. Eine vielversprechende Methode zur Bewältigung dieser Aufgabe ist *Space-Time Adaptive Processing* (STAP). Die Idee dabei ist es eine kohärente und mehrkanalige Signalverarbeitung anzuwenden, um das ungewünschte Echo des Wassers adaptiv zu unterdrücken, während das Signal des Bootes erhalten bleibt.





## Experimentalkampagne

Die Fähigkeit, kleine Boote innerhalb eines großen Gebietes bei stürmischer See zuverlässig zu detektieren, kann nur mittels realer Messdaten nachgewiesen werden. Aus diesem Grund unternahm das Fraunhofer FHR eine Messkampagne auf der Nordsee, in der Nähe von Helgoland. Dazu wurde das Transportflugzeug Transall C-160 mit dem Multifunktionsradar PAMIR ausgestattet. Um ein realistisches Testszenario nachzubilden, wurde ein kleines Boot namens „Adele“ (Länge: 7,5 m, siehe Abb. 1) innerhalb eines Gebietes auf offener und rauer See von dem Radarsystem überwacht. Neben den zwei Mann Besatzung waren auch zwei Wissenschaftler des Fraunhofer FHR mit an Bord (siehe Abb. 2). Die Aufgaben der Wissenschaftler umfassten hierbei zum einen die Kommunikation mit den Piloten über Funk, um die Bewegungen von „Adele“ bei den einzelnen Experimenten zu koordinieren. Zum anderen mussten die Positionen des Bootes mit GPS-Geräten aufgenommen werden, um später die Detektionen des Radarsystems zu verifizieren. Die Erfüllung dieser Aufgaben wurde durch den starken Seegang erschwert.

## Das Boot Adele - gesehen mit dem Radarsystem

Die Rückstreuung des Wassers und des Bootes kann in der linken Grafik der Abbildung 3 betrachtet werden. Der Kreis stellt den Bereich dar, in dem sich das Signal von „Adele“ laut der GPS-Aufnahmen befindet. Durch das starke Echo des Wassers kann jedoch zwischen dem Signal des Wassers und dem des Bootes nicht unterschieden werden. „Adele“ kann somit nicht detektiert werden. In der rechten Abbildung werden die Daten nach Unterdrückung des Wasserechos durch STAP dargestellt. Die Rückstreuung des Wassers ist hier fast vollständig unterdrückt, während das Signal von „Adele“ noch deutlich erkennbar ist. Nun kann die „Adele“ erfolgreich aus den Radardaten detektiert werden.

- 1 *Experimentalboot „Adele“ der Deutschen Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger.*
- 2 *Wissenschaftler bei den Vorbereitungen der Experimente.*
- 3 *Leistung der Radarechos, aufgetragen über Entfernung und Radialgeschwindigkeit ohne Unterdrückung des Wasserechos (links) und nach Signalverarbeitung mit STAP (rechts).*

Dipl.-Ing.  
 Valeria Gracheva  
 Tel. +49 228 9435-370  
 Fax +49 228 9435-618  
 valeria.gracheva@  
 fhr.fraunhofer.de





## NEUE SIGNALPROZESSIERUNGSMETHODEN FÜR SAR-SATELLITEN

Von zukünftigen raumgestützten bildgebenden SAR-Systemen wird gefordert, dass sie die Erde mit hoher Auflösung und gleichzeitig großer Flächenabdeckung abbilden können. Um dies zu ermöglichen, arbeitet das Fraunhofer FHR zusammen mit dem DRDC Ottawa an neuartigen Konzepten und Signalprozessierungsmethoden.

### Neue Anforderungen für zukünftige raumgestützte SAR-Systeme

Radarsatelliten spielen eine nicht mehr wegzudenkende Rolle für zahlreiche Anwendungen in der Erdbeobachtung, wie z. B. den Umweltschutz, den Verkehr, die Wirtschaft sowie für Verteidigung und Sicherheit. Durch ihre hohe Geschwindigkeit erreichen Satellitensysteme eine schnelle und globale Abdeckung der Erde. Darüber hinaus arbeiten Radarsysteme unabhängig vom Wetter und der Tageszeit und eignen sich hervorragend als komplementäre Sensoren zu optischen Systemen.

Zukünftige bildgebende Radarsatelliten sollen die gesamte Erde mit einer hohen Auflösung und breiter Abdeckung deutlich schneller abbilden als dies heutzutage möglich ist. Allerdings ist die gleichzeitige Erfüllung beider Anforderungen für konventionelle SAR-Satellitensysteme unerreichbar. Die Abbildung breiter Streifen auf der Erde erfordert eine kleine Antenne in Elevationsrichtung und eine niedrige Pulswiederholfrequenz, so dass Echos sowohl aus dem Nahbereich wie auch aus weiten Entfernungen aufgenommen werden können. Um zum einen eine hohe Auflösung in Azimutrichtung (d. h. längs der Bewegungsrichtung des Satelliten) im sogenannten Streifenmodus zu erzielen und zum anderen aber die Azimut-Mehrdeutigkeiten („Geisterbilder“) im SAR-Bild zu vermeiden, muss die Antenne in Azimutrichtung kurz sein, was gezwungenermaßen eine hohe Pulswiederholfrequenz bedingt.

Diese konträre Anforderung an die Pulswiederholfrequenz kann mit derzeitigen einkanaligen Radarsystemen nicht realisiert werden. Ein Ausweg aus diesem Dilemma bieten mehrkanalige SAR-Systeme und speziell entwickelte intelligente Signalprozessierungsmethoden. Solche zukünftigen Radarsensoren werden HRWS (*High Resolution Wide Swath*) SAR-Systeme genannt. Die Entwicklung eines satellitengestützten HRWS-SAR-Systems wird derzeit bei der ESA als



mögliches Konzept für die Nachfolge des Sentinel-1-Satelliten als auch beim DRDC in Kanada für den Einsatz auf RADARSAT-2 experimentell untersucht.

### HRWS SAR-Systeme

HRWS SAR-Systeme verwenden eine lange Empfangsantenne in Azimut, die in mehrere Kanäle aufgeteilt ist. Jeder Kanal hat seine eigene Empfangseinheit und tastet das von der Szene zurück gestreute Radarecho ab, wobei das Signal für jeden einzelnen Kanal sehr stark unterabgetastet ist. Die Pulswiederholfrequenz ist bewusst niedrig gewählt, um Entfernungsmehrdeutigkeiten zu vermeiden und daher eine große Streifenbreite zu erreichen. Ziel der mehrkanaligen Signalprozessierung ist es, die von den unterschiedlichen Kanälen empfangenen unterabgetasteten Azimut-Signale geschickt zu kombinieren und die Mehrdeutigkeiten zu reduzieren bzw. zu minimieren. Eine optimale Rekonstruktion erreicht man, wenn die Pulswiederholfrequenz eine perfekte Verschachtelung zwischen den räumlichen Abtastwerten und den zeitlichen Abtastwerten ermöglicht, d. h. durch eine gleichmäßige räumlich-zeitliche Abtastung. Dies ist allerdings nur für einige wenige diskrete Pulswiederholfrequenzen möglich. Diese Frequenzen eignen sich jedoch aufgrund anderer Einschränkungen, wie z. B. der unerwünschten Nadir-Echo-Überlagerung, meist nicht. Mehrkanalige SAR-Prozessierungsmethoden müssen deshalb in Azimut ungleichmäßig abgetastete Daten bearbeiten können.

Zusammen mit dem DRDC Ottawa, Kanada, entwickelt das Fraunhofer FHR neuartige Konzepte und Signalprozessierungsmethoden für HRWS-SAR-Systeme. Für die SAR-Bild-Rekonstruktion spielen folgende vier Faktoren eine wichtige Rolle: die geometrische Azimutauflösung, die Leistung der residualen Mehrdeutigkeiten, das Signal-zu-Rausch-Verhältnis und die radiometrische Auflösung. Es ist allerdings nicht immer möglich, diese Faktoren gleichzeitig zu optimieren. Die konventionelle HRWS-SAR-Bildrekonstruktionsmethode erlaubt die vollständige Unterdrückung bestimmter Mehrdeutigkeiten. Jedoch vermindert sich zum Teil drastisch das Signal-zu-Rausch-Verhältnis und somit die allgemeine Bildqualität. Die gemeinsam vom Fraunhofer FHR und dem DRDC entwickelten neuartigen Signalprozessierungsmethoden basieren auf anderen Kostenfunktionen und ermöglichen Signalrekonstruktionen mit einer verbesserten SAR-Bildqualität.

Diese Signalprozessierungsmethoden werden derzeit mit realen Daten des mehrkanaligen kanadischen SAR-Satelliten RADARSAT-2 (Abbildung 1) überprüft und verifiziert. Abbildungen 2 und 3 zeigen SAR-Bilder nach HRWS-Prozessierung. Eine deutlich verbesserte SAR-Bildqualität wird von der neu entwickelten HRWS-Rekonstruktionsmethode (Abbildung 3) im Vergleich zur konventionellen HRWS Methode (Abbildung 2) erreicht.

1 *Der kanadische mehrkanalige SAR-Satellit RADARSAT-2.*

2 *Konventionelle HRWS-SAR-Prozessierung.*

3 *Neue entwickelte HRWS-SAR-Prozessierung.*

*Dr.-Ing.*

*Delphine Cerutti-Maori*

*Tel. +49 228 9435-290*

*Fax +49 228 9435-618*

*delphine.cerutti-maori@*

*fhr.fraunhofer.de*

*Dr.-Ing. Christoph Gierull*

*Christoph.Gierull@*

*drdc-rddc.gc.ca*

*Dr. Ishuwa Sikaneta*

*Ishuwa.Sikaneta@*

*drdc-rddc.gc.ca*

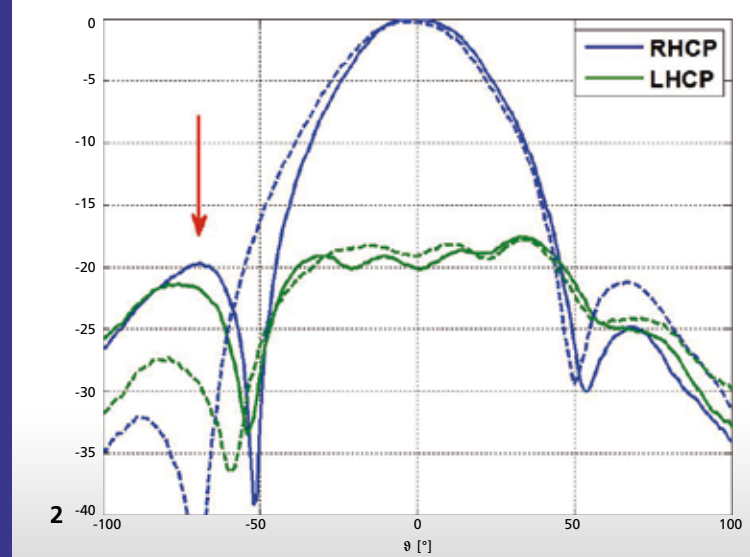
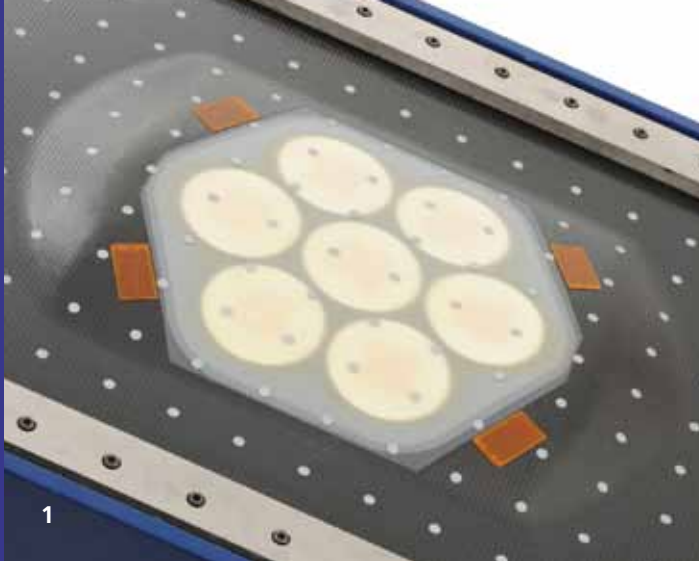
## ANTENNENGRUPPE MIT AKTIVER KOMPENSATION VON VIBRATIONEN

Antennen auf Flugzeugen sind starken Vibrationen ausgesetzt, die die Funktion bestimmter Systeme beeinträchtigen können. Ein neuartiger Antennendemonstrator zeigt erstmals, wie sich die Deformationen wirksam vermeiden lassen.

Die Integration von Antennen in Fahrzeuge ist aufgrund der zunehmenden Anzahl von Hochfrequenzsystemen für Radar, Kommunikation und Navigation eine kritische Aufgabe. Dabei müssen sowohl elektromagnetische als auch mechanische Aspekte berücksichtigt werden: Weder das Strahlungsdiagramm der Antenne noch die mechanische Stabilität der tragenden Struktur darf in zu großem Umfang verringert werden. Außerdem sind die aerodynamischen Eigenschaften sowie das äußere Erscheinungsbild des Fahrzeugs zu berücksichtigen.

Bei Antennengruppen können zusätzliche Probleme auftreten, wenn durch Turbulenzen, Motoren oder andere bewegte Teile am Flugzeug Vibrationen angeregt werden, die zu einer Verformung der Antennenapertur führen. Bei bestimmten, empfindlichen Systemen – z. B. bei der Richtungsschätzung mit Peilsystemen – können sich diese Veränderungen dynamisch auf das Strahlungsdiagramm der Antenne auswirken und damit auch auf die Qualität gesendeter bzw. empfangener Signale. Bei zukünftigen Flugzeugen oder unbemannten Plattformen (*Unmanned Aerial Vehicles UAV*), die zur Kostenreduktion oder für vergrößerte Reichweiten in Leichtbauweise gefertigt werden, verstärken sich die Probleme zusätzlich durch die geringere Festigkeit der verwendeten Materialien.

Die internationale NATO Arbeitsgruppe SET-131 „*Vibration Control and Structure Integration of Antennas*“ untersucht die Auswirkungen von Vibrationen bereits seit einigen Jahren für verschiedene Systeme und Flugzeugtypen. Neben der Analyse der auftretenden Effekte wurden auch Möglichkeiten zur Unterdrückung vorgestellt. Zum Beispiel können Phasenfehler an der Apertur aus den Empfangssignalen bestimmt und elektronisch kompensiert werden. Alternativ helfen Veränderungen der Materialeigenschaften wie Dämpfung und Steifigkeit, Strukturresonanzen in weniger anfällige Frequenzbereiche zu verschieben.



Einen ganz anderen Ansatz haben Wissenschaftler des Fraunhofer FHR in einer Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Braunschweig, und der EADS Deutschland GmbH Cassidian, Manching, gewählt: Mit Hilfe mechanischer Sensoren und Aktuatoren werden die angeregten Vibrationen gemessen und durch eine kontrollierte Gegenbewegung neutralisiert – dadurch bleibt die Antennengeometrie ungestört. Das Verfahren ist der aktiven Geräuschunterdrückung bei Kopfhörern (*Active Noise Cancellation*) ähnlich. Als Anwendungsbeispiel wurde eine sogenannte *Controlled Radiation Pattern* (CRPA) Antennengruppe mit sieben Elementen gewählt, die für die Satelliten-Navigation in gestörter Umgebung auf Flugzeugen eingesetzt wird. Solche Systeme können Störsignale von den Nutzsignalen der Satelliten unterscheiden und durch gezielte Nullstellen im Antennendiagramm unterdrücken. Gerade bei den dort eingesetzten Peilverfahren können Phasenfehler durch Vibrationen zu Fehlschätzungen führen.

Die vom Fraunhofer FHR entwickelten Dual-Band-Antennen für GPS-Empfang sind in ein Formteil aus kohlefaserverstärktem Kunststoff eingebettet und werden von einem Radom geschützt. Mit Hilfe von Beschleunigungssensoren und der am DLR entwickelten Piezo-Aktuatoren kann die Form der Antennenstruktur beeinflusst und im Betrieb stabilisiert werden. Alle verwendeten Materialien sind Verbundwerkstoffe, die im Flugzeugbau genutzt werden. Bei der Entwicklung wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass sich die mechanische Stabilität des Bauteils durch die Antenne nicht verringert.

Abb. 1 zeigt die Antennengruppe in einem Testbett, in dem ihre mechanischen Eigenschaften unter Vibration charakterisiert werden. Neben den Piezo-Aktuatoren ist ein Raster reflektierender Kontrollpunkte erkennbar, das zur optischen Erfassung der Aperturgeometrie benötigt wird. In Abb. 2 ist ein Beispiel für die adaptive Störunterdrückung der CRPA dargestellt. Während das Antennendiagramm in Richtung für den Satellitenempfang zum Zenit ( $0^\circ$ ) gesteuert ist, wird ein eventuell vorhandenes Störsignal durch eine gezielte Nullstelle in Pfeilrichtung unterdrückt.

Der Aufbau des Demonstrators, die Vermessung der Antennendiagramme und die Untersuchung der mechanischen Eigenschwingungen für die aktive Regelung wurden bereits erfolgreich abgeschlossen. In einem weiteren Schritt soll die Performance der Antennengruppe mit und ohne Vibrationskompensation nachgewiesen werden. Durch die Verwendung von für die Luftfahrt qualifizierten Materialien kann ein solches System ohne größere Modifikationen auf Flugzeugen zum Einsatz kommen.

- 1 *Sieben-Element-CRPA-Antennengruppe mit Piezo-Aktuatoren und aufgebrachten Kontrollpunkten zur Vibrationsmessung.*
- 2 *CRPA mit adaptiver Störunterdrückung: Das Antennendiagramm ist in Richtung eines Satelliten ( $0^\circ$ ) gesteuert, ein evtl. vorhandenes Störsignal in Pfeilrichtung wird durch eine gezielte Nullstelle unterdrückt (gestrichelte Linie).*

Dr.-Ing. Peter Knott  
 Tel. +49 228 9435-235  
 Fax +49 228 9435-521  
 peter.knott@  
 fhr.fraunhofer.de



GESCHÄFTSFELD





# LAND- UND SEEGESTÜTZTE AUFKLÄRUNG

Bodengebundene Radarsysteme leisten wesentliche Beiträge zur „Nachrichtengewinnung und Aufklärung“ in den verschiedensten Bereichen. Sie bilden das Rückgrat der Landesverteidigung.

Die Erstellung eines Lagebildes für Luft-, Boden- und Seeziele kann von fliegenden Plattformen, raumgestützten Systemen oder auch von bodengestützten Radaren erfolgen. Während die luft- und raumgestützten Systeme eher der weiträumigen Aufklärung dienen, ist die bodengestützte Lage- und Zielaufklärung von Bodenzielen und maritimen Zielen eine Aufgabe für den taktischen Einsatz. Gegenüber hoch fliegenden Luftzielen oder gar bei der Aufklärung von Zielen im Weltraum werden jedoch auch von bodengestützten Systemen große Reichweiten betrachtet.

## **Bodengestützte Aufklärung gegenüber Bodenzielen**

Im taktischen Einsatz wird versucht, z. B. von Bord eines Fahrzeuges oder aus einem Feldlager heraus die Umgebung „aufzuklären“, d. h. Informationen über mögliche Ziele zu gewinnen, sie zu detektieren, zu klassifizieren und zu identifizieren, um so eine Analyse der Situation (Bedrohungslage) durchzuführen. Moderne Radarverfahren wie die Mikro-Doppler-Analyse zur Erkennung und Differenzierung von Fußgängern, Fahrzeugen und Luftfahrzeugen (wie z. B. Hubschraubern) gewinnen dabei gerade im Feldlagerschutz hohe Bedeutung.

## **Bodengestützte Luftraumaufklärung**

Die Detektion, Klassifizierung und wenn möglich Identifizierung von Flugzielen vom Boden aus ist eine klassische Aufgabe der Luftverteidigung. Es geht auch in diesem Fall um die Erstellung eines Lagebildes (Luftlage) und eine daraus abzuleitenden Bedrohungsanalyse. Zur Zeit verfügbar sind monostatische Radarsysteme, die je nach Aufgabe Ziele über große Entfernungen von bis zu 200 Kilometer entdecken, oder als Nahbereichsradare zum Schutz von hochwertigen Anlagen

Entfernungen von einigen Kilometern bis zu ca. 30 Kilometern abdecken sollen.

## **Boden-/Seegestützte Aufklärung gegenüber maritimen Zielen**

Die Seeaufklärung von Land oder von Bord eines Schiffes aus hat ebenfalls die Erstellung eines verlässlichen Lagebildes zum Ziel. Diese Aufgabe wird erschwert durch das Problem des See-Clutters, der sich aufgrund seiner Variabilität vom Boden-Clutter und durch die seezustandsabhängige komplexe Bewegung der Ziele abhebt, was eine Radarzielabbildung stark erschwert.

Für alle aufgeführten Einsatzbereiche gilt, dass das aufklärende System entweder autark mit eigenem aktiven Radar operiert oder aber passiv arbeitet. Bei Letzterem erfolgt eine Beleuchtung durch andere Radare oder geeignete Beleuchter. Diese Beleuchtung kann kooperativ, d. h. in Absprache mit dem Empfänger, oder nicht-kooperativ erfolgen. Die passiven Verfahren mit dem Vorteil des „unsichtbaren“ Empfängers sind zweifellos die Verfahren der Zukunft. Sie sind von ihrer Anlage her bistatisch ausgelegt, können auch im Netz verschiedener passiver/aktiver Sensoren betrieben werden und zeigen deutliche Vorteile hinsichtlich ihrer Störfestigkeit.

Eine besondere Herausforderung stellen diese innovativen verteilten Radarsysteme für die Aufgabe der Zielklassifizierung oder -identifizierung dar, hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

*Das Fraunhofer FHR unterstützt die Bundeswehr bei der Entwicklung neuer Radarsensoren für die Marine.*

*Dr.-Ing. Joachim Schiller  
Tel. +49 228 9435-212  
Fax +49 228 9435-627  
joachim.schiller@  
fhr.fraunhofer.de*



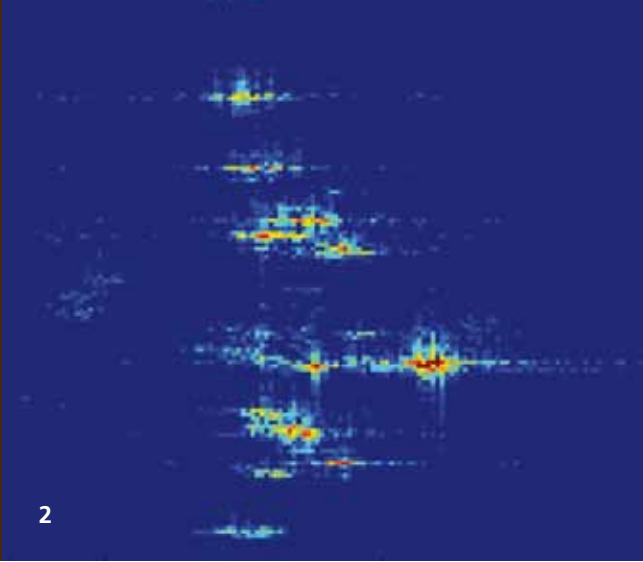
## DAS MOBIDAR-SYSTEM

Das mobile, für mono- und bistatische Szenarien geeignete Radar MOBIDAR wurde ursprünglich für die Gewinnung von hochaufgelösten Radarsignaturen für Referenzdatenbanken im Rahmen der nicht-kooperativen Ziel-Identifizierung konzipiert. Es kann jedoch auch zur Vermessung des Radarrückstreuquerschnitts von Flugzeugen herangezogen werden.

Im Rahmen des Projektes „RCS-Vermessung des A400M“ für die WTD 81/BAAINBw wurden im März 2012 erste Vorversuche zum Test der Zielnachführung von MOBIDAR erfolgreich durchgeführt. Ein Hubschrauber als langsames Ziel, das auch nahezu fest an einer Position in der Luft verharren konnte, ermöglichte dabei eine erste gründliche Untersuchung der Zielverfolgungskomponente. Die Messung eines Tornad jets bei der WTD 81 fand im August 2012 statt und diente dazu, die Nachführung von MOBIDAR als Folgeradar des vor Ort vorhandenen SKYGUARD-Radars und die gleichzeitige Messung hochaufgelöster Signaturen eines schnellen Flugziels zu testen. Dabei fand vor jeder Flugmessung jeweils eine Kalibrationsmessung statt, so dass der RCS des Tornados zu Vergleichszwecken geeicht vermessen werden konnte. Im nächsten Projektabschnitt wird MOBIDAR auf den Frequenzbereich von 2 bis 18 GHz ausgebaut, wobei der größte Teil der analogen als auch digitalen Signalsteuerung selbst erstellt wird.

Das Radar ist mit einem „Direct Digital Synthesizer Board“ (DDS) ausgestattet, das die Signalsteuerung und -Triggerung mit einer Taktung von acht Nanosekunden erlaubt. Je nach Aufgabenstellung können verschiedene Wellenformen ausgewählt werden. Mit einer Bandbreite bis zu einem GHz, einer Pulsdauer bis zu 20 Mikrosekunden und einer Pulswiederholfrequenz bis 5 Kilohertz ist MOBIDAR damit ein weitgehend softwaregesteuertes Radarsystem. Aufgrund eines sehr reinen Signals (*Spurious-free dynamic range* > 50 dB) und einer Aufzeichnungseinheit von 16 bit (ADC) haben die von MOBIDAR gelieferten Daten eine sehr hohe Qualität bei einer hohen Dynamik und Phasenstabilität.

In der derzeitigen Ausbau-Stufe kann die Verfolgung dynamischer Ziele entweder im „Slave“-Modus eines Zielverfolgungsraders oder über den Empfang und die Nutzung der GPS-Informationen des betrachteten Zieles realisiert werden. Eine benutzerfreundliche Software-Schnittstelle ermöglicht die Ansteuerung des Antennen-Positionierers aus dem Führungsfahrzeug heraus, das den Anhänger mit dem Pedestal zieht. Das Fahrzeug beherbergt auch die Computer, auf denen die Signalparameter eingestellt und die Ansteuerung der TWTs vorgenommen werden



2



3

können. Mit Hilfe einer Online-Anzeige können Messungen im laufenden Betrieb überwacht werden („Quick-Look“ – Fähigkeit für HRR und ISAR). Gleichzeitig wird das Ziel optisch mit einer Videokamera beobachtet. Sowohl das Entfernungstor als auch der Dynamikbereich können während einer Messung angepasst werden.

Die Elektronik zur Signal-Generierung besteht zum großen Teil aus selbstentwickelten Schaltkreisen, bestückt mit FPGAs, und ist in einem Radar-Frontend mit kleinster möglicher Bauform (60 x 60 x 20 Zentimeter) untergebracht. Das System ist wasserdicht und hat sich bereits bei Temperaturen zwischen 0°C und 35°C, und sowohl bei starkem Regen als auch bei Schneefall bewährt.

Aus den von MOBIDAR gemessenen Rohdaten können Entfernungsprofile mit einer Auflösung von bis zu 15 Zentimetern erstellt werden. Verarbeitet man eine Serie dieser Entfernungsprofile, so kann man bei glatter Flugbahn des Ziels zweidimensionale Abbildungen (sogenannte ISAR-Bilder) generieren und erhält damit die Position von Streuzentren auf dem Zielobjekt. Abbildung 2 zeigt als Beispiel das ISAR-Bild eines Flugzeugs, das als Gelegenheitsziel von MOBIDAR aufgenommen wurde.

Mit dem MOBIDAR-System steht dem Fraunhofer FHR in Zukunft ein leistungsfähiges, mobiles Radarsystem zur Verfügung, welches sowohl über große Entfernungen die Erfassung und Vermessung von Flugzielen erlaubt, aber auch zur Signaturgewinnung von Bodenzielen eingesetzt werden kann. Das System wird in acht Frequenzbändern arbeiten können und durch Hinzunahme eines zusätzlichen Empfangssystems zu einem bistatischen Radarsystem erweitert werden.

1 Das MOBIDAR-System auf dem Gelände der WTD 81 in Greding.

2 ISAR-Bild eines Gelegenheitszieles, das von MOBIDAR aufgenommen wurde.

3 MOBIDAR mit den Antennen für den Frequenzbereich 2 - 18 GHz.

Dr. rer. nat. Tanja Bieker  
 Tel. +49 228 9435-634  
 Fax +49 228 9435-627  
 tanja.bieker@  
 fhr.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD





# SYSTEME FÜR SICHERHEIT UND SCHUTZ

Radar kann auf vielfältige Weise dazu beitragen, die Sicherheit im zivilen und militärischen Bereich zu erhöhen und den Schutz der Menschen zu verbessern. Es erlaubt beispielsweise verborgene Objekte zu entdecken, Personen und Gegenstände zu untersuchen oder Feldlager zu schützen.

Forschungsschwerpunkte am Fraunhofer FHR sind seit langem die Radartechnik vom Meterwellenbereich über die Zentimeterwellen bis zu den Millimeterwellen sowie die nachfolgende Radarsignalverarbeitung. Die Entwicklung innerhalb der Forschungsschwerpunkte beschränkt sich dabei nicht nur auf die Erforschung neuer Signalverarbeitungsmethoden und neuer Radartechnologien in unterschiedlichen elektromagnetischen Spektralbereichen. Vielmehr ist die ständige Fähigkeitsverbesserung ebenso wie die Abdeckung des gesamten Bereichs der Hard- und Softwareentwicklung ein wesentlicher Bestandteil, angefangen vom Aufbau der Backend-Elektronik bis hin zur Realisierung der Radar-Frontends. Dieses Know-how wird gezielt für die Entwicklung zukünftiger Sicherheitssysteme und für Systeme zum Schutz der Zivilbevölkerung eingesetzt.

Ein Beispiel für die zivile Sicherheit ist die Detektion und Klassifizierung von in Briefen versteckten Bedrohungen mittels Millimeterwellen. Dabei wird das Vermögen elektromagnetischer Wellen genutzt, unterschiedliche Materialien zu durchdringen. Im Rahmen eines internen Programms wurde ein entsprechender Scanner aufgebaut, der momentan in Kooperation mit einem Industriepartner Massenmarkttauglich weiterentwickelt und aufgebaut wird. Dieser kann beispielsweise in Justizanstalten oder ähnlich sicherheitsrelevanten Einrichtungen eingesetzt werden, um die zulaufende Post auf unerwünschte Substanzen oder Sprengmechanismen zu untersuchen.

Im Fokus der Forschung steht zudem aktuell die abstandswirksame Kontrolle von Personen. Von besonderem Interesse sind hier Ansätze, bei denen die Personen sich möglichst frei bewegen können und die Sensorik nicht direkt sichtbar ist. Dabei wird ein Trend in der Forschung und Entwicklung zu-

nehmend sichtbar: Die geforderte, möglichst freie Bewegung des Menschen kann nur durch die Verwendung multipler Sensorsysteme erreicht werden. Für diesen Einsatzzweck werden seit geraumer Zeit verschiedene konzeptionelle Ansätze verfolgt und innerhalb europäischer Förderprojekte entwickelt und aufgebaut.

Auch im Bereich des Feldlagerschutzes, insbesondere im Rahmen militärischer Einsätze, ist die abstandswirksame Kontrolle wichtig. Um den Bedrohungen durch ferngezündete Sprengsätze, *Improvised Explosive Devices* (IEDs) oder von Selbstmordattentätern zu begegnen, werden für den Schutz militärischer Einrichtungen neue Sensorentwicklungen erarbeitet, bei denen besonders auf einen militärisch/zivilen *Dual-Use* geachtet wird. Für die hierfür nötige *Standoff*-Detektion eignen sich radiometrische Ansätze besonders gut, da sie nicht mit künstlichen Beleuchtern arbeiten, sondern die natürlichen Strahlungsquellen ausnutzen.

Neben den hier skizzierten Anwendungen sind die gleichen Technologien auch in vielen anderen Feldern direkt nutzbar. Es sind dabei besonders alle Aufgaben um das Katastrophenmanagement und humanitäre Einsätze zu nennen. Dort spielt unter anderem die Erkundung von Katastrophengebieten aus der Luft – auch bei widrigen Umweltbedingungen – und das Aufspüren von Lebenszeichen möglicher Opfer eine wichtige Rolle.

*Das Fraunhofer FHR forscht an einer abstandswirksamen Gepäckkontrolle für Flugpassagiere.*

*Prof. Dr.-Ing. Nils Pohl  
Tel. +49 228 9435-208  
Fax +49 228 9435-608  
nils.pohl@  
fhr.fraunhofer.de*





## AUS SAMMI WIRD T-SENSE

Im Rahmen einer engen Forschungskoooperation zwischen dem Fraunhofer FHR und dem Bereich Public Security der Hübner GmbH wurde ein schneller und effizienter Millimeterwellenscanner zur Detektion von Briefbomben und illegalen Substanzen entwickelt. Damit kann erstmalig ein serienreifes, auf Millimeterwellen beruhendes Inspektionssystem für den Einsatz in Büros oder in Poststellen erworben werden.

Im Rahmen einer Forschungskoooperation konnte der vom Fraunhofer FHR entwickelte SAMMI (*Stand Alone MilliMeter wave Imager*) zu einem universell einsetzbaren Sicherheitsscanner für die Büroumgebung weiterentwickelt werden. Ursprünglich als Scanner für industrielle Anwendungen entworfen, ergeben sich für diese Technologie völlig neue Perspektiven: Aufgrund seines geringen Gewichts, seiner kompakten Bauform und seiner intuitiven Bedienoberfläche eignet sich der Scanner insbesondere für den Einsatz in einer Büroumgebung. Er richtet sich dabei an gefährdete Personen aus den Bereichen Industrie und Politik, die sich vor Briefbomben schützen möchten.

Die Firma Hübner GmbH vermarktet dabei die Neuentwicklung unter dem Produktnamen T-Sense als kommerzielles Produkt. Wie bei SAMMI ist das Herzstück von T-Sense eine einzelne Sender/Detektoreinheit mit 78 GHz, die in einer Kreisbewegung den zu untersuchenden Brief scannt. Durch seine neu integrierte Fließbandzuführung kann nun auch eine größere Anzahl von Briefen bewältigt werden. In der Büroausführung können zwischen 200 und 600 Postsendungen pro Stunde geprüft werden. Die Ergebnisse werden dabei in Echtzeit dem Bediener zur Verfügung gestellt. Geschwindigkeit und Auflösung lassen sich dabei individuell einstellen. Bei Bedarf kann die Messung unterbrochen werden und eine verdächtige Briefsendung noch einmal erneut mit höherer Auflösung analysiert werden.

Dabei wird dem Nutzer ein umfangreiches Portfolio an Tools zur Bildverbesserung und -optimierung zur Verfügung gestellt. Dem Bediener des T-Sense stehen dabei direkt auf der Oberfläche der Steuerungssoftware eine Vielzahl von Einstellungen zur Optimierung des Bildes, Anpassung der Helligkeit und Farbskala, zum „*phase unwrapping*“ oder Erhöhung des Kontrastes zur Verfügung. Die Software leitet dabei auch den ungeübten Nutzer sicher durch die verschiedenen Optimierungsschritte, während im Expertenmodus eine Vielzahl individueller Einstellungen für den geübten Bediener angeboten werden.



2



3

Wie bei SAMMI wird für den T-Sense eine Nahfeldsonde zur Abtastung eingesetzt, wodurch ein optimaler Kompromiss zwischen Auflösung, Kosten und Frequenzwahl getroffen werden konnte. Die Messung erfolgt in Transmission, wobei die Phase und Amplitude des transmittierten Signals bestimmt wird. Gerade die Phasenmessung erlaubt die Detektion geringster Abweichungen. So lassen sich bei einer Briefbombe nicht nur die metallischen Strukturen visualisieren, sondern auch nichtmetallische Bestandteile wie z. B. Sprengstoff oder andere illegale Substanzen. Das volle Potential entwickelt der T-Sense aber erst in Kombination mit einer weiteren Fraunhofer-Entwicklung, dem T-Cognition. Hierbei handelt es sich um einen spektroskopischen Scanner des Fraunhofer IPM, mit dem illegale Substanzen in Briefen exakt bestimmt werden können. Hierbei liegt die Leistungsfähigkeit in dem Zusammenspiel der beiden Systeme: Der T-Cognition erlaubt hochpräzise Analysen von Substanzen in geschlossenen Briefen, während der T-Sense aufgrund seiner schnellen Messgeschwindigkeit für einen hohen Durchsatz an Briefen sorgt und die Voruntersuchungen unternimmt. Beispielsweise können so illegale Substanzen wie Drogen aufgespürt werden, ohne dass die Postsendung geöffnet werden muss.

Aber auch im Bereich der industriellen Qualitätssicherung ergeben sich durch die Verbesserungen und erhöhten Durchsatzraten völlig neue Möglichkeiten. Durch seine offenen Schnittstellen und den direkten Zugriff auf die Rohdaten können dabei jederzeit kundenspezifische Algorithmen und Verfahren in die Auswertung eingebunden werden. Dieses macht SAMMI nicht nur für industrielle Anwendungen zu einem perfekten Messmittel, sondern es stellt eine ideale Forschungsplattform für die Entwicklung eigener Verfahren da.

**1** T-Sense ist die Umsetzung des SAMMI Konzeptes. Das Produkt entstand aus der Zusammenarbeit der Hübner GmbH mit dem Fraunhofer FHR.

**2** T-Sense verfügt über ein integriertes Fließband, eine verbesserte HF-Technik und leistungstärkere Softwareumgebung um optimale Ergebnisse zu liefern.

**3** Mit T-Sense wurde das SAMMI Konzept erfolgreich in ein serienfertiges Produkt überführt. SAMMI ist somit eine Paradebeispiel für die industriennahe Forschung am Fraunhofer FHR.

Dipl.-Ing. Dirk Nüßler  
 Tel. +49 228 9435-550  
 Fax +49 228 9435-608  
 dirk.nuessler@  
 fhr.fraunhofer.de



## DAS HÖCHSTAUFLÖSENDE RADAR MIRANDA 300

Das höchstauflösende Experimentalradar MIRANDA 300 wurde am Fraunhofer FHR entwickelt und bildet einen Meilenstein der Millimeterwellen-Radartechnik. Auf Grund der hohen Bandbreite und der daraus resultierenden Auflösung von 3,75 mm können Objekte in Entfernungen von bis zu 700 m mit Höchstaufklärung dargestellt werden.

Das MIRANDA 300 Experimentalradar bildet den momentanen technischen Höhepunkt in einer langen Reihe von Millimeterwellen-Radarsystemen, welche beim Fraunhofer FHR entwickelt wurden. Die drei Hauptmerkmale des Systems sind die extrem feine Entfernungsauflösung, eine hohe Signalstabilität und die Arbeitsfrequenz von 300 GHz, mit welcher der Bereich der Terahertz-Technologie betreten wird.

In dem Frequenzbereich um 300 GHz kann die emittierte Strahlung die Materialien von Kleidung, Taschen oder Verpackungen durchdringen. Dies ermöglicht die Realisierung von Sicherheitsanwendungen zur Entdeckung von am Körper verdeckt getragenen Waffen. Zudem liegt um 300 GHz die Atmosphärenabsorption bis zu einer Entfernung von maximal 1 km aufgrund eines atmosphärischen Fensters in einem tolerierbaren Bereich. Auch die Fähigkeit, Staub und Nebel zu durchdringen, ist vergleichbar dem der 94-GHz-Millimeterwellenstrahlung, sodass die hier beschriebenen Systeme ideal für Anwendungen in der hochgenauen Fernerkundung eingesetzt werden können. Die hohe Frequenz von 300 GHz ermöglicht die Miniaturisierung des Systems durch eine platz- und gewichtssparende Bauweise. In Abbildung 2 ist das MIRANDA 300 Radar dargestellt. Das noch nicht ausgeschöpfte Potential der Miniaturisierung wird bereits daran verdeutlicht, dass die in dem Experimentalsystem zur Steigerung der Flexibilität vorgehaltenen Freiräume in einem finalen System nicht benötigt werden. Möglich wird die Miniaturisierung auch dadurch, dass nicht der klassische Ansatz eines gepulsten Systems, sondern ein frequenzmoduliertes Dauerstrichradar verwendet wird. So müssen keine Hochspannungen erzeugt werden, vielmehr kommen ausschließlich Halbleiterkomponenten mit Versorgungsspannungen von weniger als 5 Volt zum Einsatz.

Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Signalerzeugungen von bereits beim Fraunhofer FHR betriebenen miniaturisierten Flugradaren wie SUMATRA konnten die Forscher bei Miranda 300 die extrem hohe Hochfrequenzbandbreite von 40 GHz realisieren. Erreicht wurde



die Bandbreite durch den Einsatz von Frequenzvervielfachern, welche vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg entwickelt wurden. Die Bandbreite von 40 GHz ermöglicht eine Entfernungsauflösung von bis zu 3,75 mm. Damit lassen sich Objekte detailgetreu abbilden, wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Dargestellt ist dort das Ergebnis einer Messung mit Inverser synthetischer Apertur (ISAR), bei der eine Person auf einer in 140 m Entfernung befindlichen Drehplattform um 360° gedreht und dabei von MIRANDA 300 aufgenommen wurde. Die daraus prozessierten Bilder zeigen die theoretisch erwartete Detailtreue. Allerdings treten dabei Effekte auf, deren Korrektur bei relativ kleinen Objekten wie Menschen oder Fahrzeugen bisher nicht notwendig war. So erscheinen Objekte, welche sich nicht auf Höhe der Drehplattform, sondern etwas oberhalb von ihr befinden, durch eine perspektivische Verzerrung des Radarbildes anders als auf einem optischen Bild. Dieses Phänomen lässt sich an dem Mobiltelefon erkennen, das die Person bei der Messung auf dem Bauch unterhalb des Hemdes, ca. 20 cm oberhalb der Drehplattform, trug. In jeder einzelnen Drehposition erscheint das Mobiltelefon zum Beobachter hin verschoben, was es in der 360°-Gesamtdarstellung vergrößert wirken lässt.

Die hohe Stabilität der Signalgenerierung in Bezug auf Linearität und Phase von MIRANDA 300 ist dafür verantwortlich, dass der reflektierte Frequenz-Chirp auch nach einer langen Verzögerungszeit noch mit dem ausgesendeten Chirp verglichen werden kann. Ohne diese Eigenschaft würde ein Punktziel nicht als solches, sondern als ausgedehntes Objekt dargestellt. Ein Bild, welches sich aus einer großen Anzahl einzelner Streuer zusammensetzt, könnte dann nur noch unscharf dargestellt werden. Nur die hohe Stabilität und Phasenbeziehung garantieren daher die hochpräzisen Messungen auch in großen Entfernungen.

Das MIRANDA 300 System demonstriert nicht nur die Möglichkeiten der neuen Technologie, sondern erschließt damit auch ein großes neues Anwendungsspektrum. Durch die extrem hohe Auflösung lassen sich Strukturen sehr genau vermessen. Im Gegensatz zu etablierten Messverfahren, bei denen Laserscanner eingesetzt werden, ist es im vorliegenden Fall aber nicht notwendig, eine große Anzahl einzelner Messpunkte abzutasten. Vielmehr kann mit Hilfe einer ausgedehnten Antennenkeule ein Bereich abgefahren oder abgeflogen und die relevante Information anschließend durch die Radar-Prozessierung ermittelt werden. Die Einsatzmöglichkeiten umfassen neben der Sicherheitstechnologie mit der Charakterisierung von Personen und Objekten auf weite Entfernungen insbesondere auch die hochpräzise und schnelle Vermessung von Strukturen. Hier bewegt sich das Anwendungsspektrum über die Bewertung von Straßen- oder Tunnelzuständen bis hin zu berührungsfreien Volumenbestimmungen in technischen Anlagen oder im Bergbau.

1 ISAR-Messung einer Person in 140 m Entfernung.

2 300-GHz-Millimeterwellen Radar System mit integrierter Signalerzeugung.

Dr. rer. nat. Stephan Stanko  
Tel. +49 228 9435-704  
Fax +49 228 9435-608  
stephan.stanko@  
fhr.fraunhofer.de



## PASSIVE MILLIMETERWELLENBILDER MIT DEM ROTRAD-SYSTEM

Als passives abbildendes Millimeterwellensystem erlaubt uns RotRad, die Welt mit 94-GHz-Augen zu betrachten. Das Zusammenspiel von Strahlungsquellen, Materialien und Oberflächeneigenschaften bei 3,2 mm Wellenlänge bringt zusätzliche Informationen für viele Sensoranwendungen.

Anders als bei Radarverfahren, welche auf der Anordnung jeweils weniger Sender und Empfänger beruhen, profitiert die Millimeterwellenradiometrie von einer diffusen Beleuchtung mit sehr vielen großflächigen Strahlungsquellen. So lassen sich beispielsweise Tarnmaterialien, die meist durch diffus reflektierende Metalleinschlüsse die Radarsignaturen von Einsatzfahrzeugen reduzieren sollen, besonders gut mit passiven Millimeterwellensensoren detektieren. Zudem erweisen sich viele optisch undurchsichtige Medien wie Gewebe oder Kunststoffe in diesem Frequenzbereich als größtenteils transparent, was für passive Sicherheitsscannerkonzepte ausgenutzt wird. Mit einem Blick durch die Kleidung hindurch werden Gegenstände sichtbar, die nicht zum menschlichen Körper gehören. Die Detektion von Brandherden als weiteres Anwendungsgebiet ist mit passiven Millimeterwellenkameras auch dann noch möglich, wenn die Dichte von Rauchpartikeln und Wasserdampf optische und infrarote Bildgebung schon längst nicht mehr zulässt.

Technisch basieren die Empfangskanäle des RotRad auf rauscharmen Verstärker- und Mischstufen, die vom Fraunhofer IAF in Freiburg in Kooperation erforscht werden. Dieser Ansatz bringt mehrere praktische und wissenschaftliche Vorteile mit sich: Die Empfänger sind zum einen empfindlich genug für bildgebende Anwendungen, ohne dafür mit flüssigem Helium gekühlt werden zu müssen. Zum anderen erlaubt es das heterodyne Design von RotRad, die Empfangsbänder spektroskopisch oder polarimetrisch auszuwerten. So können weitere Informationen gewonnen werden, beispielsweise über die Materialzusammensetzung des Messobjekts oder über die Produkte eines Verbrennungsprozesses.

RotRad wird unter der Bedingung weiterentwickelt und optimiert, dass sich möglichst breite Fragestellungen der Millimeterwellenradiometrie abdecken lassen. Das System wird immer wieder im Rahmen von Vorstudien späterer Projekte eingesetzt.





### Systemeigenschaften

RotRad arbeitet in seiner derzeitigen Ausbaustufe mit einer vierkanaligen *Focal-Plane-Array*-Konfiguration. Beide Seitenbänder von jeweils 3 GHz Bandbreite um den Lokaloszillator herum werden in die Zwischenfrequenzebene umgesetzt, dort weiterverstärkt und auf Detektoren geführt. RotRad arbeitet somit empfindlich zwischen 88 GHz und 94 GHz. Um optische Abbildungsfehler so gering wie möglich und über alle Bildpunkte hinweg konstant zu halten, wird bei diesem System die gesamte Antenne von 61 cm Durchmesser in Azimut und Elevation geschwenkt. Mit dieser Technik lassen sich Messziele innerhalb weniger Sekunden streifenweise abtasten. Falls es eine Anwendung erfordert, kann auch auf die Bildgebung verzichtet werden. Die Antriebe werden angehalten und RotRad ermittelt die zeitlichen Verläufe von Helligkeitstemperaturen in einem vorgegebenen Raumwinkelbereich. Das kann zum Beispiel bei der Beobachtung von Brandverläufen wichtig sein.

### Ausblick

Obwohl das W-Band einen guten Kompromiss zwischen verfügbarer Bandbreite und Komponentengröße darstellt, ist es doch wünschenswert, für manche Anwendungsfälle Untersuchungen in anderen Frequenzbändern durchführen zu können. Deshalb wird das RotRad-System derzeit mit weiteren Empfangskanälen ausgestattet, so dass es auch bei 220 GHz Daten von hoher Qualität liefern kann. Auch radiometrische Empfänger bei 35 GHz befinden sich in Vorbereitung. Hierfür wird zurzeit ein rekonfigurierbares Backend erstellt, das allen Anwendungsfällen gerecht wird.

- 1 Personenscan mit RotRad bei 94 GHz.
- 2 RotRad-Abbildung eines Baggers bei 94 GHz.
- 3 Messszene in Thun (CH).

Dipl.-Ing. Denis Nötel  
Tel. +49 228 9435 308  
Fax. +49 228 9435 608  
denis.noetel  
@fhr.fraunhofer.de



## MULTISENSORSYSTEME FÜR PERSONENSCANNER

Heute eingesetzte Technologien für Personenscanner unterliegen derzeit einem auf praktischen Erfahrungswerten beruhenden Paradigmenwechsel, weg von monosensorisch orientierten und zeitraubenden Systemen hin zur hochauflösend an bewegten Personen operierenden Multisensorik.

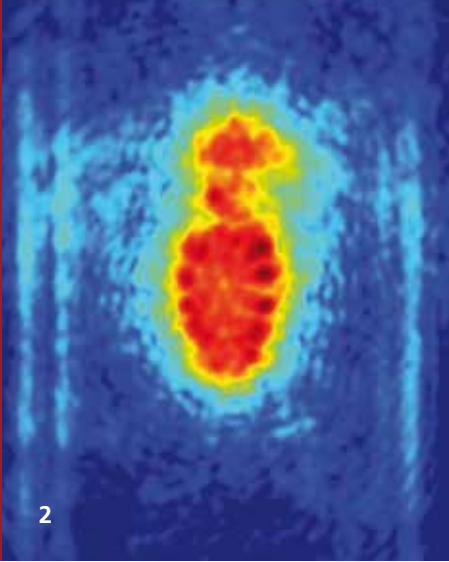
### Monosensorik beherrscht den heutigen Standard

Aktuelle Personenscanner beruhen auf dem Einsatz einer einzigen Technologie, egal ob es sich dabei um millimeterwellen- oder röntgenbasierte Sensoren handelt. Ein zusätzliches Kriterium zur Differenzierung dieser abbildenden Geräte ist die Unterscheidung der verwendeten Verfahren nach aktiver Beleuchtung der Person und passiver Aufnahme der natürlichen, von der Person emittierten und reflektierten elektromagnetischen Strahlung. Aus diesen Sensortechnologien und den verschiedenen abbildenden Verfahren kann eine Vielzahl an Systemen abgeleitet werden, denen allen jedoch zwei Dinge gemein sind: Einerseits handelt es sich um den Einsatz einer Monosensorik – also einer einzigen Sensortechnologie – und zum anderen ergibt sich daraus in der Regel ein sehr zeitaufwendiger Vorgang.

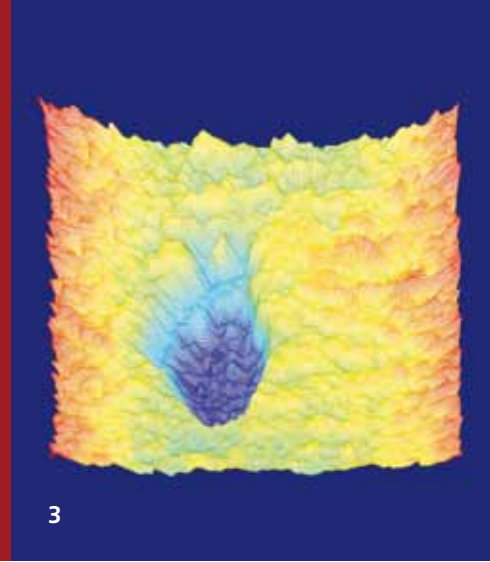
An dieser Stelle sollte angemerkt werden, dass die Fähigkeiten dieser Systeme zunehmend besser werden, wie am Beispiel des am Fraunhofer FHR erfolgreich abgeschlossenen, europäisch geförderten ATOM-Projekt (*Airport detection and Tracking Of dangerous Materials by passive and active sensor arrays*) deutlich wird. Dennoch zeigte sich trotz der dort erreichten schnellen Scanzeiten, dass die Wartezeiten an Sicherheitsschleusen nur dann erheblich reduziert werden können, wenn zusätzlich zu den bereits eingesetzten, weitere Sensortechnologien und/oder Verfahren angewendet und kombiniert werden.

### Multisensorik definiert die Zukunft der Personenscanner

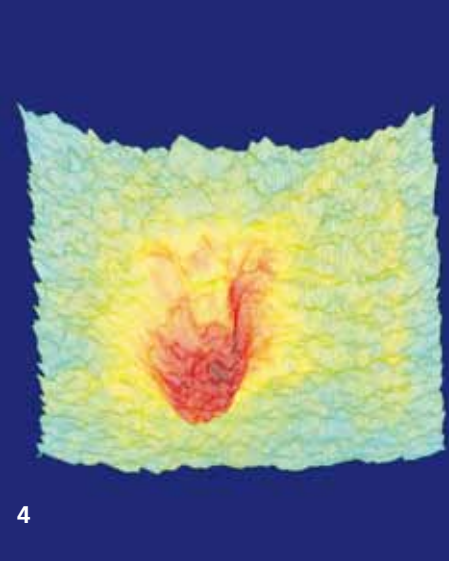
Durch die Kombination multipler Sensortechnologien und abbildender Verfahren, auch in unterschiedlichen spektralen Bändern, wird das Maß der verfügbaren Informationen signifikant erhöht. Dieser Trend wird beispielsweise anhand des gerade im Start befindlichen TeraSCREEN-Projektes (*Multi-Frequency multi-mode TeraHertz screening for border checks*) verdeutlicht.



2



3



4

In diesem, ebenfalls von der EU geförderten Projekt zum Thema Personenscanner, werden mehrere abbildende Verfahren in unterschiedlichen spektralen Bändern zusammengebracht. Diese Kombination eines aktiv abbildenden Systems mit mehreren passiv abbildenden Systemen im Millimeterwellenbereich schafft die Grundlage, mehr Informationen über die untersuchte Person erzeugen zu können.

Dabei wird das aktiv abbildende System bei einer Mittenfrequenz von 360 GHz mit einer Bandbreite von 30 GHz arbeiten, während parallel dazu mehrere passiv abbildende Systeme bei jeweils 90, 220 und 360 GHz eingesetzt werden. Jedes dieser Systeme wird über 16 getrennte Sende- und Empfangszweige verfügen, so dass eine multistatische Messung der Szene möglich wird. Mit Hilfe einer intelligenten Auswertung der aufgenommenen Daten und der rekonstruierten Ergebnisbilder werden weitere, vormals nicht zugängliche, Informationen verfügbar, wie beispielsweise Materialeigenschaften der identifizierten Gegenstände. Diese zusätzlichen Informationen können dann ihrerseits genutzt werden, um sehr hohe Detektionswahrscheinlichkeiten bei gleichzeitig sehr niedrigen Fehlalarmraten zu realisieren.

### Forschung von heute für die Standards von morgen

Im SARGATE-Projekt wird aktuell ein weiterer Schritt in Richtung Multisensorsysteme unternommen und eine neuartige optische 3D-Kamera sowie ein fortgeschrittener Millimeterwellensensor im zirkularsynthetischen Apertur Verfahren eingesetzt. Dabei erfasst die 3D-Kamera im nahen Infrarotbereich mit einer hohen Updaterate die dreidimensionale Struktur der gemessenen Szene und der Person. Dadurch wird die 3D-Information des umgebenden Raumes und der Person im Rechner für eine weitere Verwendung verfügbar.

Mit diesem zusätzlichen Wissen wird anschließend ein neuartiger Rekonstruktionsalgorithmus eingesetzt, der auf die 3D-Information der Person zugreift und mit dieser das hochaufgelöste Millimeterwellenabbild erzeugt, in welchem die versteckten Gegenstände sichtbar werden. Das auf diese Weise erzeugte Millimeterwellenabbild der Person wird dann auf ihr 3D-Abbild projiziert. In den Beispielbildern 2 bis 4 wird diese Prozessabfolge der Rekonstruktion und Visualisierung anhand eines weit verbreiteten Handgranatenmodells veranschaulicht. Neben einer ortsgenauen Darstellung der Gegenstände können mit Hilfe der hohen Updaterate der 3D-Kamera zusätzlich bewegte Personen untersucht werden. Mit diesem Ansatz wird das Hauptproblem der heutigen Sicherheitsschleusen gelöst: Hochauflösende Verfahren können bald auch an bewegten Personen angewendet werden, so dass ein zeitintensives Stillstehen nicht mehr nötig ist.

1 Messaufbau mit Multistatik-Radar, optischer 3D-Kamera und Handgranate.

2 Mit Millimeterwellen erzeugte 2D-Abbildung der Handgranate.

3 Mit optischer 3D-Kamera erzeugte 3D-Abbildung der Handgranate.

4 3D-Millimeterwellen-Abbildung rekonstruiert mit und dargestellt auf optischer 3D-Abbildung der Handgranate.

M. Sc. Stefan Lang  
 Tel. +49 228 9435-782  
 Fax +49 228 9435-608  
 stefan.lang@  
 fhr.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD





# SENSOREN FÜR FAHRZEUGE UND VERKEHR

Die zunehmende Verkehrsdichte auf allen Transportwegen stellt die Gesellschaft vor eine große Herausforderung. Intelligente Sensoren für den Verkehr können zukünftig eine wichtige Rolle bei der Steuerung des Verkehrsflusses spielen und dem Schutz der Insassen dienen.

Durch zunehmende Miniaturisierung und den Einsatz hochintegrierter Komponenten können Radarsysteme heute so preiswert und kompakt gefertigt werden, dass sie in verschiedensten Fahrzeugtypen eingesetzt werden können. Von der Überwachung der Geschwindigkeit im Straßenverkehr über Schiffsradar bis hin zum Netz der Flugsicherung gibt es viele Bereiche, in denen Radarsensoren nicht mehr wegzudenken sind. Beim Kraftfahrzeug-Bordradar bestimmt der Sensor den Abstand zu vorausfahrenden oder nachfolgenden Fahrzeugen sowie Hindernissen und wird z. B. zur Kollisionswarnung, beim Spurwechsel oder beim Einparken eingesetzt. So sollen Fahrerassistenzsysteme und Sicherheitsmerkmale, die bisher der Luxusklasse vorbehalten waren, zu einem erschwinglichen Preis auch für Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse verfügbar werden. Im Bereich der Luftfahrt und Avionik werden Radarsysteme mit hoher räumlicher Auflösung zur Unterstützung des Piloten bei Dunkelheit, schlechter Sicht oder Annäherung an gefährliche Hindernisse (z. B. Hochspannungsleitungen oder Windenergieanlagen) eingesetzt. Solche mit dem Begriff *Enhanced Vision Systems* (EVS) bezeichneten Systeme werden bereits für verschiedene Luftfahrzeuge entwickelt und erhöhen die Sicherheit im Luftverkehr.

Wegen der zunehmenden Anzahl drahtloser Systeme in modernen Fahrzeugen ist ein weiterer wichtiger Aspekt die Integration von Antennen. Für die Auswahl eines optimalen Einbauorts stehen leistungsfähige Verfahren zur elektromagnetischen Modellierung zur Verfügung, mit denen sich der Einfluss der Trägerplattform auf das Antennendiagramm schon in der Konzeptphase simulieren lässt und eine Beeinträchtigung der Funktion vermieden werden kann. Mit Hilfe langjähriger Erfahrung bei der Entwicklung konformer und strukturintegrierter Antennen können speziell angepasste Antennen aufgebaut werden, die auf den im Fahrzeugbau verwendeten

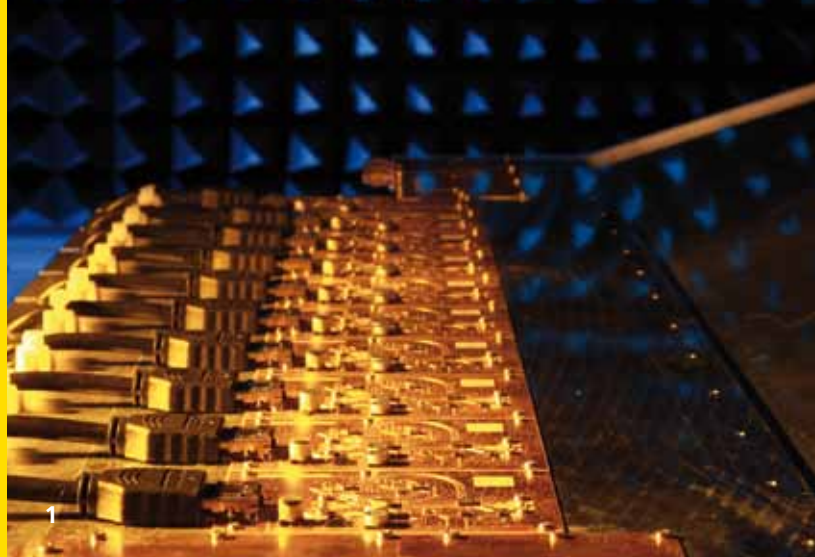
Materialien, z. B. Glas- oder Kohlefaser-Verbundwerkstoffe, aufbauen und die keine Verschlechterung der mechanischen Stabilität oder Aerodynamik bewirken. Diese Technologie wird heute bereits erfolgreich in Segelflugzeugen eingesetzt, bei denen ein strömungsgünstiger Einbau der Antennen besonders wichtig ist. Die Sensorik kommt aber nicht nur am Fahrzeug selbst zum Einsatz, sondern kann auch außerhalb eingesetzt werden. So sollen zukünftig Radarsysteme aus dem Weltraum oder verteilte Sensoren am Straßenrand den Verkehrsfluss großflächig überwachen. Auch die dauerhafte Überwachung kritischer Verkehrsknotenpunkte, z. B. an stark befahrenen Kreuzungen, ist zukünftig vorgesehen. Dadurch sollen Engpässe rechtzeitig erkannt und Verkehrsleitsysteme bedarfsgerecht gesteuert werden. So können Staus vermieden und wertvolle Ressourcen geschont werden.

Der rasante Fortschritt bei der Entwicklung hochintegrierter Komponenten wird in Zukunft auch den Einsatz abbildender Radarsysteme zu vergleichsweise geringen Kosten ermöglichen. Durch die – heute noch juristisch umstrittene – Kombination mit automatischen Systemen und Robotik im Fahrzeug erschließt sich eine Fülle neuer Anwendungsmöglichkeiten, z. B. automatische Ausweichmanöver bei Kollisionsgefahr und aktive Unterstützung eines Piloten bzw. Fahrers bei ungünstigen Witterungsbedingungen und schlechter Sicht. Welche Anwendungen der neuen Sensoren die größte Akzeptanz und Verbreitung finden werden ist offen. Die am Fraunhofer FHR entwickelten Technologien, Verfahren und Systeme werden dabei eine wichtige Rolle spielen.

*Neue Radarsensoren bringen zusätzliche Sicherheit in den Straßen- und Luftverkehr.*

*Dr.-Ing. Peter Knott  
Tel. +49 228 9435-235  
Fax +49 228 9435-521  
peter.knott@  
fhr.fraunhofer.de*



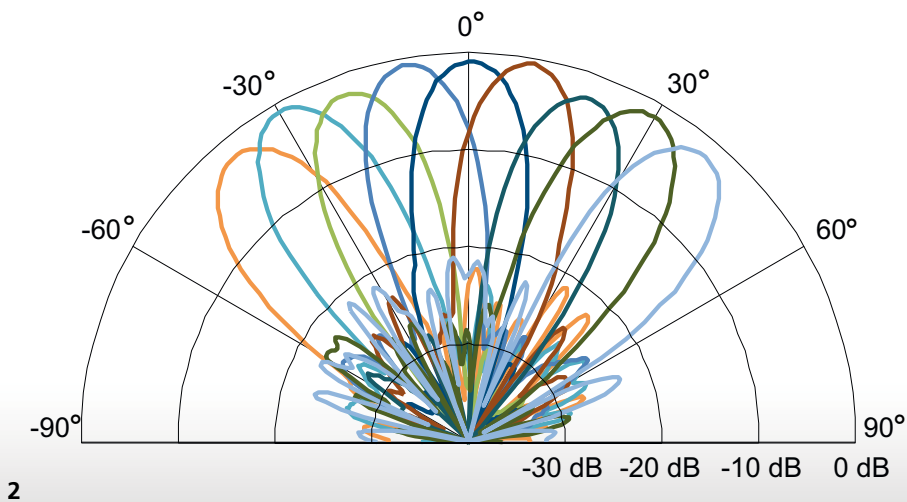


## SCHIFFSRADAR MIT ELEKTRONISCH GESTEUERTER GRUPPENANTENNE

Wegen hoher Herstellungs- und Entwicklungskosten kommen Radarsysteme mit elektronisch gesteuerten Gruppenantennen in der Regel nur im militärischen Umfeld zum Einsatz. Eine Änderung gesetzlicher Vorschriften und der technologische Fortschritt ermöglichen es nun, aktive Gruppenantennen auch im Bereich der zivilen Schiffsnavigation einzuführen. Mit dem Ziel möglichst geringer Herstellungskosten wurde am Fraunhofer FHR vor Kurzem der erste aktive S-Band-Antennendemonstrator für diesen Anwendungszweck fertiggestellt.

Radargeräte leisten für die Sicherheit im Schiffsverkehr und beim Gütertransport auf dem Seeweg einen wichtigen Beitrag. Sie unterstützen die Besatzung bei der Navigation und warnen vor Kollisionen mit Hindernissen bei dichtem Verkehr oder schwierigem Fahrwasser. Aufgrund der Verwendung von Mikrowellen arbeiten sie auch nachts oder bei schlechter Sicht. Durch die ständig zunehmende Anzahl von Transporten und Schiffen sind die Anforderungen an die Radarsysteme jedoch erheblich gestiegen. Die höhere Verkehrsdichte erfordert in bestimmten Situationen eine bessere Auflösung, vor allem im Nahbereich. Die heute im Einsatz befindlichen Navigations- und Überwachungssysteme arbeiten jedoch größtenteils mit einer veralteten Hochfrequenztechnologie: Sie verwenden mechanisch rotierende Antennen und eine Signalerzeugung auf Basis von Magnetron-Röhren, die den Einsatz kohärenter Signalverarbeitungsverfahren nicht zulassen.

Durch zwei aktuelle Entwicklungen deutet sich nun eine Trendwende an: Eine Anpassung der Vorschriften für maritime Navigation erlaubt den Betrieb von Radaranlagen mit abgesenkter Sendeleistung im S-Band. Dadurch wird es in Zukunft möglich, Halbleiterverstärker und kohärente Signalverarbeitungsverfahren einzusetzen. Ideal ist der Einsatz von Gruppenantennen (*Arrays*) mit elektronischer Strahlschwenkung, welche die mechanisch rotierende Balkenantenne ersetzt. Die hohen Kosten elektronischer Bauteile machten bisher eine Nutzung von Array-Systemen im zivilen Bereich unwirtschaftlich. Durch die fortschreitende technologische Entwicklung und die zunehmende Integration von Komponenten in Anwendungsspezifischen Integrierten Schaltungen (ASICs) wird nun jedoch eine kostengünstigere Herstellung der Sende-Empfangs-Module möglich. Das Prinzip der phasengesteuerten Gruppenantennen wird somit für zivile Radaranwendungen attraktiv. Mit kohärenter Signalverarbeitung und



hochagiler elektronischer Strahlschwenkung können deutlich mehr und kleinere Objekte bei hoher Genauigkeit erkannt und verfolgt werden. Diese Fähigkeit erschließt neben den üblichen Navigationsaufgaben weitere Anwendungsfelder, z. B. die Überwachung von Hafenanlagen, Küsten- und Flussabschnitten, die Suche nach Schiffbrüchigen oder die Warnung vor schwer erkennbaren, treibenden Hindernissen wie Eisbergen oder verlorengegangenen Containern. Da aktive Gruppenantennen auch mit einer gewissen Anzahl von defekten Antennenelementen weiterhin funktionstüchtig bleiben (*graceful degradation*) und zudem die altbewährte Magnetron-Röhre durch eine verteilte Leistungserzeugung ersetzt wird, ist im Vergleich zu den konventionellen Systemen mit einem deutlich geringeren Wartungsbedarf zu rechnen. Auch vor dem Hintergrund der aktuellen und ständig steigenden Bedrohung durch Piraten in vielen Gewässern der Erde, kann die neue Technologie einen gewissen Zeitvorsprung für die Schiffsbesatzungen bedeuten.

Ein in Deutschland ansässiges Unternehmen gab eine Studie in Auftrag, in der ein neues Konzept für ein Schiffsradarsystem zu akzeptablen Herstellungskosten vorgestellt wird. Dies gab den Anstoß, im Fraunhofer FHR einen aktiven Antennendemonstrator für das neue Konzept aufzubauen und zu erproben. Innovationen in diesem Projekt sind ein patentiertes, serielles HF-Speisenetzwerk, welches ohne spezielle Maßnahmen zur Entkopplung der Antennenelemente auskommt, eine spezielle Kalibrierstrategie für die aktive Gruppenantenne und nicht zuletzt die Modularität des Gesamtsystems, welche eine Installation einer einzelnen Antenne an einer Position mit Rundumsicht überflüssig macht. Einen wichtigen Beitrag bei der Umsetzung der Studie leistet auch das Institut für integrierte Anlogschaltungen (IAS) der RWTH Aachen. Das IAS ist für die Entwicklung hochintegrierter Mixed-Signal-Schaltungen auf Basis von Silizium-Germanium (SiGe) verantwortlich, welche in den Sende-/Empfangsmodulen der aktiven Antenne eingesetzt werden (Abb. 1).

Der am Fraunhofer FHR aufgebaute Antennendemonstrator umfasst nur einen Teil der aktiven Antennenelemente, welche für ein einsatzfähiges System nötig wären. Die geringe Zahl an Antennenelementen ist allerdings völlig ausreichend, um die wichtigsten Eigenschaften zu demonstrieren. Dazu zählen unter anderem die elektronische Strahlschwenkung mit niedrigen Nebenzipfeln, wie in Abb. 2 dargestellt, und der Stabilitätsnachweis in Bezug auf das serielle Speisenetzwerk. Weitere Punkte im aktuellen Fokus der Untersuchungen sind die Auswirkungen von Interferenzen und die Entwicklung einer kosten- und zeiteffizienten Kalibrationsstrategie. Nächste Schritte sind der Betrieb des Antennenfrontends an einem Radarsystem und die Erprobung unter realistischen Bedingungen. Die Entwicklung hin zu einem kommerziellen Produkt soll in Zusammenarbeit mit Industriepartnern erfolgen.

1 Die Sende-/Empfangsmodule eines funktions-tüchtigen Demonstrators der aktiven Gruppenantenne mit hochintegrierten Mixed-Signal-Schaltungen auf Silizium-Germanium (SiGe) Basis.

2 Gemessene Antennendiagramme im Empfangsbetrieb als Nachweis der elektronischen Strahlschwenkung.

Dr.-Ing. Thomas Bertuch  
 Tel. +49 228 9435-561  
 Fax +49 228 9435-521  
 thomas.bertuch@  
 fhr.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD



# SENSOREN FÜR DIE QUALITÄTSSICHERUNG

Die Anforderungen an Hochfrequenzsensoren für den industriellen Bereich verlangen neue Konzepte und Ansätze in der Radarentwicklung. Der Transfer klassischer Verfahren und Technologien auf die Wünsche des industriellen Kunden stellt die wesentliche Herausforderung dar.

Die Qualitätssicherung ist eines der wesentlichen Schlüssel für den Unternehmenserfolg. Null-Fehler-Konzepte gehen noch einen Schritt weiter als klassische Qualitätssicherungssysteme: Es geht um eine frühzeitige und vollständige Überwachung aller relevanten Fertigungsschritte. Ziel der Null-Fehler-Konzepte ist dabei der schonende Umgang mit Ressourcen und letztendlich das Senken der Herstellungskosten, indem durch eine Integration der Sensoren in den laufenden Fertigungsprozess Abweichungen detektiert und in Echtzeit korrigiert werden.

Insbesondere bei hohen Fertigungsgeschwindigkeiten stoßen herkömmlichen Sensoren an ihre Grenze, so dass aktuell im wesentlichen Kamerasysteme zum Einsatz kommen, die eine Inspektion auf Basis der geometrischen Abmessungen und der Oberfläche des Prüflings durchführen. Hochfrequenzsensoren ergänzen die bestehenden Hochgeschwindigkeitssysteme ideal, da sie einen Einblick in das Innenleben des Produkts erlauben. Neben der Detektion von Einschlüssen und Fehlern liefern Sie ein breites Spektrum von zusätzlichen Information wie z. B. über den Feuchtigkeitsgehalt, die Permeabilität des Materials oder den Aufbau und die Schichtdicke von mehrlagigen Materialien. Damit sind Hochfrequenzsensoren eine ideale Ergänzung zur Überwachung von Produktionsabläufen und garantieren einen kontinuierlich hohen Qualitätsstandard in der laufenden Fertigung.

Aufgrund des breiten Frequenzspektrums, welches bei den Hochfrequenzsensoren zur Verfügung steht und sich von einigen Megahertz bis in den Terahertz-Bereich erstreckt, eignen sich die Qualitätssicherungssysteme für eine Vielzahl von unterschiedlichen Aufgaben. Das Einsatzspektrum von Hochfrequenzsystemen reicht dabei von einfachen geometrischen Vermessungen über die Bestimmung von Materialparametern

bis zur Überwachung und Kontrolle von Reifungsprozessen bei Früchten. Beobachtet man dabei gezielt die Absorptionslinien einzelner Inhaltsstoffe, lassen sich Schwankungen im Misch- oder Konzentrationsverhältnissen von Schüttgütern sowohl räumlich wie zeitlich aufgelöst darstellen. Hardware und Softwarekonzepte werden dabei auf den jeweiligen individuellen Anwendungsfall ausgerichtet und optimiert.

Dabei gilt: Nicht immer ist die beste technische Lösung auch die beste Kundenlösung. Daher verfolgt das Fraunhofer FHR ganzheitliche, individuelle Lösungen, um die Kosten, die Entwicklungszeit sowie die verwendete Technik zu optimieren. Dabei steht die Integration der Sensoren in den Produktionsprozess an vorderster Stelle. Durch den Zusammenschluss mit Partnern innerhalb und außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft steht ein breites Spektrum von unterschiedlichen Sensoren und Messverfahren zur Verfügung. Die multispektralen Sensorkonzepte erlauben selbst Lösungen für Aufgabenstellungen, an denen die bisherigen klassischen Qualitätssichersysteme scheitern.

Radarsysteme werden schon immer eingesetzt, wenn die Umweltbedingung die Verwendung von optischen Sensoren nicht zulassen. Dies gilt selbstverständlich auch für den Einsatz von Hochfrequenzsensoren in der Qualitätssicherung. Die Fähigkeit, Abstände bis in den Mikrometer-Bereich präzise zu vermessen, ist der Schlüssel für eine gleichbleibend hohe Qualität – auch unter kritischen Umweltbedingungen in der Fertigung.

*Qualitätskontrolle von  
Kunststoff: Nicht sichtbare  
Verunreinigungen können  
mit Millimeterwellenradar  
entdeckt werden.*

*Dipl.-Ing. Dirk Nüßler  
Tel. +49 228 9435-550  
Fax +49 228 9435-608  
dirk.nuessler@  
fhr.fraunhofer.de*





## KLASSIFIKATION VON MATERIALIEN IN DER INDUSTRIELLEN PRODUKTION

Die Sicherstellung einer gleichbleibenden Qualität sowie die Vermeidung von fehlerhaften oder verunreinigten Produkten ist eine Schlüsselherausforderung für die moderne Qualitätssicherung. Dabei steht neben der Vermeidung finanzieller Verluste der Schutz des eigenen Images im Vordergrund. Durch den Einsatz moderner Hochfrequenzsysteme können nicht nur Fehler im Produkt aufgespürt und visualisiert werden, es lässt sich lückenlos der komplette Fertigungsvorgang überwachen.

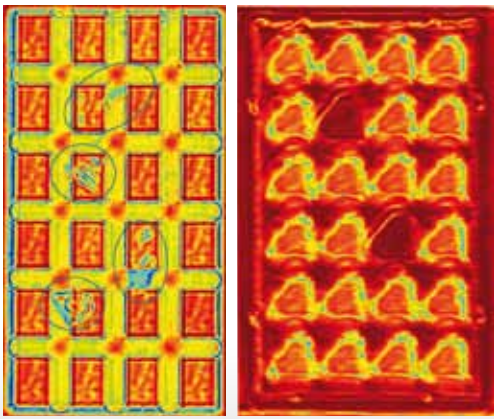
### Grundprinzip der Klassifikation

Die Bestimmung der Materialeigenschaft durch Messverfahren ist nicht neu. Während optische Messmethoden in der Regel nur eine oberflächige Bestimmung der Materialien erlauben, bieten durchdringende Verfahren wie Röntgen oder Radar die Möglichkeit Materialien in der Tiefe aufgelöst zu bestimmen. Im Gegensatz zu Röntgen nutzen Radarverfahren dabei nicht nur den Abschwächungskoeffizienten im Medium, sondern durch die Phasenmessung auch die Laufzeit des Signals bei der Transmission durch den Probekörper. Daher kann zwischen Materialien mit sehr ähnlichen Dämpfungswerten unterschieden werden.

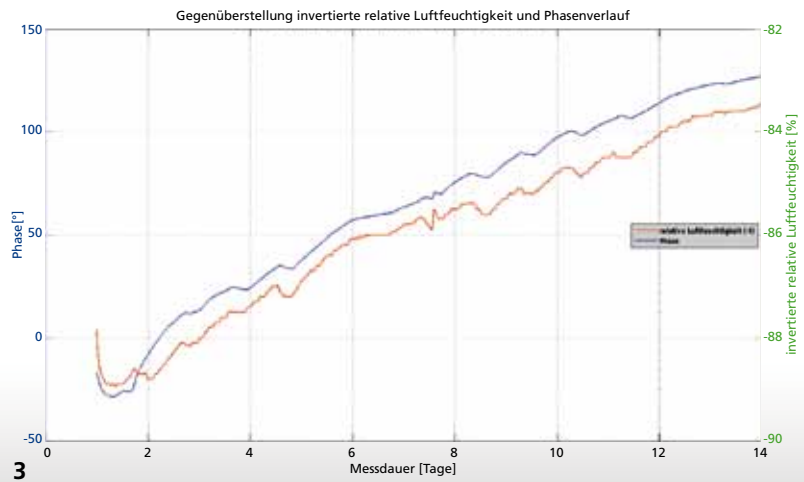
### Klassifikation der Materialien mittels Radartechnik

Schon heute ist die zerstörungsfreie und berührungslose Prüfung in der Industrie ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskontrolle. Zumeist wird dies mittels Röntgenstrahlung oder optischen Sensoren realisiert. Dies bietet jedoch nicht für alle Anwendungen die geeignetste Lösung. So können optische Sensoren keine opaken Materialien durchdringen und sind somit nicht geeignet, bereits verpackte Produkte zu prüfen. Mit Hilfe von Röntgenstrahlung können zwar opake Verpackungen durchstrahlt werden, jedoch haben viele der Materialien, die gefunden werden müssen, ähnliche Dämpfungswerte wie das eigentliche Produkt. Daher ist eine Detektion aufgrund des zu geringen Kontrasts schwierig. Eine weitere Hürde für konventionelle Verfahren ist die hohe Bandgeschwindigkeit. Auf Radarverfahren basierende Inspektionssysteme können aber auch bei Bandgeschwindigkeiten jenseits von 10m/s eingesetzt werden.





2



3

Für die elektromagnetische Welle sind auch die meisten Verpackungsmaterialien durchlässig, soweit diese nicht elektrisch leitend sind. Der größte Vorteil des Radarverfahrens ist jedoch, dass diese eine höhere Sensibilität besitzen als die aktuellen Röntgensysteme. Dadurch besitzen die meisten Materialien einen signifikanten Kontrast zu dem eigentlichen Produkt, wodurch diese leicht zu detektieren sind. Aus diesen Gründen gewinnt die Klassifikation mittels Radartechnik immer mehr an Bedeutung für die Industrie.

### Anwendungsgebiete der Klassifikation von Materialien in der Industrie

Die Anwendungsgebiete für die Klassifizierung von Materialien in der Industrie sind groß und wachsen stetig. So haben bisherige Arbeiten am Fraunhofer FHR gezeigt, dass nicht nur Verunreinigungen im Herstellungsprozess detektiert werden können, sondern auch Fehler in der Produktion erkannt werden. Schwankungen in den Materialeigenschaften sind ein eindeutiges Indiz für Abweichungen im Fertigungsprozess. Durch Referenzmessungen und die genaue Kenntnis des Fertigungsprozesses können abweichende Mischungsverhältnisse, genauso wie zu hohe oder zu niedrige Temperaturen, oder zu viel oder zu wenig Druck während der Fertigung nachgewiesen werden.

Diese Analysen funktionieren nicht nur bei homogenen Stoffen, sondern insbesondere auch bei Mehrschichtsystemen. Dies ist sowohl in der Industrie als auch bei Sicherheitsanwendungen von Interesse, wenn z. B. die Materialien in einem optisch intransparenten Material klassifiziert werden sollen. So haben Arbeiten am Fraunhofer FHR den Nutzen dieser Verfahren für den Sicherheitsbereich gezeigt, indem zwischen dem ungefährlichen PVC und dem gefährlichen Schwarzpulver innerhalb eines Geschenkes unterschieden wurde. Ein geeigneter Anwendungsfall für die Industrie wäre z. B. die Rekonstruktion von mehrschichtigen Materialien, um die Dicke der einzelnen Schichten bei der Herstellung zu überwachen.

Ein ebenfalls interessantes Anwendungsgebiet ist das Bauwesen, das auch ein zukünftiges Forschungsgebiet am Fraunhofer FHR darstellt. So können z. B. metallische Objekte innerhalb von Betonwänden genauso erkannt werden, wie der Feuchtigkeitsverlauf innerhalb von Beton- oder Holzwänden. Die Bestimmung des Feuchtegehaltes von Baumitteln gewinnt dabei immer mehr an Bedeutung, da dadurch nicht nur Kosten gespart werden können, sondern auch Material- und Personenschäden vermieden werden.

1 SAMMI ist ein am Fraunhofer FHR entwickeltes Messsystem, das für die Klassifikation in der industriellen Produktion geeignet ist.

2 Nicht nur Verunreinigungen aus Glas, Kunststoff, Folien und Metallen können durch die Klassifikation erkannt werden (linkes Bild), sondern auch das Fehlen von Produkten innerhalb einer Verpackung (rechtes Bild).

3 Berechnung von Feuchteverteilung

M. Eng. Matthias Demming  
Tel. +49 228 9435-441  
Fax +49 228 9435-608  
matthias.demming@  
fhr.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD



# ENERGIE UND UMWELT

Der sparsame Umgang mit Ressourcen, effiziente Energienutzung und die Neuausrichtung auf erneuerbare Energien stellen große Herausforderungen für die Zukunft dar. Mit dem Einsatz bereits erprobter, wie auch neu entwickelter Radartechniken nimmt die Wissenschaft diese Herausforderungen an und bietet innovative Lösungen.

Radartechniken finden ihre Anwendung in der wetterunabhängigen Ortung – also Messung von Entfernung, Richtung und Höhe – von entfernten Objekten, der Untersuchung der elektromagnetischen und physikalischen Eigenschaften von Materialien aufgrund ihrer Radarreflektivität und – basierend auf der Nutzung des Doppler-Effekts – der Analyse von Bewegungsabläufen reflektierender Objekte.

Eben diese Messverfahren lassen sich auch erfolgreich in der Umwelttechnologie einsetzen, um z. B. den Zustand von Landwirtschaftsflächen und Nutzpflanzen weiträumig zu erfassen. Die Beurteilung des Reifegrades der Biomasse aufgrund ihrer Radarreflektivität kann dazu beitragen, den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln zu minimieren und den optimalen Erntezeitpunkt zu bestimmen.

Hochgenaue Radarmessverfahren zur Entfernungsbestimmung lassen sich bei der Beobachtung und Überwachung von Geländebewegungen einsetzen und ermöglichen so eine automatisierte Frühwarnung vor Erdbeben oder seismischen Aktivitäten an gefährdeten Geländestrukturen. Ebenso lassen sich hochpräzise Millimeterwellen-Radarmessverfahren bei der Nutzung von Sonnenenergie in solarthermischen Kraftwerken einsetzen. Hierbei hängt die Effizienz des Kraftwerkes entscheidend von der präzisen Nachführung der Solarspiegel (Heliostaten) ab, die durch den Einsatz modernster Radartechnologie erreicht werden kann.

Ebenfalls wird im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien verstärkt auf die Windenergie als alternative, CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequelle gesetzt. Dabei gilt es, eine umweltfreundliche Technologie zur Energiegewinnung mit den Erfordernissen der Sicherheit in der Luftfahrt zu verknüpfen. Die sicherheitsrelevante Kollisionswarnbefeuerung, mit der Windenergieanlagen

(WEA) ab einer bestimmten Höhe ausgerüstet sind, um sie niedrig fliegenden Flugzeugen kenntlich zu machen, stellen jedoch oft eine nächtliche Lichtbelästigung und zudem eine Gefährdung für Zugvögel dar. Sie werden durch die Befeuerung angelockt und kommen oft durch Kollision mit den WEA-Rotoren zu Tode.

Hier wird eine bedarfsgerechte Einschaltung der Warnbefeuerung nur bei Annäherung eines Flugzeugs gefordert. Im Vergleich zu optischen oder akustischen Sensoren bieten Radarverfahren zur Detektion sich annähernder Flugzeuge Allwettertauglichkeit und Unabhängigkeit von Windeinflüssen und Hintergrundgeräuschen.

Insbesondere der Einsatz umweltfreundlicher Passiv-Radar-Technologie bietet sich in diesem Problemfeld an. Sie verzichtet auf eigene elektromagnetische Emissionen und nutzt stattdessen die ohnehin vorhandene Strahlung von Rundfunk und Fernsehsendern zur Ortung von Flugzeugen.

Ebenso wie in Windenergieparks kann diese umweltfreundliche – weil emissionsfreie – Passiv-Radar-Technologie in vielen Bereichen eingesetzt werden, in denen aktive Radare aufgrund ihrer Emissionen keine Akzeptanz finden. Passiv-Radar kann somit als ein Geschäftsfeld übergreifende Technologie betrachtet werden, die ihren Einsatz ebenso im Bereich Sicherheit und Schutz, wie bei der land- und seegestützten Aufklärung in Ballungsgebieten findet.



## BEDARFSORIENTIERTE WARNBEFEUERUNG AN WINDENERGIEANLAGEN

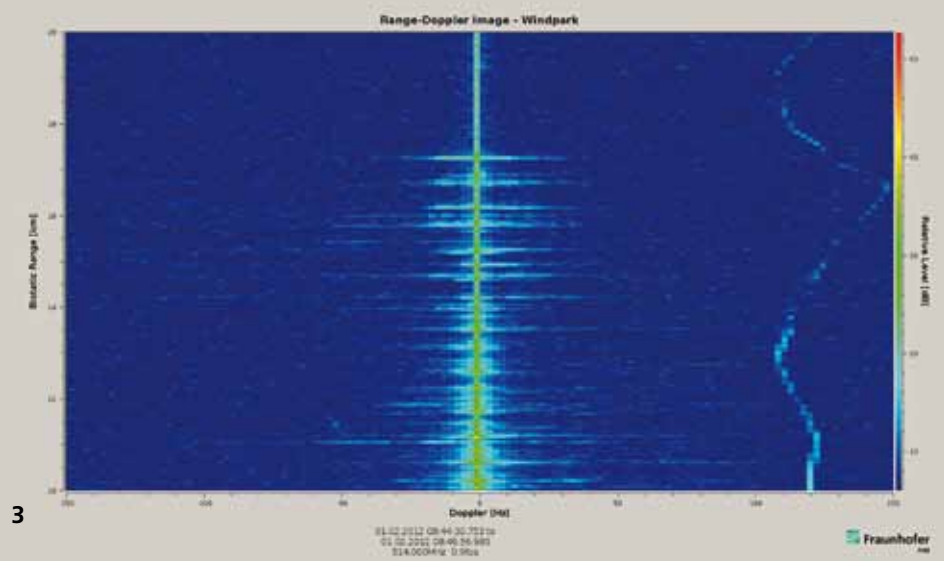
Die Energiewende setzt verstärkt auf Windenergie als alternative, CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequelle. Aber nicht jeder kann sich für diese Energiegewinnung begeistern, bilden doch die notwendigen, roten Hindernisbefeuernungen auf den Generatorkabinen ein ständig blinkendes Ärgernis am nächtlichen Himmel. Eine bedarfsgerechte Befeuernung, gesteuert durch umweltfreundliche Passiv-Radar-Technologie soll hier Abhilfe schaffen.

Windenergieanlagen (WEA) sind ab einer bestimmten Höhe mit einer Kollisionswarnbefeuernung ausgerüstet, die sie niedrig fliegenden Flugzeugen kenntlich macht und so eine Kollision verhindern soll. Es wird gefordert, dass die Warnbefeuernung nur bei Annäherung eines Flugzeugs, also bei Bedarf, eingeschaltet wird, da die blinkenden roten Warnfeuer am Nachthimmel von den Anwohnern als störend empfunden werden und zudem Vögel anlocken, die dann oft durch Kollision mit den WEA-Rotoren zu Tode kommen. Für die bedarfsgerechte Schaltung müssen Flugbewegungen in der Nähe der WEA erfasst und analysiert werden. Das Fraunhofer FHR entwickelt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit eine bedarfsgerechte Steuerung der Kollisionswarnbefeuernung an Windenergieanlagen.

### Das Projekt PARASOL

Im Projekt PARASOL (Passiv Radar basierte Schaltung der Objektkennzeichnung für die Luftfahrt) erfolgt die Detektion sich annähernder Flugzeuge durch Passiv-Radar-Sensoren, die keine eigene Radarstrahlung abgeben, sondern bereits vorhandene Rundfunksignale nutzen um Flugzeuge zu orten. Der Schutzbereich eines Passiv-Radar-Netzwerks spannt sich wie ein Sonnenschirm (Parasol) über dem Windpark auf. Dieses Verfahren zeichnet sich aus durch Umwelterträglichkeit, geringe Kosten und die Tatsache, dass eine Sendegenehmigung wie bei anderen, aktiven Verfahren nicht erforderlich ist.

Das Fraunhofer FHR hat jahrelange Erfahrung auf dem Gebiet des Passiv-Radars, insbesondere unter Nutzung der modernen digitalen Rundfunknetze DVB-T und DAB+. Deren Signale sind, im Vergleich zu anderen Rundfunk und Kommunikationssignalen, besonders geeignet für die



passiven Radarsensoren, die im Projekt PARASOL zum Einsatz kommen, da die Rundfunksender ihre Signalenergie bei niedrigen Höhen (unter 1000 m) bündeln und die ausgesendeten Signalformen und Verarbeitungsalgorithmen sich gut zur Unterscheidung unterschiedlicher Objekte eignen.

Der Einsatz des Systems PARASOL zur bedarfsgerechten Kollisionswarnbefeuerung auf WEA wird die Akzeptanz von Windparks und somit die Nutzung erneuerbarer Energien weiter vorantreiben und somit den Wirtschaftsstandort Deutschland langfristig stärken.

### Die Funktionsweise von Passiv-Radaren

Die Signalverarbeitung in passiven Radarsystemen basiert auf der Korrelation des direkt vom Sender empfangenen Signals mit dessen an bewegten Objekten hervorgerufenen Reflexionen. Aufgrund der Bewegung erfahren diese Echosignale eine Frequenzverschiebung (Dopplereffekt) sowie, in Abhängigkeit vom Ort des Objekts, eine Zeitverzögerung gegenüber dem Direkt-signal. Aus der Auswertung dieser Messgrößen und der Richtung, aus der die Echosignale einfallen, kann auf Ort und Geschwindigkeit des Objekts geschlossen werden.

Bei der Nutzung digitaler Rundfunksignale kann das Sendesignal ideal aus der Kenntnis der Signalsynchronisationseigenschaften rekonstruiert werden. Da diese Netze jedoch im Bereich der Bundesrepublik Deutschland als so genannte Gleichwellennetze, d. h. alle Sender des Netzes strahlen zur selben Zeit kohärent dasselbe Signal ab, betrieben werden, sind hier besondere Anstrengungen zur korrekten Zuordnung der Zielechos zum jeweils beleuchtenden Sender erforderlich.

### Realisierung von Passiv-Radaren

Die Hardwarekomponenten für passive Radare, die digitale Rundfunksignale (DAB+, DVB-T) nutzen, können sehr kompakt und - bei entsprechender Stückzahl preisgünstig - gestaltet werden. Die Entwicklung auf dem IT-Sektor unterstützt die Tendenz zur Miniaturisierung. Es sind auch Antennensysteme für die Rundumüberwachung (360°) realisierbar, die sich in bestehende Infrastrukturen, wie z. B. auf WEA-Masten, integrieren lassen. Dadurch sind flexible Einsatzmöglichkeiten gegeben und vielfältige Anwendungsgebiete denkbar.

1 Ansicht eines Windparks mit PARASOL Messanlage und Ultraleichtflugzeug.

2 Zweikanalige Antennengruppe für einen Passiv-Radar-Sensor zur Detektion von Kleinflugzeugen in der Nähe von Windenergieanlagen.

3 Spurdarstellung gemessener Radarechos von Luftfahrzeugen und Rotoren umgebender Windenergieanlagen.

Dipl.-Ing. Heiner Kuschel  
Tel. +49 228 9435-389  
Fax +49 228 9435-627  
heiner.kuschel@  
fhr.fraunhofer.de



GESCHÄFTSFELD



# ELEKTROMAGNETISCHE SIMULATION UND ANTENNENTECHNOLOGIE

Numerische Berechnungsverfahren für elektromagnetische Felder haben vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Das Fraunhofer FHR entwickelt besonders leistungsfähige Verfahren für spezielle Einsatzgebiete.

Um die einwandfreie Funktion moderner Radar- und Kommunikationssysteme an Fahrzeugen oder Flugzeugen zu gewährleisten, sollte die Veränderung der Antenneneigenschaften durch den Einfluss der Umgebung berücksichtigt und gegenseitige Störungen zwischen verschiedenen Systemen vermieden werden. Die numerische Modellierung elektromagnetischer Felder und Ausbreitungsphänomene sowie die Entwicklung von Antennen sind querschnittliche Forschungsaufgaben, deren Einsatz in diesem Bereich von großem Nutzen ist. Am Fraunhofer FHR werden Methoden zur numerischen Berechnung elektromagnetischer Felder entwickelt und mit der daraus entstandenen Software können breitbandige Antennen und Antennengruppen – auch strukturintegriert und auf nicht-ebenen Oberflächen angeordnet – entworfen und analysiert werden. Die Verfahren sind vielseitig einsetzbar und erschließen interessante Anwendungen in den Bereichen Radar, Kommunikation, Navigation und Logistik. Sie werden speziell für große und – wegen ihrer Geometrie oder der verwendeten Materialien – komplexe Objekte entwickelt und kombinieren Lösungsverfahren verschiedener Klassen zu sogenannten Hybridverfahren. Die darauf basierenden Programme werden auch zur Untersuchung des elektromagnetischen Streufelds von Radarzielen eingesetzt, wo Messungen nicht verfügbar oder zu aufwendig sind. Weitere Anwendungsgebiete sind Tarnmaßnahmen zur Minimierung der Entdeckungswahrscheinlichkeit von Radarzielen (*Low Observability*) sowie Untersuchungen zur Störanfälligkeit bzw. gegenseitigen Beeinflussung unterschiedlicher Systeme (Elektromagnetische Verträglichkeit, EMV) auf Fahrzeugen.

Auf dem Gebiet der Antennentechnologie steht ein umfangreiches Portfolio an verschiedenen Antennentypen für unterschiedliche Einsatzgebiete und Frequenzbänder zur Verfügung. Dazu gehört unter anderem die Entwicklung besonders breitbandiger Antennenelemente und -gruppen wie

mehrmarmige Spiralantennen für Aufklärungs- und Peilaufgaben. Das Institut verfügt über umfangreiches Know-How auf dem Gebiet konformer Antennengruppen und bei der Integration von Antennen in Fahrzeuge. Die Leistungsfähigkeit der entwickelten Verfahren konnte in verschiedenen militärischen und zivilen Projekten praktisch demonstriert werden, z. B. bei der Entwicklung eines Antennensystems für eine Aufklärungsdrohne oder bei der Ausrüstung von Segelflugzeugen.

In vielen Bereichen ist eine Nachführung des Antennendiagramms erforderlich, z. B. bei bewegten Radarzielen oder Kommunikation mit einem mobilen Partner, die heute häufig mit Hilfe mechanisch gesteuerter Antennen realisiert wird. Die Nachteile dieser – relativ preiswerten – Lösung sind die niedrige Rotationsgeschwindigkeit, fehlende Mehrkanalfähigkeit sowie hoher Wartungsbedarf und Störanfälligkeit. Die bereits seit einiger Zeit – überwiegend im militärischen Bereich – eingesetzten Systeme auf Basis phasengesteuerter Gruppenantennen (*Phased Array*) sind dagegen sehr leistungsfähig, jedoch aufgrund ihres komplexen Aufbaus und der benötigten elektronischen Komponenten erheblich teurer. Die Arbeiten am Fraunhofer FHR konzentrieren sich auf innovative Lösungen für elektronisch gesteuerte Antennen, die sich preiswert realisieren lassen und so auch für kommerzielle Anwendungen interessant sind.

*Am Rand angebrachte Metamaterialien unterdrücken die unerwünschte seitliche und rückwärtige Abstrahlung.*

*Dr.-Ing. Peter Knott  
Tel. +49 228 9435-235  
Fax +49 228 9435-521  
peter.knott@  
fhr.fraunhofer.de*





## ZUKUNFTSTECHNOLOGIE METAMATERIALIEN

Die Nachfrage nach kompakten, zuverlässigen und kostengünstigen Radargeräten, sowohl im zivilen als auch im militärischen Bereich, wird auch in Zukunft immer weiter ansteigen. Der Einsatz von Metamaterialien kann dabei einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Systeme leisten.

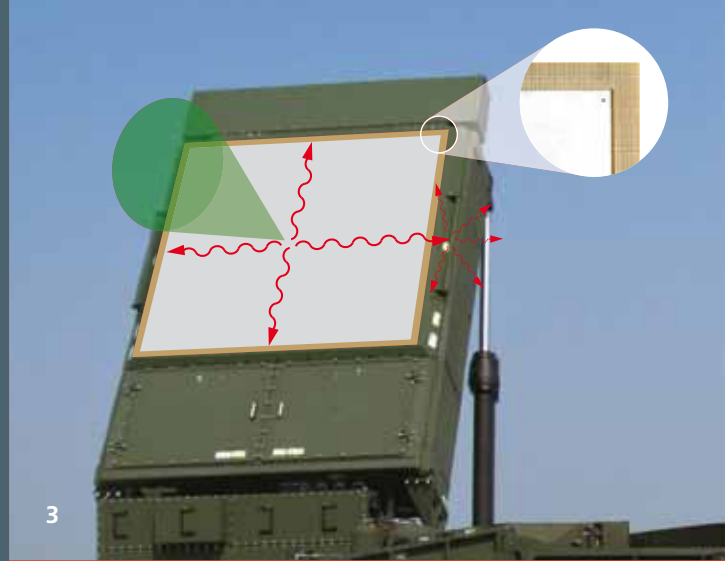
Als Metamaterialien (MTM) bezeichnet man künstliche, in der Regel periodische Strukturen, welche Eigenschaften aufweisen, die in der Natur normalerweise nicht vorkommen. Weltweit beschäftigen sich Forschungsgruppen mit der Eröffnung neuer Funktionalitäten durch Metamaterialien, wie etwa dem „Cloaking“. Dabei werden elektromagnetische Wellen durch eine Art Metamaterial-Mantel umgelenkt, sodass darin verborgene Objekte unsichtbar erscheinen. Die Wissenschaftler des Fraunhofer FHR untersuchen den Einsatz solcher Strukturen für Radargeräte bereits seit einigen Jahren, unter anderem im Rahmen zweier Studien, die von der *European Defence Agency* (EDA) beauftragt wurden.

### Langfristiges Potenzial der Metamaterialtechnologie

In der EDA-Studie "*Forecasts in Metamaterials with Extreme Parameters for Disruptive Antennas, Radomes, and Cloaking in Radar Applications*" (METAFORE) untersuchte das Fraunhofer FHR gemeinsam mit internationalen Projektpartnern die zukünftige Entwicklung im Bereich der MTM und die zu erwartenden Einsatzmöglichkeiten. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die militärischen Anwendungen der MTM gelegt. Die langfristigen Prognosen in unterschiedlichen Bereichen wie etwa "*RF Materials and Printed Technology*", "*Transformation Optics*" oder "*Graphene-based Metamaterials*" wurden genutzt, um eine große Anzahl aussichtsreicher Projekte für die nächsten beiden Jahrzehnte zu identifizieren. Trotz der Unschärfe langfristiger Prognosen zeigt die Fülle an potenziellen Einsatzmöglichkeiten, dass MTM auch in Zukunft eine wichtige Rolle im Bereich der Forschung und Entwicklung spielen werden.

### Phasenkompensationsleitungen

In einem weiteren EDA-Projekt "*Metamaterials for Active Electronically Scanned Arrays*" (METALESA) entwickelte das Fraunhofer FHR unter anderem ein MTM-Hochfrequenzspeisenetzwerk für phasengesteuerte Gruppenantennen. Der traditionelle Ansatz eines solchen Speisenetzwerkes, welches eine gleichphasige Anregung der einzelnen Antennenelemente gewährleisten



muss, basiert auf einer binären Baumstruktur. Diese benötigt bei einer großen Anzahl von Antennenelementen viel Platz. Im Vergleich dazu kommt ein serielles Speisernetzwerk mit nur einer Verteilungsebene aus, besitzt aber – bei herkömmlicher Realisierung (z. B. durch Hohlleiter) – den Nachteil, dass sich die Laufzeiten zu den Antennenelementen unterscheiden. Zur Realisierung eines neuartigen, phasenstabilen, seriellen Speisernetzwerkes werden MTM-Leitungen eingesetzt (Abb. 1). Dabei kommen sogenannte linkshändige Leitungen zum Einsatz. Auf diesen Leitungen verlaufen die Wellenausbreitung und der Leistungstransport in entgegengesetzter Richtung. Somit ist es möglich, den Phasenversatz eines Arms des Speisernetzwerkes durch eine entsprechende MTM-Leitung zu kompensieren. Das Ergebnis ist ein Speisernetzwerk, welches deutlich kompakter ist als eine entsprechende parallele Variante.

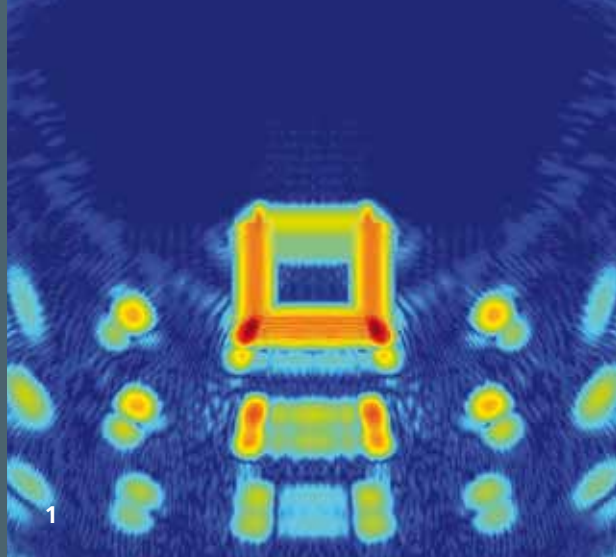
### Unterdrückung parasitärer Wellen

Auf der Oberfläche aktiver Gruppenantennen können sich Oberflächenwellen ausbreiten, die zu unerwünschter Abstrahlung führen und die Effizienz des Systems verringern. In einem weiteren Arbeitspaket des METALESA-Projekts sollte die Änderung der Verkopplung benachbarter Antennenelemente untersucht (Abb. 2) und die unerwünschte Abstrahlung in seitliche und rückwärtige Richtung reduziert werden (Abb. 3). Der vom Fraunhofer FHR realisierte Lösungsansatz basiert auf einer sogenannten *Electromagnetic Bandgap* (EBG) Struktur. Diese verhindert die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen innerhalb eines bestimmten Frequenzbandes, welches von der Geometrie und den Abmessungen dieser periodischen Struktur abhängt. Dazu wurde ein spezieller EBG-Rahmen entwickelt, dessen Bandlücke den operativen Frequenzbereich der Antenne einschließt. Die Unterdrückung parasitärer Wellen wird hierbei mit einer kostengünstig herzustellenden Anordnung erreicht. Die Gesamtfläche der Antennenapertur vergrößert sich durch die zusätzliche Maßnahme kaum. Sowohl bei der Konstruktion neuer Radar-Antennen als auch bei der Nachrüstung bestehender Systeme kann diese Technik zum Einsatz kommen.

Durch die erfolgreiche Zusammenarbeit im Rahmen der EDA-Aufträge wurden auch weitere Einsatzmöglichkeiten identifiziert, für die Metamaterialien zukünftig bei Radar- oder Kommunikationssystemen genutzt werden können. Das Potenzial dieser interessanten Technologie ist also noch längst nicht ausgeschöpft.

- 1 Realisierung eines seriellen Speisernetzwerkes mit Metamaterial-Leitungen.
- 2 Entkopplung von Antennenelementen innerhalb einer Gruppenantenne mithilfe von EBG-Strukturen
- 3 Schematische Darstellung der unerwünschten seitlichen und rückwärtigen Abstrahlung (links), EBG-Rahmen zur Unterdrückung dieser Effekte (rechts oben).

Dr.-Ing. Thomas Bertuch  
 Tel. +49 228 9435-561  
 Fax +49 228 9435-521  
 thomas.bertuch@  
 fhr.fraunhofer.de



## VALIDIERUNG UND ANWENDUNG VON EM-SIMULATIONEN

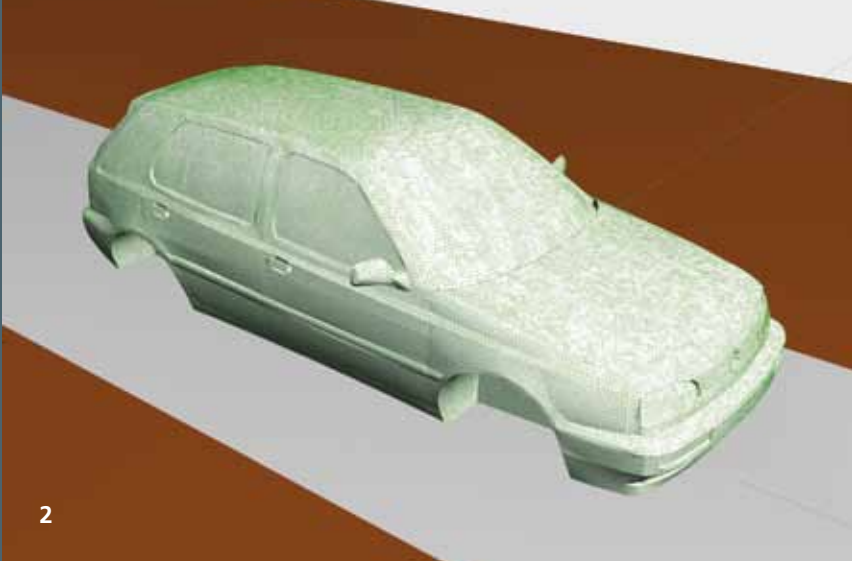
Da elektromagnetische Simulationen immer öfter als Planungstool verwendet werden, nehmen sowohl die Validierung als auch die Optimierung solcher Verfahren einen immer wichtigeren Stellenwert ein. Durch die langjährige Erfahrung des Fraunhofer FHR belegen die am Institut entwickelten Verfahren im internationalen Vergleich eine Spitzenstellung.

Bei der Planung von Antenneninstallationen auf militärischen und zivilen Plattformen, z. B. bei Schiffen oder Flugzeugen, kommen immer häufiger elektromagnetische Simulationen zum Einsatz. Ermöglicht wurde diese Entwicklung einerseits durch immer leistungsfähigere Rechner-Hardware, so dass nicht nur einzelne Antennen, sondern komplette Fahrzeuge, Flugzeuge, Schiffe usw., auf vielen handelsüblichen Arbeitsplatzrechnern modelliert werden können. Andererseits werden aber auch immer leistungsfähigere Simulationsverfahren entwickelt, die für den Einsatz zur Untersuchung komplexer Strukturen geeignet und optimiert sind.

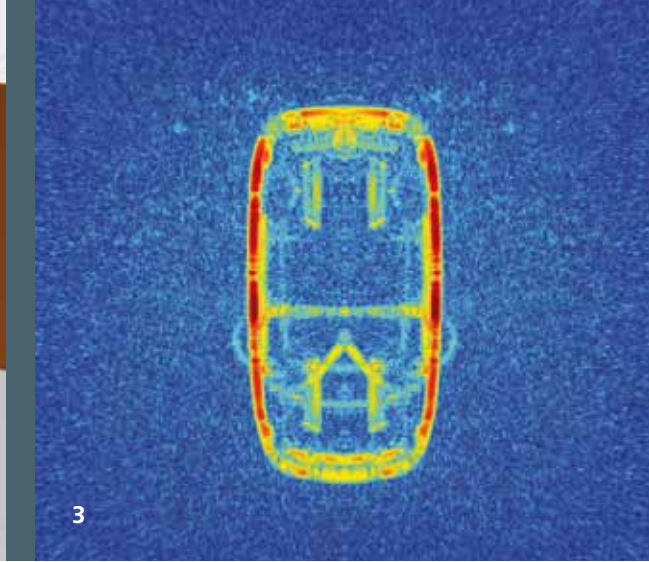
Durch die Verwendung von EM-Simulationen bereits in der Planungsphase können Antennensysteme so optimiert werden, dass physikalische Grenzen nahezu erreicht werden. Aufgrund der zunehmenden Anzahl von Radar- und Kommunikationssystemen an modernen Fahrzeugen führt dies jedoch auch immer öfter dazu, dass verschiedene Systeme sich gegenseitig beeinflussen können oder dass die Eigenschaften einer Antenne nicht nur von den Antennenparametern, sondern auch von der Plattform abhängen, auf der die Antenne untergebracht ist. Folglich muss in einer EM-Simulation auch die Umgebung einer Antenne berücksichtigt werden, um genaue Ergebnisse zu erhalten.

Die Anforderungen an EM-Simulationsverfahren bezüglich Genauigkeit und Komplexität werden somit immer größer und umfangreicher. Die Beurteilung der Genauigkeit eines Simulationsverfahrens ist jedoch oft nicht trivial, da für komplexe Szenarien in der Regel keine Messwerte zum Vergleich vorliegen. Dies ist einer der Gründe, warum die Validierung der Simulationsverfahren einen besonders großen Stellenwert einnimmt. Eine spezielle Rolle auf diesem Gebiet spielt der Workshop EM ISAE „*Radar Signatures*“, der im Jahr 1990 gegründet wurde und alle zwei Jahre mit internationalen Teilnehmern in Toulouse stattfindet. Die Themen sind dabei sowohl militärischer als auch ziviler Natur, wobei im Vorfeld des Workshops jeweils





2



3

bestimmte EM-Simulationsprobleme zu lösen sind. Die mit unterschiedlichen Verfahren berechneten Ergebnisse werden schließlich miteinander verglichen, wobei neben der Genauigkeit auch der Rechen- und Speicheraufwand von großem Interesse ist.

Solche Workshops spielen insbesondere für die Validierung von Simulationsverfahren und neu implementierten Methoden eine wichtige Rolle. Das Fraunhofer FHR ist bereits seit 2006 auf dem Workshop EM ISAE „Radar Signatures“ vertreten und hat eigene Beispiele, die sich in der Vergangenheit als besondere Herausforderungen erwiesen, als sogenannte „Test Cases“ eingebracht. Beispielsweise wurde im Jahr 2012 ein würfelförmiger Hohlraum vorgeschlagen, der durch fünf metallische Platten erzeugt wurde, während die Apertur mit einer dielektrischen Platte verschlossen war. Obwohl die Geometrie dieses Objekts sehr einfach ist, handelt es sich aus elektromagnetischer Sicht bereits um ein recht komplexes Szenario, da sowohl innerhalb des Hohlraums als auch innerhalb der dielektrischen Platte Mehrfachreflexionen auftreten.

Da viele Simulationsverfahren aus theoretischer Sicht bereits sehr ausgereift sind, zeichnet sich in den letzten Jahren immer mehr der Trend zur vollen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Computerhardware ab. Dazu gehören vor allem die Parallelisierung der Simulationssoftware sowie die Ausnutzung von Grafikkarten (GPU). Der Grund dafür ist einerseits, dass für realistische Szenarien sehr viele Rechenoperationen ausgeführt werden müssen, andererseits sind jedoch bereits handelsübliche PCs standardmäßig mit mehreren Prozessorkernen und leistungsfähigen Grafikkarten ausgestattet.

Als Beispiel für die Anwendung von EM-Simulationen auf komplexe Problemstellungen zeigt Bild 3 die Streuzentrenverteilung an einem Fahrzeug, welches sich auf einer Straße befindet (Bild 2). Die einfallende Welle trifft dabei unter einem Elevationswinkel von  $26.6^\circ$  auf das Fahrzeug, und der Boden abseits der Straße wurde als raue Fläche modelliert. Anhand der Simulationsergebnisse kann so festgestellt werden, wie die Intensität der Mehrfachreflexionen zwischen Boden und Fahrzeug von der Rauigkeit abhängen bzw. sogar ganz unterdrückt werden wie in Bild 3.

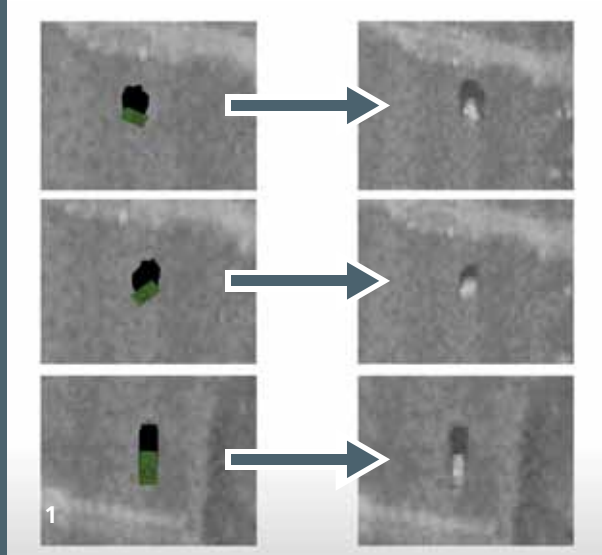
Die am Fraunhofer FHR entwickelten Verfahren sind für die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Antenne und Plattform sowie die Simulation komplexer Ausbreitungsszenarien gut geeignet und erlauben, auch dank des direkten Zugriffs auf den Quellcode, sehr vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Durch den Einsatz von High-Performance Computing, z. B. unter Nutzung von GPU, wird eine weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit erwartet.

1 *Mehrfachreflexionen für einen würfelförmigen Hohlraum (Streuzentrenverteilung).*

2 *Vereinfachtes CAD-Modell eines Fahrzeugs auf einer Straße.*

3 *Streuzentrenverteilung des Fahrzeugs.*

*Dr.-Ing. Frank Weinmann  
Tel. +49 228 9435-223  
Fax +49 228 9435-521  
frank.weinmann@  
fhr.fraunhofer.de*



## EOSAR – EIN WERKZEUG ZUM EINFÜGEN VON OBJEKTEN IN SAR-SZENEN

EOSAR ist eine bei Fraunhofer FHR entwickelte Software zum Einfügen von Objekten in SAR-Szenen, welche operationelle SAR-Daten erzeugt. Das Werkzeug zeichnet sich dadurch aus, dass die Berechnung nicht auf Bildebene, sondern direkt in den Radar-Daten erfolgt.

EOSAR als Werkzeug zum Erzeugen operationeller SAR-Daten ist im Rahmen eines deutsch-schweizer Projektes entstanden. Motiviert wurde das Projekt dadurch, dass für die Entwicklung und das Training von Algorithmen zur automatischen Zielerkennung (ATR) eine umfangreiche Datenbasis mit größtmöglicher Variation benötigt wird. Dabei sollte ein Objekt aus möglichst vielen Aspektwinkeln zu beobachten sein. Zudem ist für die automatisierten Algorithmen von Bedeutung, vor welchen Hintergründen die Objekte erscheinen. Dies beeinflusst die Entdeckbarkeit maßgeblich, beispielsweise über den Kontrast. Möchte man diesen multidimensionalen Parametersatz möglichst vollständig zur Verfügung stellen, so müssen im herkömmlichen Fall sehr viele Messflüge mit unterschiedlichsten Konfigurationen durchgeführt werden. EOSAR hilft hier mit Simulationen, die hohe Anzahl von Messungen und die dabei entstehenden Kosten zu reduzieren.

Die Simulationen ermöglichen es, ISAR-Profile von Zielen, welche entweder in Turm-Drehstands-Konfiguration gemessen oder mit Hilfe von Zielsignatursimulatoren erzeugt wurden, in gemessene SAR-Szenen einzufügen. Dabei können die Platzierung, die Orientierung und die Konfiguration des Objektes vom Nutzer innerhalb der SAR-Szene gewählt werden. EOSAR berechnet anschließend aus einem CAD-Modell den Schattenwurf des Objektes. Damit die simulierten Daten der Schattenfläche einem gemessenen Schatten entsprechen, wird ein realistisches Rauschen hinzugefügt. Das Rauschen wird dazu entweder unter Kenntnis von Parametern des bei der Messung der SAR-Szene eingesetzten Radar-Systems erzeugt oder aus realen Schattengebieten derselben SAR-Szene, welche vom Benutzer ausgewählt werden, geschätzt.

Nach der Berechnung des Schattens werden die ISAR-Profile kohärent in die SAR-Szene eingefügt. Hierzu werden die Auflösungen der SAR-Szenen-Daten und der ISAR-Datensätze aus den Turm-Drehstands-Messungen einander angeglichen. Außerdem werden die unterschiedlichen



Signalstärken, welche aus den verschiedenen Entfernungen der Objekte zu Radar resultieren, angepasst. Der eigentliche Blending-Prozess zur Integration der Daten erfolgt durch die Transformation der Daten in den Range-Doppler-Frequenzbereich und anschließende kohärente Addition der beiden Datensätze, auf die eine Transformation in den *Range-Crossrange*-Bereich folgt. Dieser Prozess bildet das Kernstück des Algorithmus, durch welches sich EOSAR von anderen Werkzeugen, die ausschließlich bildbasiert arbeiten, unterscheidet.

- 1 Links: SAR-Szene mit CAD-Modell, rechts: Ergebnis des Blending-Prozesses.  
 2 Grafische Benutzeroberfläche von EOSAR.

Das Resultat der mit EOSAR durchgeführten Berechnungen sind entweder *single-look complex* (SLC) SAR-Daten oder Daten für die Erzeugung von *multi-look* SAR-Bildern. Diese Daten sind identisch mit Daten, welche entstanden wären, wenn sich das reale Ziel während der Messung in der Szene befunden hätte. Dies ist möglich, da die Berechnung nicht auf Bildebene, sondern bereits auf Basis der Radar-Rohdaten stattfindet. In Abbildung 1 ist dreimal dasselbe Objekt zu sehen, welches in unterschiedlichen Orientierungen an verschiedenen Positionen in einer SAR-Szene platziert wird. Die linken Abbildungen zeigen jeweils das CAD-Modell mit den berechneten, aber noch nicht mit Rauschen versehenen Schatten. In den rechten Abbildungen ist das Ergebnis des *Blending*-Prozesses als *multi-look* SAR-Bild dargestellt.

Mit Hilfe des beschriebenen Algorithmus können nahezu beliebige ISAR-Profilen von Zielen in gemessene SAR-Szenen eingefügt werden, so dass realistische Datensätze entstehen. Die anschließende Prozessierung kann mit allen Werkzeugen durchgeführt werden, die auch bei der Verarbeitung realer Radar-Daten eingesetzt werden. Auf diese Weise können systematisch große Datenbasen mit unterschiedlichsten Konfigurationen erzeugt werden. Das ist unter anderem für das Training von Algorithmen zur automatischen Zielerkennung sehr hilfreich, da nicht länger für jede einzelne Konfiguration eine separate Messung durchgeführt werden muss. Eine weitere wichtige Anwendung ist die Analyse von Tarnmaßnahmen, deren Wirksamkeit vor unterschiedlichen Hintergründen auf diese Weise kurzfristig, ohne großen Messaufwand und damit kostengünstig untersucht werden kann.

Dr. rer. nat. Anika Maresch  
 Tel. +49 228 9435-760  
 Fax +49 228 9435-608  
 anika.maresch@  
 fhr.fraunhofer.de



AUS DEM INSTITUT



# BESONDERE EREIGNISSE 2012

15. Februar 2012

## **Antrittsvorlesung von Prof. Dr.-Ing. Joachim Ender**

Der Prorektor Prof. Haring Bolivar, ZESS-Vorsitzender Prof. Loffeld und Fraunhofer-Vorstandsmitglied Prof. Buller begrüßten Prof. Ender zu seiner Antrittsvorlesung zum Thema „Bildgebendes Radar im 21. Jahrhundert“.

In der gemeinsam von der Fraunhofer-Gesellschaft und der Universität Siegen geschaffenen und besetzten Professur für Hochfrequenzsensoren und Radarverfahren streben die Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät mit ihrem Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) und das Fraunhofer FHR eine weitere Intensivierung ihrer langjährigen und erfolgreichen Zusammenarbeit (wie z. B. in der NRW-Forschungsschule MOSES) an. Insbesondere sollen das Know-How und die Forschungsinfrastruktur auf den Gebieten Radarsensorik sowie bildgebende Radarverfahren für Fernerkundung und Umweltextploration gebündelt sowie gemeinsam neue Bild- und Informationsgewinnungsmethoden erforscht und zur Anwendungsreife entwickelt werden.

14. März 2012

## **Auszeichnung für Prof. Ender: Group Technical Achievement Award der EURASIP Society**

Die Europäische Vereinigung für Signalverarbeitung (*European Association for Signal Processing*, EURASIP) verlieh in diesem Jahr den „Group Technical Achievement Award“ an Prof. Ender. Der Preis wird an den Leiter einer Gruppe Wissenschaftler verliehen, die über Jahre bedeutsame Beiträge in der Signalverarbeitung und verwandten Gebieten geleistet hat. Prof. Ender erhält den Preis für die Beiträge zur *Array*-Signalverarbeitung und zum mehrkanaligem Radar mit synthetischer Apertur (M-SAR). Maßgeblich beteiligt an diesen Forschungsarbeiten im Institut waren vor allem die Wissenschaftler Dr. Richard Klemm, Dr. Delphine Cerutti und Dr. Christoph Gierull.

*Prof. Ender bei seiner Antrittsvorlesung an der Universität Siegen.*

17. April 2012

## **Absolventenmesse Praxis@Campus, Remagen**

Zur Anwerbung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nahm das FHR mit einem Stand an der Messe Praxis@Campus am Rhein-Ahr-Campus Remagen der Hochschule Koblenz teil.

23.-27. April 2012

## **Hannover Messe**

Erneut nahm das Fraunhofer FHR mit dem Anwendungszentrum am Rhein-Ahr-Campus an der Hannover Messe auf dem Gemeinschaftsstand der Wissenschaftsregion Bonn teil.

26. April 2012

## **Girls' Day**

Im Jahr 2012 empfing das Fraunhofer FHR am zum 9. Mal interessierte Mädchen. Sie erhielten einen kleinen Einblick in die technischen Tätigkeiten im Institut und besuchten natürlich die „Kugel“.

8.-11. Mai 2012

## **Control Messe**

Zum zweiten Mal nahm das Fraunhofer FHR an der Control (Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung) in Stuttgart teil. Auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Vision wurden die aktuellen Entwicklungen zum Thema „Berührungslose Materialprüfung“ vorgestellt.

14.-16. Mai 2012

## **1st International Workshop on Compressed Sensing applied to Radar (CoSeRa)**

Gemeinsam mit dem Hausdorff Zentrum für Mathematik der Universität Bonn, Prof. Rauhut, veranstaltete Prof. Ender zum ersten Mal weltweit einen internationalen Workshop zu diesem Thema. 100 Radarexperten aus der ganzen Welt trafen sich dazu in Bonn.





1. Juni 2012

**Kultur in der „Kugel“: Konzert des Jazzduos Dus-ti**

Im Rahmen der Konzertreihe „Tonfolgen“ trat das Jazzduo „Dus-ti“ im Innern des Weltraumbeobachtungsrads TIRA auf. Über 120 Gäste nahmen das einmalige Angebot wahr und lauschten den improvisierten Klängen von Trompete, Schlagzeug und elektronischem Sound.

14. Juni 2012

**Wachtberg-Forum**

Für unsere Partner und Kunden veranstaltete das FHR zum zweiten Mal das Wachtberg-Forum. Mit einer großen Open-Air-Ausstellung, Vorträgen und Vorführungen präsentierten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts ihre Systeme und Kompetenzen. Besonderes Highlight war die Live-ISAR-Vermessung mit dem Millimeterwellenradar MIRANDA 300 von einer Person in 140 Metern Entfernung.

19. Juni 2012

**Absolventenmesse Bonding, Bochum**

Zur Akquise von Ingenieurinnen und Ingenieuren stellte das Fraunhofer FHR auf der der Absolventenmesse Bonding an der Ruhr-Universität Bochum aus.

22. Juni 2012

**4. Kuratoriumssitzung des Fraunhofer FHR**

Herr Ralph Speck (CASSIDIAN) wird als stellvertretender Vorsitzender und langjähriges Mitglied in den Ruhestand verabschiedet. Neues Mitglied wird Herr Martin Pirkl (CASSIDIAN). Neuer stellvertretender Vorsitzender wird Herr Gunnar Pappert (Diehl BGT Defence). Prof. Rohling (TU Hamburg-Harburg) wird erneut zum Vorsitzenden gewählt.

13.-20. Juli 2012

**4th International Summer School on Radar / SAR**

International anerkannt und gefragt ist unsere *Summerschool*

zum Thema Radar. Zum vierten Mal veranstaltete das Fraunhofer FHR diese in Remagen-Rolandseck. 40 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt trafen sich für eine Woche am Rhein, um von international anerkannten Radarexperten zu lernen und nebenher einen Eindruck der Kultur des Rheinlandes zu bekommen.

27.-31. August 2012

**Auszeichnung für Prof. Ender: „Best Paper on Signal Processing“ bei der EUSIPCO 2012**

Bei der Konferenz EUSIPCO 2012 in Bukarest (Rumänien) erhielt Prof. Ender den Preis „Best Paper on Signal Processing“ für eine Journal-Veröffentlichung über „Compressive sensing“.

4. September 2012

**Straßenumbenennung: Fraunhofer FHR und FKIE jetzt an Fraunhoferstraße**

Am 3. September wurde die „Neuenahrer Straße“ offiziell zur „Fraunhoferstraße“. Im Rahmen der offiziellen Enthüllung betonte der Bürgermeister Theo Hüffel die enge Verbundenheit mit den Fraunhofer-Instituten in Wachtberg, die durch die Namensänderung verdeutlicht wird. Herr Hüffel enthüllte gemeinsam mit den Direktoren Prof. Ender und Prof. Martini das Straßenschild vor dem Institutsgelände in Wachtberg.

4.-6. September 2012

**Mitaussteller bei der „Future Security“ in Bonn**

11.-16. September 2012,

**ILA Berlin Air Show**

Auf dem ca. 200 m<sup>2</sup> großen Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft präsentierte sich das Fraunhofer FHR mit mehreren Exponaten zum Thema Sicherheit in der Luftfahrt: Bildgebendes Radar in Voraussicht zur Sicherheit beim Landeanflug, Überwachung der Landebahn und strukturierte Antennen für Flugzeuge.



17. - 18. Oktober 2012

**6. Fraunhofer Vision-Technologietag: Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung**

Das Fraunhofer FHR beteiligte sich am Technologietag der Fraunhofer-Allianz Vision in Jena als Aussteller und Vortragender mit dem Hochfrequenzsystem SAMMI zur Qualitätssicherung optisch nicht transparenter Materialien.

29.-31. Oktober 2012

**European Microwave Week**

Gemeinsam mit dem Fraunhofer IAF stellte das Fraunhofer FHR auf Europas größter Messe und Konferenz zum Thema Hochfrequenztechnik und Radar in Amsterdam (Niederlande) aus.

1. November 2012

**Start des Anwendungszentrums AMLS**

Gefördert vom Land Rheinland-Pfalz startet das neue „Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik“ am Rhein-Ahr-Campus Remagen (siehe Artikel nächste Seite).

8.-9. November 2012

**DGON-Ratssitzung**

Zweimal im Jahr tagt die Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation an Standorten der Mitgliederunternehmen und -organisationen. Die hochrangigen Vertreter aus Industrie, Forschung und Behörden trafen sich diesmal am Fraunhofer FHR um sich über Neuheiten der Radartechnik zu informieren.

14. November 2012

**Absolventenmesse Unternehmenstag, St. Augustin**

Einige qualifizierte Absolventen der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg arbeiten bereits beim Fraunhofer FHR. Um weitere zu finden, stellte das FHR gemeinsam mit den Instituten aus der Region beim Unternehmenstag aus.

*1 100 Radarexperten trafen sich beim CoSeRa-Workshop vom 14.-16. Mai in Bonn.*

*2 Zum ersten Mal gab es am 1. Juni ein Konzert mit improvisierten Klängen von Trompete, Schlagzeug und elektronischem Sound in der "Kugel".*

*3 Enthüllung des neuen Straßenschildes "Fraunhoferstraße" mit Bürgermeister Theo Hüffel und den Direktoren Prof. Joachim Ender und Prof. Peter Martini am 4. September.*

*Interne und externe Kommunikation  
Dipl.-Volksw. Jens Fiege  
Tel. +49 228 9435-323  
Fax +49 228 9435-627  
jens.fiege@fhr.fraunhofer.de*



## EINRICHTUNG EINES ANWENDUNGSZENTRUMS

Das Fraunhofer FHR besitzt seit dem 1.11.2012 eine neue, besondere Abteilung: Das Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik (AMLS) basiert auf einer Kooperation zwischen dem Fraunhofer FHR und dem RheinAhrCampus Remagen der Hochschule Koblenz.

Die Fraunhofer-Gesellschaft verfolgt derzeit die Strategie, die Zusammenarbeit mit Fachhochschulen zu intensivieren. Ziel ist es, die inhaltlichen und personellen Potentiale der Fachhochschulen auch für Fraunhofer nutzbar zu machen. Hintergrund ist die wachsende Bedeutung der Fachhochschulen in der deutschen Hochschullandschaft: Mittlerweile besucht jeder dritte Student eine Fachhochschule und die Forschungsleistung der Fachhochschulen nimmt bemerkenswert zu. Zudem ermöglicht die im Vergleich zu Universitäten deutlich gleichmäßigere geographische Verteilung von Fachhochschulen die Schaffung regionaler Strukturen für Kooperationen mit der lokalen Wirtschaft.

Die Initiative zielt darauf ab an ausgesuchten Standorten Pilot-einrichtungen zu starten. Dies geschieht mit finanzieller Unterstützung der entsprechenden Bundesländer. Dabei handelt es sich um so genannte Fraunhofer-Anwendungszentren, die am Hochschulstandort eingerichtet werden, organisatorisch aber einem Fraunhofer-Institut als Abteilung oder Gruppe zugeordnet sind. In den Anwendungszentren sollen durch Nutzung von Fachhochschul- und Fraunhofer-Ressourcen Kompetenzen und Arbeitsfelder entstehen, die das Spektrum des jeweiligen Fraunhofer-Instituts sinnvoll ergänzen.

Da zwischen dem Fraunhofer FHR und der Hochschule Koblenz traditionell eine sehr gute Beziehung besteht, kam

schnell der Gedanke auf, an dieser Verbindungsstelle ein Anwendungszentrum einzurichten. Insbesondere mit dem Standort der Hochschule Koblenz in Remagen, dem 1998 gegründeten RheinAhrCampus, herrscht ein reger Austausch von Studierenden, Mitarbeitern und Dozenten. Dies liegt zum einen an der geographischen Nähe als auch in der Tatsache begründet, dass am RheinAhrCampus mit dem Fachbereich „Mathematik und Technik“ eine inhaltlich sehr gute Passung besteht. Erste Planungen für das Anwendungszentrum wurden im Sommer 2011 aufgenommen. Interessant an der Konstellation ist, dass Wachtberg und Remagen weniger als 10 km Luftlinie voneinander getrennt sind, jedoch zu verschiedenen Bundesländern gehören. Wachtberg liegt bekanntlich in Nordrhein-Westfalen, da aber der Standort des Anwendungszentrums in Remagen liegen soll, ist somit das zuständige Bundesland Rheinland-Pfalz.

In der Folgezeit kam es zu intensiven Beratungen und Verhandlungen zwischen dem Fraunhofer FHR, der Hochschule Koblenz, der Fraunhofer-Zentrale in München und dem Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur in Mainz. Die Konzeptentwicklung konnte am 10. September 2012 zu einem erfolgreichen Ende geführt werden. An diesem Tag wurde der Kooperationsvertrag unterzeichnet, der die Einrichtung des neuen „Fraunhofer-Anwendungszentrums für multimodale und luftgestützte Sensorik“ - kurz AMLS -



besiegelte. Ziel der Arbeiten des Anwendungszentrums ist es, auf Basis eines Tragschraubers eine fliegende Sensorplattform zu entwickeln. Der Tragschrauber wird von der Hochschule mit in die Kooperation eingebracht. Die Plattform soll dazu dienen möglichst kosteneffizient neue luftgestützte Fernerkundungsfelder zu erschließen. Ferner sollen Sensorsysteme für multimodale Messtechnik, zum Beispiel für Umwelt und Medizin, entwickelt werden.

Geleitet wird das AMLS, das am 1.11.2012 seine Arbeit aufgenommen hat, von Prof. Dr. Jens Bongartz. Er war bis September 2012 Vizepräsident für Forschung an der Hochschule Koblenz. Ihm zur Seite stehen die beiden Mitarbeiter Alexander Jenal und Immanuel Weber. Beide sind Master-Absolventen des RheinAhrCampus. Die Einrichtung des Anwendungszentrums wird in den ersten zwei Jahren von der Landesregierung von Rheinland-Pfalz mit einer halben Million Euro gefördert. Danach wird nach einer Evaluierung über die weitere Finanzierung und Entwicklung entschieden. Ziel ist es nach fünf Jahren rund zehn Mitarbeiterstellen über Förderungen und Industriemittel zu finanzieren.

Die offizielle Eröffnungsfeier des Anwendungszentrums fand am 24. Januar 2013 im Audimax des RheinAhrCampus unter Beteiligung der Staatssekretärin für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur des Landes Rheinland-Pfalz, Frau Vera Reiß, dem Präsidenten der Hochschule Koblenz, Herrn Prof. Dr. Kristian Bosselmann-Cyran und dem Institutsleiter des Fraunhofer FHR, Herrn Prof. Dr. Joachim Ender sowie vieler geladener Gäste statt.

Das AMLS gehört zu den ersten fünf Fraunhofer-Anwendungszentren in Deutschland, die seit 2012 eingerichtet werden. Hiermit spielt das Fraunhofer FHR wieder einmal eine wichtige Vorreiterrolle bei einer neuen Entwicklung.

- 1 Schlüsselübergabe des Anwendungszentrums an die Fraunhofer-Gesellschaft. Von links: Alexander Jenal M.Sc., Immanuel Weber M.Sc., Prof. Dr. Jens Bongartz, Staatssekretärin Vera Reiß, Hochschul-Präsident Prof. Dr. Kristian Bosselmann-Cyran und Prof. Dr.-Ing. Joachim Ender, Institutsleiter Fraunhofer FHR.
- 2 Tragschrauber, der dem Anwendungszentrum als Sensorplattform dienen wird.
- 3 RheinAhrCampus Remagen aus der Vogelperspektive.

Prof. Dr. rer. nat.  
Jens Bongartz  
Tel. +49 2642 932-427  
Fax +49 2642 932-301  
jens.bongartz  
@fhr.fraunhofer.de



# FRAUNHOFER-VERBÜNDE

## VERBUND VERTEIDIGUNGS- UND SICHERHEITSFORSCHUNG

Der Fraunhofer-Verbund Verteidigung und Sicherheitsforschung wurde 2002 unter dem Vorsitz von Prof. Dr. Klaus Thoma gegründet. Das Gesamtbudget der Institute des Verbundes beträgt jährlich ca. 250 Mio. Euro. Insgesamt über 2500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind in den zehn Verbundsinstituten tätig.

Der Verbund hat sich die folgenden zwei Punkte zum Ziel gesetzt:

- Die Erforschung und Entwicklung technischer Lösungen und Systeme zum Schutz des Lebens und zur Sicherung von Infrastrukturen
- Forschung für staatliche Sicherheitsvorsorge im Verteidigungsbereich

Dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) verpflichtet, hat sich der Verbund inzwischen als treibende Kraft im ganzen Verteidigungs- und Sicherheitsbereich durchgesetzt. Auch auf europäischer Ebene verkörpert der Verbund einen der Hauptakteure und ermöglicht eine intensive Vernetzung mit vielversprechenden gemeinschaftlichen Forschungsaktivitäten. Mit Pioniergeist und durch herausragende Leistungen trägt die Fraunhofer-Gesellschaft wesentlich zur künftigen strategischen Ausrichtung des europäischen Sicherheits- und Verteidigungsforschungsprogramms bei.

Die zehn Mitgliedsinstitute des Verbunds schaffen intelligente und umfassende Lösungen zum besseren Schutz der Gesellschaft gegen Bedrohungen - seien sie von Mensch oder Natur verursacht. Als Exzellenzzentrum für die Sicherheit von Infrastrukturen, für den Schutz der Menschen, für Krisenmanagement und Überwachung entwickelt der Verbund Spit-

zentechnologie und anspruchsvolle Konzepte, die gleichzeitig sowohl auf zivile Sicherheit als auch auf Verteidigung abzielen.

### Mitglieder

Fraunhofer-Institute für

- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI
- Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
- Kommunikation, Informationsverarb.und Ergonomie FKIE
- Angewandte Festkörperphysik IAF
- Chemische Technologie ICT
- Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT
- Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI (Gast)
- Integrierte Schaltungen IIS (Gast)
- System- und Innovationsforschung ISI (Gast)

*Leiter Geschäftsstelle  
Dr. Tobias Leismann  
Tel.: +49 761 2714-402  
tobias.leismann@  
emi.fraunhofer.de  
www.vvs.fraunhofer.de*



# VERBUND MIKROELEKTRONIK

Der Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik (V $\mu$ E) koordiniert seit 1996 die Aktivitäten der auf den Gebieten Mikroelektronik und Mikrointegration tätigen Fraunhofer-Institute: Das sind 13 Institute (und drei Gastinstitute) mit ca. 2700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das jährliche Budget beträgt etwa 307 Millionen Euro.

Die Aufgaben des Fraunhofer V $\mu$ E bestehen im frühzeitigen Erkennen neuer Trends und deren Berücksichtigung bei der strategischen Weiterentwicklung der Verbundinstitute. Dazu kommen das gemeinsame Marketing und die Öffentlichkeitsarbeit.

Weitere Arbeitsfelder sind die Entwicklung gemeinsamer Themenschwerpunkte und Projekte. So kann der Verbund insbesondere innovativen mittelständischen Unternehmen rechtzeitig zukunftsweisende Forschung und anwendungsorientierte Entwicklungen anbieten und damit entscheidend zu deren Wettbewerbsfähigkeit beitragen. Die Kernkompetenzen der Mitgliedsinstitute werden in seinen Geschäftsfeldern gebündelt.

Die Aktivitäten der Verbundinstitute unterteilen sich in drei Querschnittsgeschäftsfelder und vier anwendungsorientierte Geschäftsfelder.

Querschnittsgeschäftsfelder

- Technology - from CMOS to Smart System Integration
- Communication Technologies
- Safety & Security

Anwendungsorientierte Geschäftsfelder

- Ambient Assisted Living & Health // Smart Living
- Energy Efficiency

## Mitglieder

Fraunhofer-Institut bzw. -Einrichtung für

- Modulare Festkörper-Technologien EMFT
- Elektronische Nanosysteme ENAS
- Systeme der Kommunikationstechnik ESK
- Offene Kommunikationssysteme FOKUS
- Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
- Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI
- Angewandte Festkörperphysik IAF
- Digitale Medientechnologie IDMT
- Integrierte Schaltungen IIS
- Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB
- Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS
- Photonische Mikrosysteme IPMS
- Siliziumtechnologie ISIT
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP-D
- Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM

*Leiter Geschäftsstelle*

*Dr. Joachim Pelka*

*Tel.: +49 30 688 3759-6100*

*joachim.pelka@mikroelektronik.fraunhofer.de*

*www.vue.fraunhofer.de*

# FRAUNHOFER-ALLIANZ

## ALLIANZ VISION

Die Fraunhofer-Allianz Vision bündelt das Know-how der Fraunhofer-Institute im Bereich des maschinellen Sehens, der Bildverarbeitung und der optischen Mess- und Prüftechnik. Die Kooperation im Netzwerk ermöglicht, Markterfordernisse frühzeitig zu erkennen und technologische Herausforderungen gemeinsam anzugehen.

Mit der klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung wird die gemeinsame Zielsetzung verfolgt, neue Entwicklungen unter industriellen Bedingungen einsetzbar zu machen. Als bildgebende Sensoren kommen sowohl Standardkameras oder Speziallösungen als auch Infrarotkameras oder Röntgensensoren zum Einsatz. Auf Wunsch werden Komplettlösungen einschließlich aller Handhabungskomponenten bereit gestellt. Ein enges Beziehungsnetz zu Vision Partnern aus Industrie und Wissenschaft ergänzt die Möglichkeiten.

Daneben konzipiert und organisiert Fraunhofer Vision regelmäßig Technologiekongresse und Praxis-Seminare zu aktuellen Themenschwerpunkten sowie verbindende Marketing- und PR-Maßnahmen wie gemeinsame Messeauftritte oder Fachveröffentlichungen.

Die zentrale Geschäftsstelle der Fraunhofer-Allianz Vision in Erlangen ist die sichtbare Vertretung im Außenraum und dient potenziellen Interessenten und Kunden in allen Fragen als erste Anlaufstelle.

### Mitglieder

Fraunhofer-Institut für

- Angewandte Festkörperphysik IAF
- Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
- Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
- Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
- Integrierte Schaltungen IIS
- Analyse- und Informationssysteme IAIS
- Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- Physikalische Messtechnik IPM
- Produktionstechnik und Automatisierung IPA
- Produktionstechnologie IPT
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
- Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren Dresden IZFP-D
- Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT

*Leiter Geschäftsstelle  
Dipl.-Ing.  
Michael Sackewitz  
Tel.: +49 9131 776-5800  
vision@fraunhofer.de  
www.vision.fraunhofer.de*

# FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

## ÜBERBLICK

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und selbstständige Forschungseinrichtungen. Rund 22 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,9 Milliarden Euro. Davon fallen 1,6 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische

Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

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

*Präsident*

*Prof. Dr.-Ing. habil.*

*Reimund Neugebauer*

*Telefon: +49 89 1205-0*

*info@zv.fraunhofer.de*

*www.fraunhofer.de*

# AUSBILDUNG UND LEHRE

## Vorlesungen

**Bertuch, T.:** „Antennen und Ausbreitung“, Fachhochschule Aachen, Aachen, WS 2012/2013

**Bertuch, T.; Weinmann, F.:** „Antennen und elektromagnetische Modellierung“, Universität Siegen, Siegen, WS 2012/2013

**Cerutti-Maori, D.:** „Signal Processing for Radar and Imaging Radar“, RWTH Aachen, Aachen, WS 2012/2013

**Knott, P.:** „Antenna Engineering“, RWTH Aachen, Aachen, WS 2012/2013

**Lorenz, F.P.:** „Measuring Techniques“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, SS 2012

**Lorenz, F.P.:** „Physikalische Messtechnik“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, WS 2012/2013

**Maresch, A.:** „Mathematik für Betriebswirte“, Technische Hochschule Mittelhessen, Wetzlar, WS 2012/2013

**Maresch, A.:** „Operations Research“, Technische Hochschule Mittelhessen, Friedberg, WS 2012/2013

**Maresch, A.:** „Statistik“, Technische Hochschule Mittelhessen, Wetzlar, SS 2012

**Maresch, A.:** „Operations Research: Einführung in stochastische Methoden“, Technische Hochschule Mittelhessen, Friedberg, SS 2012

**Maresch, A.:** „Mathematik für Betriebswirte“, Technische Hochschule Mittelhessen, Wetzlar, WS 2011/2012

**Maresch, A.:** „Operations Research“, Technische Hochschule Mittelhessen, Friedberg, WS 2011/2012

**Stanko, S.:** „Physikalische Grundlagen“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, SS 2012

**Stanko, S.:** „Physikalische Grundlagen“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, WS 2012/2013

**Stanko, S.:** „Grundlagen der Radartechnik“, Universität Duisburg-Essen, Duisburg, WS 2011/2012



## Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten, Promotionen

### **Baron, Konstantin.:**

„Entwicklung eines Empfängers für ein breitbandiges Phased-Array Radarsystem im Ka-Band“, Hochschule Koblenz, Diplom-Arbeit

**Basavarajappa, V.:** „Design of a wideband conformal array antenna system with beamforming and null steering, for application in a DVB-T based passive radar“, Technische Universität Delft, Master

**Bestvater, M.:** „Caustics problems in high frequency asymptotic numerical methods“, Hochschule Koblenz, Master

**Breßer, P.:** „Entwicklung und Umsetzung eines dynamischen 3D-Modells basierend auf den Daten eines 3D-optischen Sensors“, Fachhochschule Dortmund, Master of Engineering

**El-Arnauti, G.:** „Entwicklung, Aufbau und Charakterisierung eines Aufwärts-

mischers für einen 36 GHz Sendepfad eines MIMO Radarsystems“, RWTH Aachen, Master of Science

**Gütgemann, S.:** „Entwicklung, Evaluation und Implementierung von Signalverarbeitungsthemen zur Weiterverarbeitung verschiedener Breitenmesssignale eines 30 GHz FMCW-Radars“, RheinAhrCampus Remagen, Bachelor of Engineering

**Hähnlein, C.:** „Anwendungsszenarien eines UWB-M-Sequenz-Radars in der Qualitätssicherung und in dem Sicherheitsbereich“, Fachhochschule Dortmund, Bachelor of Engineering

**Landsberg, A.:** „Entwicklung einer kompakten Antenne mit elektronischer Strahlschwenkung“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Diplom-Arbeit

**Müller, K.:** „Aufbau einer miniturisierten programmierbaren Spannungsversor-

gung für einen Radarsensor bei hoher Störsicherheit“, Fachhochschule Siegburg, Bachelor of Engineering

**Ould Maouloud, I. O.:** „Entwicklung eines SDR-basierten Signalgenerators für den Test von Empfängern zu radargestützten Detektion und Verfolgung von Objekten im Weltraum“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Master

**Schmid, M.:** „Synchronisation von Multi-Sensorsystemen zur Datenfusion in Produktionsstraßen“, Hochschule Koblenz, Master of Engineering

**Dozententätigkeiten bei Fachseminaren und Beratungsveranstaltungen**

**Bartsch, G.:** „Konzeption von Weltraumlage-/SSA-Systemen“, CCG-Seminar FA 1.03 Weltraumlage / SSA-Systeme und Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Lageinformation, Wachtberg, Juni 2012

**Cerutti-Maori, D.:** „Space-based SAR/GMTI techniques“, EUSAR Tutorial, Nürnberg, April 2012

**Ender, J. H. G.:** „Airborne multi-channel SAR/MT“, EUSAR Tutorial, Nürnberg, April 2012

**Ender, J. H. G.:** „Compressed Sensing with Radar“, 4th International Summer School on Radar / SAR, Remagen, Juli 2012

**Essen, H.:** „Einführung in die Technologie für hochauflösendes Radar“, CCG-Seminar SE 2.13 Hochauflösendes, abbildendes Radar für Sicherheitsanwendungen, Oberpfaffenhofen, April 2012

**Essen, H.:** „Physikalische Grundlagen für Radar-Sicherheitsanwendungen“, CCG-Seminar SE 2.13 Hochauflösendes, abbildendes Radar für Sicherheitsanwendungen, Oberpfaffenhofen, April 2012

**Essen, H.:** „UAV für CIED-Anwendungen“, CCG-Seminar SE 2.13 Hochauflösendes, abbildendes Radar für Sicherheitsanwendungen, Oberpfaffenhofen, April 2012

**Hantscher, S.:** „Vernetztes Stand-Off-SAR“, CCG Seminar SE 2.13 Hochauflösendes, abbildendes Radar für Sicherheitsanwendungen, Oberpfaffenhofen, April 2012

**Hantscher, S.:** „Beispiele für Nahbereichsanwendungen“, CCG Seminar SE 2.13 Hochauflösendes, abbildendes Radar für Sicherheitsanwendungen, Oberpfaffenhofen, April 2012

**Heckenbach, J.:** „DVB-T Signalverarbeitung“, Passiv-Radar-Seminar für RUAG, Wachtberg, November 2012

**Kuschel, H.:** „Passives Radar“, Passiv-Radar-Seminar für RUAG, Wachtberg, November 2012

**Kuschel, H.:** „Passives Radar“, Passive Radar DVB-T Workshop 2012, Singapur, März 2012

**Kuschel, H.:** „PARASOL“, Bundesverband Windenergie, AG Kennzeichnung, 2012

**Leushacke, L.:** „Weltraumaufklärung mit dem Großradar TIRA“, CCG-Seminar FA 1.01 Verfahren und Systeme der Aufklärung, Wachtberg, März 2012

**Leushacke, L.:** „Einführung in Weltraumlage/SSA“, CCG-Seminar FA 1.03 Weltraumlage / SSA-Systeme und Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Lageinformation, Wachtberg, Juni 2012

**Nötel, D.:** „mmW Radiometrie“, CCG-Seminar SE 2.13 Hochauflösendes, abbildendes Radar für Sicherheitsanwendungen, Oberpfaffenhofen, April 2012

**O’Hagan, D.:** „Theory and Principles of Bistatic and PBR“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Oberpfaffenhofen, November 2012

**O’Hagan, D., Kuschel, H.:** „Meter wave radar for the detection of RCS reduced targets“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Oberpfaffenhofen, November 2012

**Patzelt, T.:** „Radargestützte Aufklärung von Weltraumobjekten I“, CCG-Seminar FA 1.03 Weltraumlage / SSA - Systeme und Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Lageinformation, Wachtberg, Juni 2012

**Rosebrock, J.:** „Techniken zur Objektaufklärung mittels breitbandigem Radar; SOI;

ISAR", CCG-Seminar FA  
1.03 Weltraumlage / SSA -  
Systeme und Verfahren zur  
Erfassung und Bewertung  
von Lageinformation, Wacht-  
berg, Juni 2012

**Schell, J.:** „DVB-T  
PCL-Hardware“, Passiv-  
Radar-Seminar für RUAG,  
Wachtberg, November 2012

**Schumacher, R.:** „Grundla-  
gen zur nicht-kooperativen  
Zielidentifizierung und  
Polarimetrie“, CCG Seminar  
SE 2.14 Radar- und Infrarot-  
tarnung, Oberpfaffenhofen,  
November 2012

**Schumacher, R.:** „Nichtko-  
operative Zielidentifizierung  
und ATR“, CCG-Seminar SE  
2.14 Radar- und Infrarottar-  
nung, Oberpfaffenhofen,  
November 2012

**Ummenhofer, M.:** „DVB-T  
Fehlerkorrektur“, Passiv-  
Radar-Seminar für RUAG,  
November 2012, Wachtberg

**Ummenhofer, M.:** „DVB-T  
PCL-aspects“, Passive Radar  
DVB-T Workshop 2012,  
Singapur, März 2012

**Walterscheid, I.:** „Experi-  
mental aspects of bistatic  
SAR/ISAR“, EUSAR Tutorial,  
Nürnberg, April 2012

**WeiB, M.:** „Radar Funda-  
mentals“, 4th International  
Summer School on Radar /  
SAR, Remagen, Juli 2012

**WeiB, M.:** „Multi-Sensor  
Systems: Multiplicity helps“,  
NATO SET-157 Lecture  
Series, Dartmouth, Seattle,  
Linköping, Amsterdam, Rom,  
Madrid, Juni und November  
2012

**WeiB, M.:** „Aspects of  
Sensor Networks“, NATO  
SET-157 Lecture Series, Dart-  
mouth, Seattle, Linköping,  
Amsterdam, Rom, Madrid,  
Juni und November 2012

# VERÖFFENTLICHUNGEN

## Veröffentlichungen in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften

**Bertuch, T.; Vipiana, F.; Vecchi, G.:** „Efficient Analysis of Printed Structures of Arbitrary Shape on Coated Cylinders Via Spatial-Domain Mixed-Potential Green's Function“, IEEE Transactions on Antennas Propag, Vol. 60, No. 3, p. 1425-1439, März 2012

**Cerutti-Maori, D.; Sikaneta, I.; Gierull, C. H.:** „Optimum SAR/GMTI Processing and Its Application to the Radar Satellite RADARSAT-2 for Traffic Monitoring“, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 50, No. 10, p. 3868-3881, Oktober 2012

**Cristallini, D.; Bürger, W.:** „A Robust Direct Data Domain Approach for STAP“, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 60, No. 3, p. 1283-1294, März 2012

**Ender, J. H. G.:** „Auto-focusing ISAR Images via Sparse Representation“, 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2012), p. 203-206, April 2012

**Essen, H.; Hantscher, S.; Koch, W.; Zimmermann, R.; Warok, P.; Schröder, M.; Schikora, M.; Lüdtke, G.:** „A Multimodal Sensor System for Runway Debris detection“, International Journal of Microwave and Wireless Technologies, p. 6, Januar 2012

**Hantscher, S.; Schlenther, B.; Hägelen, M.; Lang, S.; Essen, H.; Tessmann, A.; Hülmann, A.; Leuther, A.; Schlechtweg, M.:** „Security Pre-screening of Moving Persons Using a Rotating Multi-channel W-Band Radar“, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 60, No. 3, p. 870-880, März 2012

**Joseph, R; Fukusako, T.:** „Circularly Polarized Broadband Antenna with Circular Slot on Circular Ground Plane“, Progress in Electromagnetics Research C, Vol. 26, p. 205-217, 2012

**Klemm, R.:** „Recognition of convoys with array radar“, IET Radar, Sonar & Navigation, Vol. 6, No. 3, p. 123-129, März 2012

**Knott, P.; Bertuch, T.; Wilden, H.; Peters, O.; Brenner, A.R.; Walterscheid, I.:** „SAR Experiments Using a Conformal Antenna Array Radar Demonstrator“, International Journal of Antennas and Propagation, 2012

**O'Hagan, D. W.; Kuschel, H.; Ummenhofer, M.; Heckenbach, J.; Schell, J.:** „A Multi-Frequency Hybrid Passive Radar Concept for Medium Range Air Surveil-

lance“, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 27, No. 10, p. 6-15, Oktober 2012

**Palm, S; Oriot, H. M.; Cantalloube, H. M.:** „Radar-grammetric DEM Extraction Over Urban Area Using Circular SAR Imagery“, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 50, No. 11, p. 4720-4725, November 2012





**Konferenzbeiträge**

**Balasubramanian, M.,  
Toccafondi, A., Maci, S.:**

„UTD computation for NURBS surfaces“, European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Prag (CZ), März 2012

**Berens, P.:** „ISAR Imaging of Ground Moving Vehicles Using Large Instantaneous Bandwidth“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

**Bokaderov, S.; Maresch, A.;  
Schimpf, H.; Essen, H.;**

**Wellig, P.:** „EOSAR, a SAR-Scene Simulator based upon real Target and Background Signatures“, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), München, Juli 2012

**Brenner, A.R.:** „Ultra-High Resolution Airborne SAR Imaging of Vegetation and Man-Made Objects based on 40% Relative Bandwidth in X-Band“, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), München, Juli 2012

**Brenner, A.R.; Essen, H.;  
Stilla, U.:** „Representation of stationary vehicles in ultra-high resolution SAR and turntable ISAR images“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

**Brisken, S.:** „Multistatic ISAR Autofocussing using image contrast optimization“, International conference on radar systems (Radar), Glasgow (UK), Oktober 2012

**Bürger, W.:** „Dealing with Target Nulling and Clutter Inhomogeneities in STAP“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

**Caris, M.; Maresch, A.:** „Synthetic Aperture Radar for all weather penetrating UAV Application (SARape) - project presentation“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

**Cerutti-Maori, D.;**  
**Sikaneta, I.; Gierull, C.:** „Ship Detection with Spaceborne Multi-channel SAR/GMTI Radars“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

**Loecker, C.; Knott, P.; Seko-  
ra, R.; Algermissen, S.:** „Antenna Design for a Conformal Antenna Array Demonstrator“, European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Prag (CZ), März 2012

**Cristallini, D.:** „Target DOA Estimation Based on Robust Deterministic STAP“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

**Cristallini, D.:** „Exploiting Robust Direct Data Domain

STAP for GMTI in Very High Resolution SAR“, IEEE Radar Conference (RadarCon), Atlanta (USA), Mai 2012

**O’Hagan, D. W.; Basavaraj-  
appa, V.; Knott, P.; Kuschel,  
H.; Ummenhofer, M.;**  
**Simeoni, M.:** „A wideband antenna array for DVB-T based passive bistatic radar applications“, International conference on radar systems (Radar), Glasgow (UK), Oktober 2012

**Danklmayer, A.; Essen,  
H.; Biegel, G.; Förster, J.;**  
**Behn, M.; Hurtaud, Y.;**  
**Castanet, L.; Fabbro, V.:** „Retrieval of the atmospheric propagation conditions over the sea surface based on sea clutter measurements“, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), München, Juli 2012

**Danklmayer, A.; Essen, H.;**  
**Biegel, G.; Förster, J.; Behn,  
M.; Hurtaud, Y.; Castanet,  
L.; Fabbro, V.:** „Recent Activities in the Area of mmW-Signals Propagation Research with respect to the

Maritime Boundary Layer", Progress in Electromagnetic Reserach Symposium (PIERS), Moskau (RU), August 2012

**Danklmayer, A.; Essen, H.; Biegel, G.; Förster, J.; Behn, M.; Hurtaud, Y.; Castanet, L.; Fabbro, V.:** „On the Propagation of mmWave-Signals in the Maritime Boundary Layer", IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI National Radio Science Meeting, Chicago, Illinois (USA), Juli 2012

**Essen, H.; Brehm, T.; Sieger, S.; Sommer, R.; Meier, E.; Magnard, C.:** „Millimeter-wave SAR Monitoring for Precision Farming Applications", Progress in Electromagnetic Reserach Symposium (PIERS), Kuala Lumpur (MY), März 2012

**Essen, H.; Danklmayer, A.; Förster, J.; Behn, M.; Hurtaud, Y.; Fabbro, V.; Castanet, L.:** „Joint French-German Radar Measurements for the Determination of the refractive Index in the maritime boundary Layer",

Defense, Security, and Sensing (SPIE), Edinburgh (UK), September 2012

**Essen, H.; Danklmayer, A.; Hantscher, S.:** „Millimetre-wave Propagation in Atlantic and Tropical Enviroment", Progress in Electromagnetic Reserach Symposium (PIERS), Moskau (RU), August 2012

**Essen, H.; Danklmayer, A.; Hantscher, S.:** „Millimetre-wave Sea Clutter at Low Depression Angles", Progress in Electromagnetic Reserach Symposium (PIERS), Moskau (RU), August 2012

**Essen, H.; Danklmayer, A.; Hantscher, S.:** „Millimetre-wave Propagation in Atlantic and Tropical Enviroment", Progress in Electromagnetic Reserach Symposium (PIERS), Kuala Lumpur (MY), März 2012

**Essen, H.; Johannes, W.; Stanko, S.:** „Perimeter Surveillance using a miniaurized Millimetre wave Radar", Defense, Security, and Sensing (SPIE), Edinburgh (UK), September 2012

**Essen, H.; Johannes, W.; Stanko, S.; Sommer, R.; Wahlen, A.; Wilcke, J.:** „High resolution W-Band UAV-SAR", International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), München, Juli 2012

**Essen, H.; Sieger, S.; Biegel, G.; Maresch, A.; Danklmayer, A.:** „Clutter from Mountain Terrain at 94 GHz", International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), München, Juli 2012

**Fatihi, N.; Hantscher, S.; Lang, S. A.; Essen, H.:** „Fusion of Radar and Optical Images for Person Screening in Security Sensitive Environments", Progress in Electromagnetic Reserach Symposium (PIERS), Kuala Lumpur (MY), März 2012

**Fontana, A.; Berens, P.:** „Centerline slope-based approach for rotational motion estimation of ship targets for ISAR", European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

**Gonzalez-Huici, M.:** „A strategy for landmine detection and recognition using simulated GPR responses", 14th International Conference on Ground Penetrating Radar, Shanghai (CN), Juni 2012

**Gracheva, V.; Cerutti-Maori, D.:** „Multi-Channel Analysis of Sea Clutter for STAP Applications", European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

**Gracheva, V.; Cerutti-Maori, D.:** „STAP Performance of Sea Clutter Supression in Dependency of the Grazing Angle and Swell Direction for High Resolution Bandwidth", International conference on radar systems (Radar), Glasgow (UK), Oktober 2012

**Hantscher, S.; Schlenther, B.; Lang, S. A.; Hågelen, M.; Essen, H.; Tessmann, A.:** „Radar based full body screening of passengers with constant motion", Defense, Security, and Sensing (SPIE), Baltimore (USA), April 2012

- Hantscher, S.; Schlenther, B.; Lang, S. A.; Hägelen, M.; Essen, H.; Tessmann, A.:** „Moving passenger screening using a fast millimetre wave FMCW radar“, Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Kuala Lumpur (MY), März 2012
- Hantscher, S.; Schlenther, B.; Lang, S. A.; Hägelen, M.; Essen, H.; Tessmann, A.:** „Radar based full body screening of passengers with constant motion“, Defense, Security, and Sensing (SPIE), Baltimore (USA), April 2012
- Johannes, W.; Essen, H.; Stanko, S.; Sommer, R.; Wahlen, A.; Wilcke, J.:** „Millimeterwave Synthetic Aperture Radar for UAV Applications“, Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Kuala Lumpur (MY), März 2012
- Klemm, R.:** „Retrieving convoy parameters from Doppler“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Klimek, J.; Sauerborn, M.; Hoffschmidt, B.; Sieger, S.; Biegel, G.; Essen, H.; Gött-sche, J.; Hilger, P.:** „Radar technology for heliostat position control“, Europe Solar Conference- EuroSun (ISES), Rijeka (HR), September 2012
- Knott, P.; Löcker, C.; Algermissen, S.; Sekora, R.:** „Compensation of Static Deformation and Vibrations of Antenna Arrays“, 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences (INCPAA), Wien (AT), Juli 2012
- Kohlleppel, R.:** „Ground target tracking with signal adaptive measurement error covariance matrix“, International Conference on Information Fusion, Singapore (SG), Juli 2012
- Kohlleppel, R.:** „Ground Moving Target Tracking with Amplitude Derived Direction of Arrival Estimation Accuracy Information“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Kuschel, H.; Heckenbach, J.; Ummenhofer, M.:** „Limiting factors and unwanted effects in PCL using digital-broadcast signals“, NATO SET 177 Workshop, Athen (GR), Oktober 2012
- Lang, S. A.; Ender, J. H. G.; Hägelen, M.:** „Optical assisted CSAR for security screening at a constant passenger flow“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Lang, S. A.; Ender, J. H. G.; Hägelen, M.; Hantscher, S.:** „Optical 3D assisted CSAR for security screening at a constant passenger flow“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Liontas, C.A.; Chrissoulidis, D.P.:** „Diffraction by an iso-refractive cone: two-interval formulation and numerical evaluation“, Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET), Charkiw (UA), August 2012
- Kirschner, M.; Weigel, M.; Kahle, R.; Kahr, E.; Choi, P.; Letsch, K.; Leuschacke, L.:** „Orbit Precision Analysis of Small Man-made Space Objects in LEO based on Radar Tracking Measurements“, 23rd International Symposium on Space Flight Dynamics, Pasadena (USA), Oktober 2012
- Magnard, C.; Brehm, T.; Essen, H.; Meier, E.:** „High resolution MEMPHIS-SAR data processing and applications“, Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS), Kuala Lumpur (MY), März 2012
- Maksymiuk, O.; Schmitt, M.; Brenner, A.R.; Stilla, U.:** „First Investigations on Detection of Stationary Vehicles in airborne Decimeter Resolution SAR

- Data by Supervised learning", International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), München, Juli 2012
- Matthes, D.:** „Aspects of Electronic Countermeasures to passive radar“, NATO SET 177 Workshop, Athen (GR), Oktober 2012
- O'Hagan, D. W.; Basavarajappa, V.; Knott, P.; Kuschel, H.; Ummenhofer, M.; Simeoni, M.:** „A wide band antenna array for DVB-T based passive bistatic radars“, IEEE Radar Conference (RadarCon), Atlanta (USA), Mai 2012
- O'Hagan, D. W.; Capria, A.; Petri, P.; Kubica, V.; Greco, M.; Berizzi, F.; Stove, A.:** „Passive bistatic Radar (PBR) for harbour protection application“, IEEE Radar Conference (RadarCon), Atlanta (USA), Mai 2012
- O'Hagan, D.; Malanowski, M.; Haugen, R.; Greco, M.; Plesk, R.; Stove, A.G.; Bernhard, A.:** „Land sea clutter from FM based passive bistatic radars“, International conference on radar systems (Radar), Glasgow (UK), Oktober 2012
- Knott, P.; Kuschel, H.; O'Hagan, D. W.:** „Antenna Array Geometry Optimization for a Passive Coherent Localisation System“, 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Science (INCPAA), Wien (AT), Juli 2012
- Prünste, L.:** „GMTI from Multichannel SAR Images using Compressed Sensing“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Prünste, L.:** „Application of distributed compressed sensing for GMTI purposes“, International conference on radar systems (Radar), Glasgow (UK), Oktober 2012
- Ribalta, A.:** „Optimizing the Factorisation Parameters in the Fast Factorized Backprojection Algorithm“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Ribalta, A.:** „Omega-K algorithm without the Stop-and-Go Approximation for high Resolution SAR Image Reconstruction“, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), München, Juli 2012
- Sauerborn, M.; Klimek, J.; Hoffschmidt, B.; Essen, H.; Sieger, S.; Biegel, G.; Göttsche, J.; Hilger, P.:** „Determination of Heliostat Mirror Orientation by Radar Technology“, Solar Power and Chemical Energy Systems (SolarPACES), Marrakesch (MA), September 2012
- Sauerborn, M.; Klimek, J.; Hoffschmidt, B.; Essen, H.; Sieger, S.; Biegel, G.; Göttsche, J.; Hilger, P.:** „Optimizing the Factorisation Parameters in the Fast Factorized Backprojection Algorithm“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Sauerborn, M.; Klimek, J.; Hoffschmidt, B.; Essen, H.; Sieger, S.; Biegel, G.; Göttsche, J.; Hilger, P.:** „Radar technology for heliostat position control“, Europe Solar Conference- EuroSun (ISES), Rijeka (HR), September 2012
- Shoykhetbrod, A.:** „Design of SIW Meander Antenna for 60 GHz Applications“, 7th German Microwave Conference (GeMiC), Ilmenau, März 2012
- Stanko, S.; Johannes, W.; Sommer, R.; Wahlen, A.:** „Integration of a Miniaturized Millimetre Wave SAR System in Universal Pod“, International conference on radar systems (Radar), Glasgow (UK), Oktober 2012
- Stanko, S.; Johannes, W.; Sommer, R.; Wahlen, A.; Schröder, M.; Caris, M.:** „SUMATRA - A UAV based miniaturized SAR System“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012

- Uschkerat, U.; Pisciotano, I.:** „Crop Data Collection with an UWB-SAR System“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Vaupel, T.:** „New Features and Applications for a Fast Planar-3D Integral Equation Solver“, European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Prag (CZ), März 2012
- Vaupel, T.:** „Comparison and Combination of two Fast Integral Equation Solvers For Planar 3D Structures“, IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI National Radio Science Meeting, Chicago (USA), Juli 2012
- Vaupel, T., Knott, P.:** „Antenna and Subsystem Design Using Commercial and In-house Integral Equation frameworks“, German Microwave Conference (GeMiC), Ilmenau, März 2012
- Walterscheid, I.; Brenner, A.R.; Klare, J.:** „Bistatic radar imaging of an airfield in forward direction“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Walterscheid, I.; Brenner, A.R.; Klare, J.:** „Radar imaging with very low grazing angles in a bistatic forward-looking configuration“, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), München, Juli 2012
- Wang, R.; Deng, Y; Loffeld, O; Nies, H.; Walterscheid, I.; Espeter, T.; Klare, J.; Ender, J. H. G.:** „Focusing Bistatic SAR Data in Double Sliding Spotlight Mode with TerraSAR-X and PAMIR Based on Azimuth Chirp Filtering“, EUSAR 2012, Nürnberg, April 2012
- Weinmann, F.:** „SBR Ray Tracing on NURBS for Electromagnetic Scattering Simulations“, European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Prag (CZ), März 2012
- Weinmann, F.:** „Comparison of Intersection Algorithms for SBR Ray Tracing on NURBS“, IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI National Radio Science Meeting, Chicago (USA), Juli 2012
- Weiß, M.:** „Target Detection with a distributed WLAN radar Network using compressive sensing“, International Workshop on Compressed Sensing applied to Radar, Bonn, Mai 2012
- Weiß, M.:** „Passive WLAN radar network using compressive sensing“, International conference on radar systems (Radar), Glasgow (UK), Oktober 2012
- Wilden, H.; Kirchner, C.; Brenner, A.R; Ender, J. H. G.:** „FHR Contribution to the European Space Situational Awareness (SSA) radar demonstrator programme“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012
- Wilden, H.; Kirchner, C.; Peters, O.; Brenner, A.R.; Vera, J; Hermoso; J.M.; Torres, J.; Sciotti, M; Besso, P.:** „Low-cost Radar Receiver for European Space Surveillance“, International conference on radar systems (Radar), Glasgow (UK), Oktober 2012
- Witter, M.:** „Analysis of two-step nulling of RF interference and ground clutter with PAMIR“, European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), Nürnberg, April 2012



### **Sonstige Vorträge auf wissenschaftlichen Veranstaltungen**

**Bartsch, G.:** „Orbitbestimmung durch Fusion von optisch und via Radar gewonnenen Messdaten“, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, Berlin, September 2012

**Bertuch, Thomas:** „Konsistenter Entwurf Gedruckter Gruppenantennen - Am Beispiel von 24 GHz Automobilradarsystemen“, 2. Workshop Automotive Antennen WSAA 2012, München, September 2012

**Bertuch, Thomas:** „Projektübersicht: A-1133-RT-GC, Forecasts in Metamaterials with Extreme Parameters for Disruptive Antennas, Radomes, and Cloaking in Radar Applications (METAFORE)“, JIP-FP/ICET Joint Dissemination Seminar, 2012

**Bokaderov, S.; Maresch, A.; Wellig, P.:** „EOSAR - A Simulator for the blending of real targets into SAR-Scenes“, Internationales Symposium Indirekter Schutz (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2012

**Brisken, S.:** „Multistatic ISAR“, Fall Presentations - ZEISS - Universität Siegen, Siegen, 2012

**Brisken, S.:** „Recent Advances in Multistatic ISAR“, Seminar des Department of Information Engineering, University of Pisa, Pisa (IT), 2012

**Caris, M.:** „SARape - Synthetic Aperture Radar for all weather penetrating UAV Application“, Common CapTech IAP Workshop, Brüssel (BE), April 2012

**Caris, M. et al:** „SARape - A Synthetic Aperture Radar for all weather penetrating UAV Application“, Internationales Symposium Indirekter Schutz (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2012

**Cerutti-Maori, D.:** „Workshop SAR Imaging“, Summerschool, 4th International Summerschool on Radar/SAR, 2012

**Essen, H.; Hantscher, S.; Hägelen, M.; Briese, G.; Nöthen, D.; Lang, S. A.; Pohl, N.:** „High Resolution Millimeter-Wave Luggage Scanner“, Terahertz Workshop, Kaiserslautern, März 2012

**Ender, J. H. G.:** „Sparse Representation and Autofocus on ISAR and Spotlight SAR Imaging“, Challenges in Synthetic Aperture Radar, UCLA, IPAM, Los Angeles (USA), Februar 2012

**Ender, J. H. G.:** „Bildgewinnung und -verarbeitung quer durch das elektromagnetische Spektrum“, 48. Heidelberger Bildverarbeitungsforum, Haus der Astronomie, Heidelberg, März 2012

**Ender, J. H. G.:** „Compressed Sensing with Radar“, 4th International Summer School on Radar / SAR, Bonn, Juli 2012

**Ender, J. H. G.:** „Selected Research Topics of the Fraunhofer Institute for High Frequency Physics and Radar Techniques“, Sabanci Univer-

sity, Istanbul (TR), 2012

**González-Huici, M.; Uschkerat, U.; Frick, J.; Schreiner, M.; Sawade, G.:** „Sensor supported surveillance of ground to control the stability of mobile construction machines“, International Conference on machine control & guidance, Stuttgart, März 2012

**Gonzalez-Huici, M.; Uschkerat, U.; Frick, J.; Scheiner, M.; Sawade G.:** „Sensorgestützte Bodenüberwachung zur Gewährleistung der Stabilität von mobilen Baumaschinen“, 5. Fachtagung: Baumaschinentechnik, Dresden, September 2012

**Herbertz, Kai:** „Investigation of Metamaterial Applications for Performance Improvement of Phased Array Radar Antennas“, NATO SET-181 4th Meeting, 2012

**Jersblad, J.; Biegel, G.; Sieger, S.:** „Using the STANDCAM as a platform for radar validation of mobile camouflage systems“, Internationales Symposium

Indirekter Schutz (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2012

**Klare, Jens:** „MIMO-Radar: vielseitig, robust, kostengünstig“, Diskussionsitzung des FA 9.1 „Messverfahren der Informationstechnik“ zum Thema Radartechniken, Bochum, Mai 2012

**Kuschel, H.:** „Deployable Multi-band Passive Active Radar“, SET Panel Business meeting, Mai 2012

**Kuschel, H.:** „Passiv Radar Kollisionswarnung an Windenergieanlagen“, Seminar Innovative Technologien, Husum, September 2012

**Kuschel, H.:** „Passive Radar Tutorial“, International Radar Conference, Glasgow (UK), Oktober 2012

**Lang, S.:** „W-Band Detection System“, EU-FP7 funded ATOM Project: Final Presentation, 2012

**Letsch, K.:** „Status of TIRA Upgrade Activities“, 30th IADC-Meeting, Montreal (CA), Mai 2012

**Letsch, K.; Perkuhn, R.:** „A Non-Common Application of Klystron and TWT: The High-Power Space Observation Radar TIRA“, ITG International Vacuums Electronics Workshop, Bad Honnef, August 2012

**Leushacke, L.:** „Erfassung und Aufklärung von Objekten im Weltraum“, 53. Sitzung der ITG Fachgruppe Algorithmen für die Signalverarbeitung, März 2012

**Leushacke, L.:** „SSA activities at Fraunhofer FHR“, DEU-FRA SSA collaboration meeting, Wachtberg, Juni 2012

**Nötel, D.; Klöppel, F.; Huck, J.; Schönewald, R.; Wellig, P.; Murk, A.; Pratisto, H.; Canaver, M.:** „Development of a Macroscopic Camouflage Material Measurement Scheme Based on Indoor Illuminated Radiometry“, Internationales Symposium Indirekter Schutz (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2012

**Nüßler, D.:** „Radarsensorik und ihre Anwendungen in

der Qualitätssicherung“, 7. Treffen Fraunhofer Vision Partner, 2012

**Nüßler, D.:** „Materialanalyse mit Hochfrequenzsensoren“, Besuch ifcom, 2012

**Nüßler, D.:** „Abbildende Hochfrequenzsensoren zur Detektion optisch nicht sichtbarer Fehler“, 6. Fraunhofer Vision-Tag: Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung, Jena, Oktober 2012

**Nüßler, D.; Heinen, S.; Brauns, R.:** „High resolution analysis of camouflage materials with a scanning approach“, Internationales Symposium Indirekter Schutz (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2012

**Stanko, S.:** „Bildgebendes Radar mit luftgetragenen miniaturisierten millimeterwellen SAR-Sensor“, Symposium ITG 9.1, Bochum, Mai 2012

**Stanko, S.; Johannes, W.; Sommer, R.; Wahlen, A.:**

**Wilcke, J.:** „SUMATRA: Millimeter-wave SAR System on UAVs and Small Airplanes“, Internationales Symposium Indirekter Schutz (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2012

**Uschkerat, U.; Pedlow, C.; Gonzalez-Huici, M.:** „Poster: Vorwärtsschauendes Bodendurchdringendes Radar zur IED Detektion“, C-IED Symposium, Mannheim, Oktober 2012

**Vaupel, T.:** „Characterization of Modeformer Subsystems for Direction Finding Using Fast Planar-3D Solver Strategies“, COST VISTA Workshop, Istanbul (TR), 2012

### **Sonstige Veröffentlichungen**

**Farina, A., Kuschel, H.:**  
„Special issue on PCL I“,  
IEEE-AES Magazin, Oktober  
2012

**Farina, A., Kuschel, H.:**  
„Special issue on PCL II“,  
IEEE-AES Magazin, November  
2012

**Essen, H.:** „Einsatz von Ra-  
dargeräten in taktischen UAV  
(SAR-Radargeräten zur Auf-  
klärung und Überwachung)“,  
Europäische Sicherheit und  
Technik, Januar 2012

**Gonzalez-Huici, M.;**  
**Uschkerat, U.; Frick, J.;**  
**Scheiner, M.; Sawade G.:**  
„Sensorgestützte Bodenüber-  
wachung zur Gewährleistung  
der Stabilität von mobilen  
Baumaschinen“, Schriftenrei-  
he der Forschungsvereinigung  
Bau- und Baustoffmaschinen  
e.V. (FVB), 2012

# GREMIENTÄTIGKEITEN

## Bartsch, G.

- Programmausschuss Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress DLRK2012: Assoziiertes Mitglied
- DGLR Fachausschuss S4.5 Umweltaspekte der Raumfahrt: Mitglied
- EDA's CapTech Networks of experts: Member

## Berens, P.

- EUSAR 2012: Programm Komitee Mitglied

## Brenner, A.R.

- Stellvertretende Leitung des FA Radartechnik der DGON bzw. FA 7.4 Ortung der ITG
- EUSAR 2012: Programm Komitee Mitglied

## Cerutti, D.

- EUSAR 2012: Programm Komitee Mitglied

## Ender, J. H. G.

- VDI-ITG Fachbereich 7: Fachbereichsleiter Hochfrequenztechnik
- NATO Research and Technology Organisation (RTO) Sensor & Electronics Technology (SET) Panel Member at Large
- Senior Member des IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers)
- Mitglied im Rat der DGON (Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation)
- Institut für Sicherheitsforschung der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg: Kuratoriumsmitglied
- Mitglied des IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.)

- Vice Coordinator der Forschungsschule MOSES, ZESS, Universität Siegen
- CoSeRa 2012, Bonn: Co-Chairman
- EUSAR 2012, Nürnberg: Vice Chairman

## Essen, H.

- EUSAR 2012: Programm Komitee Mitglied

## Klare, J.

- EUSAR 2012: Programm Komitee Mitglied

## Klemm, R.

- EUSAR 2012: Ehrenmitglied, Programm Komitee Mitglied

## Knott, P.

- Fachausschuss 7.1 Antennen der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG): Mitglied
- ICT COST Action IC1102 Versatile, Integrated, and Signal-aware Technologies for Antennas (VISTA): Mitglied
- Executive Committee (Vorstand) des IEEE Microwave Theory and Techniques (MTT) / Antennas and Propagation (AP) Joint Chapter: Vice-Chair
- European Association on Antennas and Propagation (EurAAP): Regional Delegate (Proxy)
- Capability Technology Area (CapTech) IAP2 - RF Sensor Systems & Signal Processing Panel, European Defence Agency (EDA): CapTech Governmental Expert (CGE)
- NATO SET 131 – Vibration Control and Structure Integration of Antennas: Chairman

## Kuschel, H.

- 2. NATO RTO SET177 – Passive radar ECM, EPM and critical

aspects: Chairman

- Deployable multi-band passive/active radar for Air Defence (SET 152): Chairman

**Leushacke, L.**

- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC): Nationaler Vertreter in der Working Group 1 (Measurements)
- DGLR Fachausschuss S4.5 Umweltaspekte der Raumfahrt: Mitglied

**Letsch, K.**

- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC): Nationaler Vertreter in der Working Group 1 (Measurements)

**Matthes, D.**

- Electronic Countermeasures to Radar with High-Resolution and Extended Coherent Processing (SCI 190): Chairman
- Coherent Electronic Attack to Advanced Radar (SCI-252): Chairman

**O'Hagan, D. W.**

- Advanced Modelling and System Application for Passive Sensors (SET 164): Chairman

**Rosebrock, J.**

- EUSAR 2012: Programm Komitee Mitglied

**Schiller, J.**

- EDA IAP02: CAPTech Governmental Expert

**Walterscheid, I.**

- EUSAR 2012: Programm Komitee Mitglied

**Weiß, M.**

- EUSAR 2012: EUSAR Executive, Program Board, Technical Chair

**Wilden, H.**

- EDA's CapTech Networks of experts: Member



# AUSZEICHNUNGEN

## **Auszeichnungen**

**Ender, J. H. G.:** „Group Technical Achievement Award 2012 for contributions to array signal processing and multichannel synthetic aperture radar“, verliehen durch die European Association for Signal Processing EURASIP

**Ender, J. H. G.:** „Best Paper on Signal Processing“ verliehen durch die European Association for Signal Processing EURASIP, EUSIPCO 2012, Bukarest, Rumänien, August 2012

# VERANSTALTUNGEN

## Tagungsorganisation

„1st International Workshop on Compressed Sensing applied to Radar“, 14. - 16. Mai 2012, Bonn

„Wachtberg-Forum“, 14. Juni 2012, Wachtberg

„4th International Summer School on Radar / SAR“, 13. - 20. Juli 2012, Remagen

## Beteiligung an Messen und Fachausstellungen

Beteiligung am Gemeinschaftsstand der Wissenschaftsregion Bonn bei der „Hannover Messe Industrie (HMI)“ vom 23. - 27. April 2012, Hannover

Messestand bei der Firmenkontaktmesse „Campus & Praxis“ der Fachhochschule Koblenz, 17. April 2012, Remagen

Beteiligung am Gemeinschaftsstand von Fraunhofer Vision bei der Messe „Control“, 8. - 11. Mai 2012, Stuttgart

Messestand bei der Absolventenmesse „Bonding“, 19. Juni 2012, Bochum

Mitaussteller bei der Konferenz „Future Security“, Bonn, 4. - 6. September 2012

Beteiligung am Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft bei der „ILA Berlin Air Show“, 11. - 16. September 2012, Berlin

Messestand beim „6. Fraunhofer Vision-Technologietag: Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung“, Jena, 17. - 18. Oktober 2012

Gemeinsamer Messestand mit Fraunhofer IAF bei der „European Microwave Week“, 29. - 31. Oktober 2012, Amsterdam, Niederlande

Messestand beim „Unternehmenstag“ der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 14. November 2012, St. Augustin

# PRESSESPIEGEL

Datum	Titel	Medium
01.01.2012	SAMMI: Sanfte Kontrolle	Physik Journal
01.01.2012	The X-Ray alternative for food inspection	The Clipper
10.01.2012	Phobos Grunt: Rücksturz zur Erde	pro physik
11.01.2012	Russische Raumfahrt Krise: Absturz der Sonde PhoboGrunt soll Sabotage sein	PC-Games
12.01.2012	Германские ученые сделали радиолокационные снимки "Фобос-Грунта"	RIA Novosti
12.01.2012	Cientficos alemanes obtienen imagenes de la sonda rusa Fobos-Grund	RIA Novosti
12.01.2012	Deutsche Radarbilder liefern Infos zu Marssonde Phobos-Grunt	RIA Novosti
12.01.2012	Sonde russe: les chercheurs allemands déterminent le point de chute	RIA Novosti
12.01.2012	Deutsche Radarbilder liefern Infos zur Marssonde Phobos-Grunt	Berliner Umschau
12.01.2012	Phobos Grunt auf dem Radar	Die Rheinpfalz
13.01.2012	Russisches Sorgenkind stürzt zur Erde	WDR5
13.01.2012	Russische Marssonde Phobos Grunt vor Absturz	Süddeutsche Zeitung
13.01.2012	Experten der ESA koordinieren eine Internationale Kampagne zum Wiedereintritt	esa.int
13.01.2012	Endstation Erde	Süddeutsche Zeitung
14.01.2012	Banges warten auf Absturz von Phobos Grunt	Wiener Zeitung
14.01.2012	Erde statt Mars	Badische Zeitung
14.01.2012	Streifzug	General-Anzeiger
14.01.2012	Die Sonde fällt - irgendwohin	Südwest Presse
14.01.2012	Die letzten Stunden von Phobos Grunt	SWR2 Campus
15.01.2012	Bonner Forscher beobachten Marssonde	wdr.de
15.01.2012	Marssonde Phobos Grunt: Russischer Weltraumschrott soll über Argentinien auf Erde stürzen	Süddeutsche.de
15.01.2012	Phobos Grunt: Russische Marssonde in den Pazifik	Spiegel Online
15.01.2012	Die Sonde fällt irgendwohin	Südwest Presse Online
15.01.2012	Russian mars probe to crash soon with world watching	Foxnews
16.01.2012	Endstation Pazifik - Raumsonde Phobos-Grunt stürzte ins Meer	3sat.de
16.01.2012	Reste von Phobos Grunt verzweifelt gesucht	Welt Online

Datum	Titel	Medium
16.01.2012	Russische Sonde: Absturz von Phobos Grunt gibt Rätsel auf	Spiegel Online
24.01.2012	Американские военные подтвердили, что Фобос упал в Тихом океане Наука и Технологии Лента новостей	Ria Novosti
24.01.2012	US-Militär bestätigt Absturz von Phobos-Grunt vor Chiles Küste	Ria Novosti
06.02.2012	Leben mit neuer Technik	Planet Wissen
06.02.2012	Müll, Mafia und Moneten	General-Anzeiger
01.03.2012	SAMMI_Klare Sicht ins Dunkle gebracht	Kunststoffzeitschrift
05.03.2012	Professur fördert Kooperation	Wetzlarer Neue Zeitung
05.03.2012	Antrittsvorlesung Herr Ender	Siegener Zeitung
07.03.2012	Scanner durchleuchtet jede Verpackung	Saarbrücker Zeitung
13.04.2012	ESA enlists outside help for recovery effort	Space News
14.04.2012	Envisat-Havarie: Völlig losgelöst	Spiegel Online
17.04.2012	Funkstille im All: Envisat antwortet nicht	Darmstädter Echo
21.04.2012	Gemeinsamer Messeauftritt in Hannover	Bonner Rundschau
23.04.2012	Envisat, en perdition, photographié par le satellite Pléiades	Futura Sciences
24.04.2012	Die den Weltraumschrott beobachten	wdr.de
24.04.2012	Humongous rogue European satellite spotted hurtling through space	Christian Science Monitor
25.04.2012	Praxis@Campus am RheinAhrCampus	Remagener Nachrichten
27.04.2012	Einmal Bürgermeister sein	General-Anzeiger
30.04.2012	Rettungsaktion für Satteliten	Frankfurter Rundschau
23.05.2012	Tonfolgen in der Radom-Kuppel	General-Anzeiger
29.05.2012	Musik im Radom	General-Anzeiger
05.06.2012	Sphärische Klänge unter der Radarkuppel	Bonner Rundschau
05.06.2012	Sphärische Klänge im Radom	General-Anzeiger
06.06.2012	Das Ende der unsichtbaren Bomber	Bonner Rundschau
16.06.2012	Kleiderkammer sponsert "Neue Pfade"	Bonner Rundschau
30.06.2012	Profil Fraunhofer FHR	Bonner Rundschau
30.06.2012	Trendanalyse für Forschung der Zukunft	Bonner Rundschau
30.06.2012	Sicherheit und Innovation	Bonner Rundschau
30.06.2012	Lebensmittelkontrolle mit SAMMI	Bonner Rundschau

## ANHANG

### PRESSESPIEGEL

<b>Datum</b>	<b>Titel</b>	<b>Medium</b>
30.06.2012	Gewinnen Sie eine Führung durch Fraunhofer FHR "	Bonner Rundschau
30.06.2012	FHR bei der ILA Berlin	Bonner Rundschau
30.06.2012	Auf der Jagd nach Weltraumschrott	Bonner Rundschau
12.07.2012	Steuerung für Warnleuchten an Windenergieanlagen erhöht Akzeptanz	windkraftkonstruktion.de
14.07.2012	Nur der Verkehr trübt die dörfliche Idylle	General-Anzeiger
22.07.2012	Windräder bekommen Passiv-Radar	heiser.de
24.07.2012	Warnlicht nur bei Bedarf	Darmstädter Echo
09.08.2012	Wohnen in der Zukunft - Planet Wissen Extra: Technik	WDR Köln
30.08.2012	Hier ist die Zukunft schon Gegenwart	Bonner Rundschau
01.09.2012	Spezialsteuerung für Warnlichter erhöht Akzeptanz	Konstruktionspraxis
10.09.2012	Kosmoskamioen in crisis	Kijk 10-2012
10.09.2012	Kaum Platz für Windenergie	General-Anzeiger
17.09.2012	Wenig Chancen für Windkraft	Bonner Rundschau
17.09.2012	Besuch bei Fraunhofer	Bonner Rundschau
08.10.2012	Envisat puts ESA in unenviable position	Aviation
16.10.2012	Spain installs radar to detect hazardous space debris	The Engineer
16.10.2012	ESA: New test radar for satellite operator safety	satnews
16.10.2012	ESA deploys first orbital debris test radar in Spain	defense-aerospace.com
18.10.2012	ESA space surveillance initiative hinges on november summit	Aviation
31.10.2012	Fraunhofer kommt an Hochschule	Rhein Zeitung
16.11.2012	Installation à Madrid d'un nouveau radar de détection des déchets spatiaux par l'ESA	bulletins-electroniques.com
17.11.2012	Die Gefahr irrt durch das Weltall	Kölnische Rundschau
17.11.2012	Gefahr aus dem Weltall	Kölner Stadtanzeiger
24.11.2012	Technologie mit Durchblick	Westfälische Rundschau
29.12.2012	Auf dem Weg zum Ahr-Delta	Rhein-Zeitung



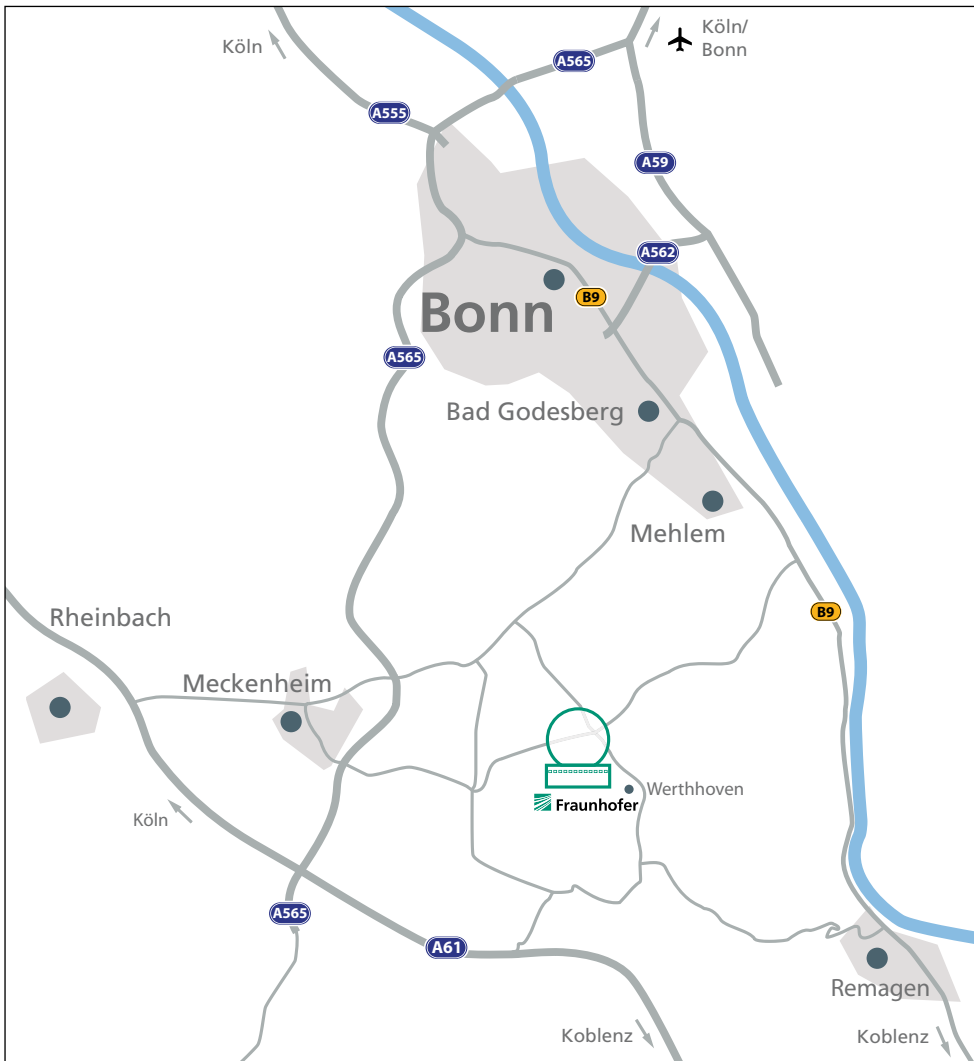


ANFAHRT



# ANFAHRT

Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR befindet sich im Süden von Nordrhein-Westfalen, auf der Höhe des Wachtbergs nahe Bonn-Bad Godesberg.



## Hausanschrift:

Fraunhofer FHR  
Fraunhoferstr.20  
53343 Wachtberg

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

GPS-Koordinaten:  
50°37.050' N  
07°07.917' E

## Anreise mit dem Auto

über die Autobahn A565 zur Ausfahrt 11 „Meckenheim-Merl“, danach der Beschilderung folgen, für andere Routen siehe Karte.

## Anreise mit der Bahn

bis Remagen, Bad Godesberg oder Bonn Hbf., dann Taxi (ca. 10 km, 11 km bzw. 25 km) oder Bus (siehe rechts).

## Anreise mit dem Flugzeug

bis Flughafen Köln/Bonn, anschließend mit Shuttle-Bus nach Bonn Hbf. und dann mit Bahn oder Taxi (ca. 25 km) oder mit Taxi direkt vom Flughafen (ca. 50 km).

## Anreise mit dem Bus ab Bad Godesberg

Linien 856, 857 von Bad Godesberg (Bahnhof) bis Berkum ZOB, Busse verkehren in der Regel stündlich.

# IMPRESSUM

## Herausgeber

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

Tel.: +49 (0)228 9435-227  
Fax: +49 (0)228 9435-627  
info@fhr.fraunhofer.de  
www.fhr.fraunhofer.de

## Bilder

© Fraunhofer FHR, außer:  
S. 3: © Uwe Bellhäuser  
S. 10,11 außer Bongartz: © Uwe Bellhäuser  
S. 16, 17: © Timo Jaeschke/Ruhr-Universität Bochum  
S. 18, 20, 22: © ESA  
S. 28: © Walter Rademacher/Wikipedia  
S. 32: © CSA  
S. 35 Abbildung 1: © DLR  
S. 36: © Bundeswehr/Mediendatenbank  
S. 39 Abbildung 2: © WTD 81  
S. 40: © Shutterstock  
S. 42: © Hübner GmbH  
S. 43 Abbildung 1: © Hübner GmbH  
S. 43 Abbildung 2: © Uwe Bellhäuser  
S. 48: © Uwe Bellhäuser  
S. 50: © Shutterstock  
S. 54: © Uwe Bellhäuser  
S. 56: © Uwe Bellhäuser  
S. 58: © Shutterstock  
S. 62: © Uwe Bellhäuser  
S. 64: © Uwe Bellhäuser  
S. 65 Abbildung 1: © Uwe Bellhäuser  
S. 106, 107: © Uwe Bellhäuser

Alle Rechte vorbehalten.

Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der  
Redaktion.

Wachtberg, Mai 2013

## Redaktion

Dipl.-Volksw. Jens Fiege (Leitung)  
B.Sc. Hanne Bendel  
Prof. Dr.-Ing. Joachim Ender  
Annekathrin Saalmann

## Layout und Satz

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

## Social Media



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



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



Google+  
<http://plus.google.com/u/0/b/116751429716317478645/116751429716317478645>











