



Fraunhofer

FHR

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZPHYSIK UND RADARTECHNIK FHR



JAHRESBERICHT
2009

JAHRESBERICHT
2009

SCHLÜSSELTECHNOLOGIE RADAR

Fotoähnliche Luftbilder, hochgenaue Vermessung von Satellitenbahnen, ein Blick unter die Erdoberfläche, Darstellung der Luftlage durch Nutzung von Fernseh- und Radiosendern – dies und vieles anderes mehr bedeutet heute Radar. Aufgrund seiner einzigartigen Fähigkeiten – der Unabhängigkeit vom Wetter und Tageslicht, der großen Reichweite, der hohen Empfindlichkeit gegenüber Entfernungsänderungen und der Erzeugung hoch aufgelöster Bilder – ist Radar zum unentbehrlichen Werkzeug für militärische und zivile Anwendungen geworden.

Unser Institut befasst sich seit 53 Jahren mit der Weiter- und Neuentwicklung von Radarverfahren und schreibt damit die Geschichte des Radars seit mehr als der Hälfte der Zeitspanne seit seiner Patentierung im Jahre 1904 durch Christian Hülsmeier mit.

Auch nach seiner Eingliederung in die Fraunhofer-Gesellschaft am 18. August 2009 verfolgt das FHR als Hauptziel die angewandte Forschung im Bereich der Hochfrequenzphysik und Radartechnik zur Fähigkeitssteigerung der Verteidigungssysteme von Deutschland und den Nationen in Europa und der NATO. Damit kommt dem Institut eine wichtige Rolle im Umfeld des Bundesministeriums für Verteidigung, der wehrtechnischen Industrie und des militärischen Nutzers zu, so dass wir aus einem reichen Kenntnisschatz schöpfen und unsere Expertise dem BMVg zur Verfügung stellen können. Durch die Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft und ihren Verbund Verteidigungs- und Sicherheitsforschung wird zudem das Zusammenwirken der wehrtechnischen Forschung weiter gestärkt. Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der grundfinanzierten Förderung durch das BMVg ist die Möglichkeit, langfristige Themen kontinuierlich und in der Tiefe zu bearbeiten, um so nachhaltig eine hohe wissenschaftliche Qualität garantieren zu können.

Jetzt, da wir in der Fraunhofer-Gesellschaft eine neue Heimat gefunden haben, gehen wir eine Aufgabe an, die bisher nur am Rande unseres Blickfeldes war: Der Aufbau eines Vertragsforschungsbereiches mit vorwiegend zivilen Anwendungen wird uns ein zweites Standbein verschaffen und verspricht große Chancen für die Zukunft. Die Bedeutung der Hochfrequenztechnik wächst rasant auch bei zivilen Anwendungen, „*wireless*“ wird – in noch höherem Maße als heute – die Zukunft sein und damit werden Hochfrequenzsysteme zunehmend weite gesellschaftliche Bereiche durchdringen; dazu gehören auch Sensoren, die auf der Reflexion elektromagnetischer Wellen bei Gigahertz-Frequenzen beruhen – dem Kerngeschäft unseres Instituts. Das FHR hat in seiner kurzen Geschichte als Fraunhofer – Institut bereits viele Anwendungsmöglichkeiten identifiziert und neue Ideen entwickelt sowie Partner und Förderer gefunden.

Eine wesentliche Komponente unserer Arbeit ist es, frühzeitig technologische Tendenzen zu erkennen und auf ihre Anwendungspotenziale hin zu untersuchen, bisweilen auch international



Richtungen zu setzen. Das FHR greift deshalb Zukunftsthemen auf und richtet seine Forschung danach aus. Zu erwähnen sind hier im Institut festgelegte strategische Technologielinien wie das MIMO-Radar und das *Lowcost Phased Array Frontend* auf SiGe-Basis, sowie die Beiträge zu einem zukünftigen Weltraumlage-System und eine abteilungsübergreifende Initiative zu neuen Methoden bei der Erkennung improvisierter Sprengstofffallen aus der Luft.

Zusammen mit dem Schwesterinstitut FKIE bilden wir nun auf dem Wachtberger Gelände ein Fraunhofer-Institutszentrum. Die Arbeitsgebiete der beiden Institute ergänzen sich in idealer Weise: Die gesamte Kette vom Sensor (FHR) über die Informationsverarbeitung und Darstellung für den Nutzer (FKIE) ist geschlossen. Die daraus gewonnenen Synergien manifestieren sich in interessanten gemeinsamen Projekten, wie z. B. dem EU-geförderten Projekt ATOM (*Airport detection and Tracking Of dangerous Materials by passive and active sensor arrays*) zur Verbesserung der Sicherheit auf den Flughäfen.

Unter den geänderten Bedingungen öffnen wir uns auch den Belangen des Bundeslandes NRW und der Wissenschaftsregion Bonn; wir streben hier eine intensive regionale Vernetzung an. Die Kontakte gerade in den letzten Monaten haben gezeigt, dass Nordrhein-Westfalen uns als neuen ‚High-Tech-Standort NRW‘ wahrnimmt und schätzt.

Der gesellschaftlichen Verpflichtung, gewonnene Erkenntnisse der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, kommt das FHR durch Publikationstätigkeit, Vorlesungen an den benachbarten Universitäten und Fachhochschulen, Messeauftritte, Institutsvorstellungen auch für Presse und Nichtwissenschaftler sowie durch Teilnahme an publikumswirksamen Veranstaltungen nach. Ein schöner Erfolg war die Durchführung der *1st Summerschool for Radar and SAR* im Juli 2009 mit 30 jungen Teilnehmern aus 8 verschiedenen Nationen.

Wir blicken gespannt auf das Jahr 2010, in dem wir unsere erste Bewährungsprobe im Fraunhofer-Umfeld bestehen wollen!

Mein Dank gilt dem BMVg sowie dem Vorstand und der Zentralverwaltung der FhG für die unternommenen Anstrengungen beim Eingliederungsprozess, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des FHR, die an der wissenschaftlichen Weiterentwicklung, aber auch an der neuen Ausrichtung des Institutes mitgewirkt haben, insbesondere auch den Damen und Herren der neuen FHR-Verwaltung für ihr Engagement und ihre Bereitschaft, neue Wege zu gehen, dem Betriebsrat des FHR und der ehemaligen FGAN für ihre konstruktiven Beiträge vornehmlich in der letzten Phase des Eingliederungsprozesses sowie dem Team, das erstmals einen Jahresbericht in der bei der Fraunhofer-Gesellschaft üblichen Art und Weise erstellt hat.

Joachim Ender, Mai 2010

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 Schlüsseltechnologie Radar
- 4 Inhaltsverzeichnis
- 6 FHR im Profil
- 10 Ansprechpartner im FHR
- 12 Das Kuratorium

14 RADAR ZUR WELTRAUMBEOBACHTUNG

- 16 Weltraumschrott im Visier: Beampark-Experimente mit dem TIRA-System
- 18 Bessere Sicherheitsvorsorge in Europa: Sensor- und Kompetenzzentren für SSA
- 20 Separation von Weltraumobjekten auf nahezu gleichen Bahnen

22 BODEN- UND LUFTRAUMAUFKLÄRUNG

- 24 Höchstaflösende SAR-Interferometrie für die Überwachung urbaner Areale
- 26 Passives Radar zur Luftraumüberwachung und Grenzsicherung
- 28 SUMATRA – Ein Millimeterwellen-SAR für den Drohnen-Einsatz

30 SICHERHEIT UND SCHUTZ

- 32 Radiometer zur Überwachung von Bränden bei eingeschränkter Sicht
- 34 Entwicklung innovativer Sicherheitssysteme zur Personenkontrolle
- 36 Einsatz eines ultrabreitbandigen Radarsystems zur Minensuche
- 38 Detektion von Projektilen durch Radar zur Schützenlokalisierung

**40 HOCHFREQUENZSYSTEME FÜR
INDUSTRIE UND LANDWIRTSCHAFT**

- 42 Unsichtbares sichtbar machen – Die Phase macht den Unterschied

44 VERKEHR, UMWELT UND GESUNDHEIT

- 46 Sensorgestützte Landehilfe für Hubschrauber
- 48 Blick nach vorn: Bistatisches Radar zur Abbildung in Voraussicht
- 50 Signaturuntersuchungen an Hochspannungsleitungen

**52 ANTENNEN UND ELEKTROMAGNETISCHE
MODELLIERUNG**

- 54 Analyse des Streufelds komplexer Objekte
- 56 Elektronisch gesteuerte Antennen für Breitband-Kommunikation
- 58 Entwurf und Modellierung von Antennen auf fliegenden Plattformen

60 ÜBERGREIFENDE ARBEITEN

- 60 Kampf gegen die Datenflut bei Radar: Compressive Sensing
- 62 MARSIG – Entwicklung eines Radars für Schiffssignaturmessungen

64 AUS DEM INSTITUT

68 FRAUNHOFER-VERBÜNDE

- 68 Verbund Mikroelektronik
- 69 Verbund Verteidigungs- und Sicherheitsforschung

70 FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

72 ANHANG

- 72 Ausbildung und Lehre
- 76 Veröffentlichungen
- 84 Gremientätigkeiten
- 85 Auszeichnungen, Patente
- 86 Veranstaltungen

88 ANFAHRT

90 IMPRESSUM

ÜBERBLICK



FHR IM PROFIL

Als eines der größten Radarforschungsinstitute in Europa besitzt das 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 Kompetenz – sichtbar an instituteigenen hochkomplexen Experimentalsystemen – 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 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; genannt seien stellvertretend die Weltraumbeobachtung mit Radar, die Multifunktionsradare mit phasengesteuerten Gruppenantennen, adaptive Störunterdrückung, Millimeterwellentechnik, höchstauflösende Radar-Bildgebung, Bewegtzilerkennung mit Raum-Zeit-Filterung und Passiv-Radar.

Die Kompetenzen des Instituts erlauben unter den neuen Rahmenbedingungen der Fraunhofer-Gesellschaft nun zunehmend eine Betätigung auf dem zivilen Markt. Neue Geschäftsfelder, wie Sicherheitstechnik, Verkehr, Umwelt, Industrie und Gesundheit, bieten sich in vielen Bereichen der Gesellschaft an.

Luftbild des Institutszentrums in Wachtberg mit Blick in Richtung Siebengebirge.

Es war immer die Philosophie des Instituts, neue Verfahren nicht nur am Schreibtisch zu analysieren, sondern Experimentalsysteme zur Demonstration aufzubauen. Nur so lassen sich versteckte Probleme aufspüren und beheben. Nur so kann ein realitätsnahes „Gefühl“ für die Wirkungsweise und den „Teufel im Detail“ entstehen. Mit aufwändigen Messreihen und -kampagnen wird wertvolles Datenmaterial gewonnen, das bei der Auswertung zu neuen Erkenntnissen verhilft.

Ausstattung und Hochschul-Kooperationen

Die wichtigsten Kernkompetenzen des 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 Weltraumbeobachtungs-Radars 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 den letzten Jahren wurde intensiv die Kooperation mit Universitäten und Hochschulen ausgebaut. Kooperationsverträge bestehen mit der RWTH Aachen, dem Zentrum für Sensorsysteme ZEISS der Universität Siegen, den Universitäten Stuttgart und Lübeck sowie mit den Fachhochschulen Koblenz – Rhein-Ahr-Campus Remagen und Bielefeld. An den Universitäten und Hochschulen der Umgebung halten Mitarbeiter des FHR Vorlesungen, Diplomanden und Doktoranden werden am Institut ausgebildet.

Arbeitsschwerpunkte

Im Geschäftsfeld **Radar zur Weltraumbeobachtung** werden die spezifischen Fragestellungen und Anforderungen an Radarsysteme und -verfahren zur Beobachtung von Objekten im erdnahen Weltraum und in der Atmosphäre untersucht. Hauptziel ist es, die Kenntnis über einzelne Satelliten und die Situation im Weltraum zu vertiefen, Risiken zu analysieren, Missionen zu begleiten oder Radarsignaturen zu gewinnen.

Das Geschäftsfeld **Boden- und Luftraumaufklärung** unterstützt die militärische Fähigkeitskategorie „Nachrichtengewinnung und Aufklärung“. Im Vordergrund stehen zum einen innovative Radarsysteme zur Luftraumüberwachung, wie Passiv-Radar oder vernetzte Radarsysteme, zum anderen die luft- und raumgestützte Radaraufklärung der Bodenszene mit höchstauflösender Radarbildgebung und Erkennung bewegter Fahrzeuge.

Im Geschäftsfeld **Sicherheit und Schutz** werden intelligente Radarsysteme erforscht, die sowohl im militärischen als auch im zivilen Kontext die Sicherheit erhöhen. Systeme zur Zugangskontrolle können sowohl zum Schutz militärischer Stützpunkte als auch zur Überprüfung von Passagieren am Flughafen genutzt werden. Ziel ist die Entwicklung kompakter aktiver und passiver Sicherheitssensoren mit höherer Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig sinkenden Kosten.

Im Geschäftsfeld **Hochfrequenzsysteme für Industrie und Landwirtschaft** werden innovative Systeme entwickelt, die die besonderen Eigenschaften von Radar für industrielle Anwendungen ausnutzen. Dazu gehören die Fähigkeiten zur Durchdringung von Nichtleitern und zur hochauflösenden Bildgebung.

Im Geschäftsfeld **Verkehr, Umwelt und Gesundheit** steht die Erforschung von Hochfrequenzsystemen im Mittelpunkt, die in diesen Bereichen neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen, vorhandene Sensoren ergänzen oder sie ersetzen können. Dazu gehören Low-cost Phased-Arrays für zukünftigen Einsatz auf Schiffen, Luftfahrzeugen und Landfahrzeugen, MIMO-Radare für die Überwachung instabiler Gebäude oder Berghänge und Terahertz-Systeme für neue ergänzende Diagnostikverfahren.

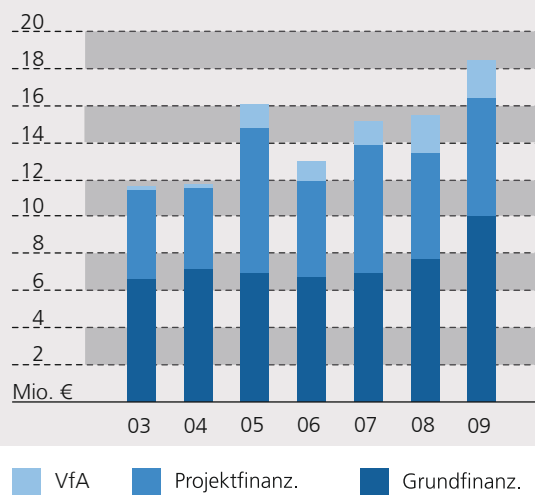
Im Geschäftsfeld **Antennen und elektromagnetische Modellierung** stehen Technologien zum Aufbau moderner Antennensysteme für Anwendungen in den Bereichen Radar, Kommunikation und Navigation im Mittelpunkt. Selbstentwickelte leistungsfähige numerische Verfahren zur Berechnung elektromagnetischer Felder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

Personal- und Budget-Entwicklung

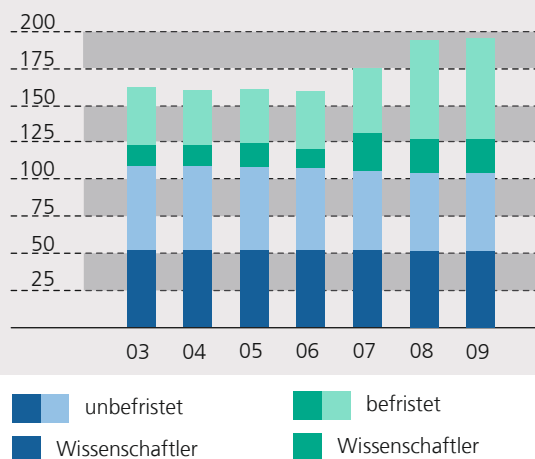
Schon seit einigen Jahren verzeichnet das FHR einen aufwärts gerichteten Trend der jährlichen Erträge. Das Budget des FHR rekrutiert sich aus drei Quellen: Der Grundfinanzierung durch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), der Projektfinanzierung aus Mitteln des Verteidigungshaushaltes und der Vertragsforschung (Industrieraufträge und Förderungen außerhalb des BMVg). Im Jahr 2009 betrug die institutionelle Förderung durch das BMVg rund 10,1 Millionen Euro, der Projektfinanzierungsanteil BMVg 6,3 Millionen Euro und der Vertragsforschungsanteil 1,9 Millionen Euro. Der (scheinbare) Anstieg der Grundfinanzierung wurde durch die anteilige Eingliederung der ehemaligen zentralen Dienste der FGAN in die Institute verursacht. Das Gesamtbudget lag damit in 2009 bei 18,4 Millionen Euro.

Auch die Mitarbeiterentwicklung wurde durch die Eingliederungspläne positiv beeinflusst. Schon in den letzten Jahren konnten einige Drittmittelaufträge akquiriert und neue Mitarbeiter eingestellt werden. So stieg die Anzahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in 2009 auf 195 Personen; die dazu gewonnenen Kräfte aus den ehemaligen zentralen Diensten der FGAN noch nicht mitgerechnet. Während die Anzahl der unbefristet Beschäftigten bei 104 (davon 51 Wissenschaftler) stagnierte, stieg der Anteil der befristet Beschäftigten auf 91 (davon 23 Wissenschaftler, ansonsten hauptsächlich Studenten und Diplomanden).

Budgetentwicklung 2003-2009



Mitarbeiterentwicklung 2003-2009



ANSPRECHPARTNER IM FHR

Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing. Joachim Ender
Tel. 0228 9435-227
joachim.ender@fhr.fraunhofer.de



Antennentechnologie und elektromagn. Modellierung (AEM)

Dr.-Ing. Peter Knott
Tel. 0228 9435-560
peter.knott@fhr.fraunhofer.de



Array-gestützte Radarbildung (ARB)

Dr.-Ing. Andreas Brenner
Tel. 0228 9435-318
andreas.brenner@fhr.fraunhofer.de



Millimeterwellenradar und Höchsthfrequenzsensoren (MHS)

Dr. rer. nat. Helmut Essen
Tel. 0228 9435-208
helmut.essen@fhr.fraunhofer.de

Elektromagnetische Modellierung

Antennen und Front-End-Technologie

Multifunktionale HF-Sensorik

Sensornahe Digitaltechnologie

Mehrkanalige Signalprozessierung

Adaptive Array-Signalverarbeitung

MIMO-Radar und Multistatik

Bildgebende Radar-Verfahren

Millimeterwellen-Radar

Radiometrie

Signaturen

Millimeterwellen- und Terahertzsensoren

Sensorsysteme für Sicherheitsanwendungen

Physik der Atmosphäre

Algorithmik



**Passive Sensoren und
Klassifizierung (PSK)**

Dr.-Ing. Joachim Schiller
Tel. 0228 9435-557
joachim.schiller@fhr.fraunhofer.de

Passive Sensorik und elektronische
Gegenmaßnahmen

Passiver Sensorverbund

Nicht-kooperative Identifizierung

UWB-Radar



**Radar zur Weltraumbeobach-
tung (RWB)**

Dr.-Ing. Ludger Leushacke
Tel. 0228 9435-256
ludger.leushacke@fhr.fraunhofer.de

Verfahren zur Weltraum-
beobachtung

TIRA – Radartechnik, Weiterent-
wicklung und Betrieb

TIRA – Antennensystem und
Infrastruktur



Verwaltung

Jürgen Neitzel
Tel. 0228 9435-240
juergen.neitzel@fhr.fraunhofer.de

Finanzen

Personal

Technik

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. Ralph Speck

EADS Deutschland GmbH

Friedrichshafen

Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling

RWTH Aachen

Aachen

Prof. Dr.-Ing. Lorenz-Peter Schmidt

Universität Erlangen-Nürnberg

Erlangen

Dr. Gerhard Kahl

EADS Deutschland GmbH

Unterschleißheim

Prof. Dr.-Ing. Klaus Solbach

Universität Duisburg-Essen

Duisburg

Dr.-Ing. Heiner Klinkrad

ESA / ESOC

Darmstadt

Dr.-Ing. Walter Stammler

LFK-Lenkflugkörpersysteme GmbH

Unterschleißheim

Prof. Dr.-Ing. habil. Otmar Loffeld

Universität Siegen

Siegen

LBDirektor Norbert Michael Weber

Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)

Bonn

Dipl.-Ing. Gunnar W. R. Pappert

Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG

Überlingen

Teilnehmer der konstituierenden Kuratoriumssitzung am 27.11.2009 auf dem Institutsgelände in Wachtberg: v.l.n.r. Dr. Klinkrad, Herr Weber, Dr. Gossner (Vorstand Fraunhofer), Prof. Rohling, Dr. Leushacke (FHR), Prof. Heberling, Dr. Beate Rauscher (Institutsbetreuerin Fraunhofer Zentrale), Prof. Schmidt, Prof. Ender (FHR), Prof. Loffeld, Herr Speck, Herr Neppig (WTD 81), Dr. Essen (FHR), Dr. Knott (FHR), Dr. Stammler, Dr. Kahl.

GESCHÄFTSFELD



RADAR ZUR WELTRAUMBEOBACHTUNG

Die seit den 50er Jahren nahezu stetig gestiegene militärische und zivile Nutzung des Weltraums hat neben den damit verbundenen Vorteilen auch zu einer erheblichen Abhängigkeit von raumgestützten Systemen, insbesondere in den Bereichen Navigation, Erdbeobachtung und Kommunikation, geführt.

Ein Bewusstsein für die weitreichenden Konsequenzen beim Ausfall dieser Systeme hat sich erst in jüngerer Zeit entwickelt und zunächst auf europäischer Ebene zu ersten konkreten Schritten zur Entwicklung eines *European Space Situational Awareness System* (ESSAS) geführt. Aufgabe eines solchen Systems ist es, u. a. die aktuelle Gefährdungslage für eigene Objekte im Weltraum festzustellen und im Falle einer konkreten Gefahr, alle notwendigen Informationen bereitzustellen, um einen möglichen Schaden abwenden zu können.

Mit der in Deutschland erst Ende 2006 durch die Bundeswehr begonnenen strategischen Nutzung des Weltraums mit satellitengestützter Bodenaufklärung (SAR-Lupe) und Kommunikation (SatcomBw) entstand auch der Bedarf an einem nationalen Weltraumlagesystem (WRLS) im Rahmen der gesamtstaatlichen Sicherheitsvorsorge. Als eine grundlegende Fähigkeitsforderung an ein WRLS wurde hier die „Feststellung des Bedrohungszustands eigener Kräfte im Weltraum“ formuliert. Hintergrund dieser Forderung ist es, auf der Basis des Lagebewusstseins z. B. Maßnahmen zur Unterstützung eigener Operationen ableiten zu können. Auch kann eine nicht oder nicht unmittelbar auf eigene Kräfte wirkende Bedrohung im Weltraum zu einem veränderten Lagebild führen.

Dem Radarsensor kommt im Gesamtkomplex Weltraumlage eine besondere Bedeutung zu. Es gilt mittlerweile als gesicherte Erkenntnis, dass einige Teilbereiche praktisch nur durch Radar sinnvoll abgedeckt werden können: So erfordert die kontinuierliche Überwachung des Bereiches niedriger Erdumlaufbahnen ein (oder mehrere) bodengestützte *Phased-Array-Hochleistungsradar(e)*. Das Überwachungssystem muss zur Gewinnung der in vielen Fällen (z. B. bei drohenden Kollisionen oder Satellitenabstürzen) notwendigen hochpräzisen Bahninformation durch eine ausreichende Anzahl von *Full-*

Pass-Tracking-Radaren ergänzt werden. Schließlich kann auch die hochaufgelöste, zielabbildende Aufklärung kosteneffektiv nur mit bildgebendem Radar erfolgen.

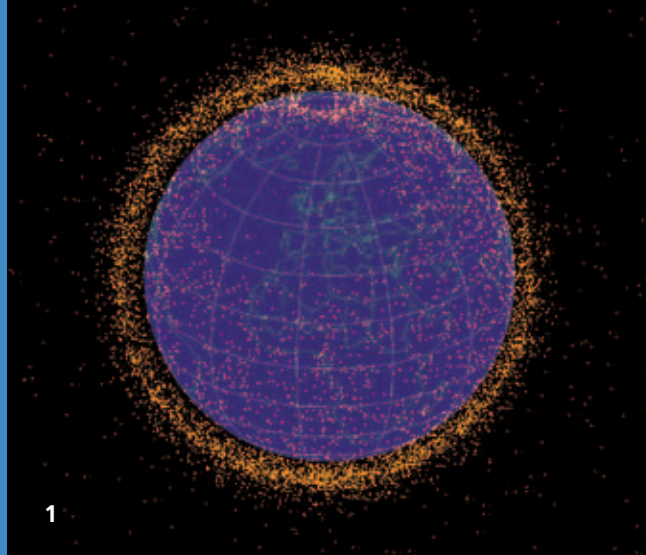
Aktuelle Untersuchungen belegen zwar einerseits, dass gewisse Grundfähigkeiten mit den national und in Europa derzeit verfügbaren Einrichtungen bereits vorhanden sind, dass aber andererseits für voll funktionsfähige, auch künftigen Anforderungen genügende Weltraumlagesysteme neuartige Verfahren, Technologien und Systemkonzepte untersucht und entwickelt werden müssen. Besondere Herausforderungen bezüglich der Radarsensorik stellen dabei u. a. dar:

- Höchstleistungsradar zur Reichweitensteigerung bei gleichzeitiger Multifunktionalität (Detektion, Verfolgung, Imaging)
- Dreidimensionale Zielabbildung in Echtzeit mit sehr hohen Auflösungen (im Bereich ein bis drei Zentimeter)
- Verfahren zur hochpräzisen, autonomen Bahnverfolgung und -bestimmung.

Im Geschäftsfeld Radar zur Weltraumbeobachtung werden deshalb die spezifischen Fragestellungen und Anforderungen an Radarsysteme und -verfahren zur Zielverfolgung und hochauflösenden Zielabbildung von Objekten im erdnahen Weltraum und in der Atmosphäre untersucht. Die in Europa einzigartige Großradaranlage TIRA (*Tracking and Imaging Radar*) wird dabei primär als Experimentalträger zur Unterstützung und Verifikation der Verfahrensentwicklung eingesetzt und stetig weiterentwickelt. Darüber hinaus werden unter quasi-operationellem Einsatz des TIRA-Systems und der langjährigen Expertise Aufträge von militärischen und zivilen Auftraggebern insbesondere zu den Themenbereichen Weltraumlageerfassung und -systemkonzepte, Space Debris, Kollisionsvermeidung, Raumfahrtsicherheit, Missionsanalyse und -unterstützung sowie zum Satellitenwiedereintritt bearbeitet.

Weltraumschrott ist nicht nur eine Gefahr für Satelliten und die internationale Raumstation, auch die Astronauten sind gefährdet.

*Dr.-Ing. Ludger Leushacke
Tel. +49 228 9435-256
Fax +49 228 9435-656
ludger.leushacke@
fhr.fraunhofer.de*



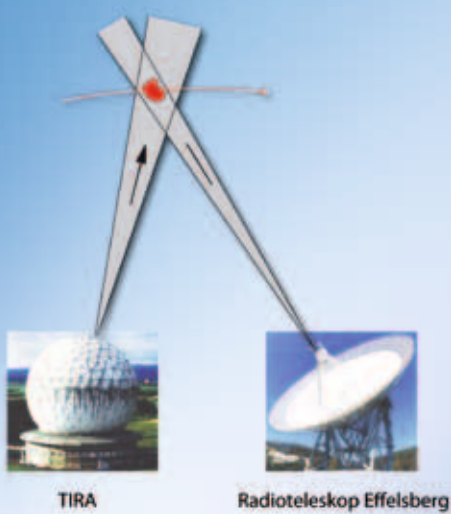
WELTRAUMSCHROTT IM VISIER: BEAMPARK-EXPERIMENTE MIT DEM TIRA-SYSTEM

Die dramatisch gestiegene Menge an Weltraumschrott erfordert die Anwendung statistischer Modelle zur Abschätzung des Kollisionsrisikos. Die bei *Beampark*-Experimenten gewonnenen Stichproben spielen eine wesentliche Rolle bei der zwingend notwendigen regelmäßigen Aktualisierung dieser Modelle.

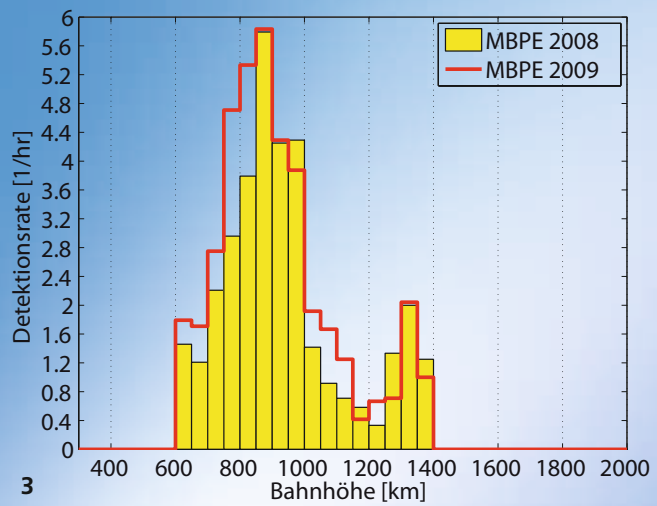
Mit der verstärkten Nutzung des Weltraums wächst auch beständig die Menge der Raumfahrt-rückstände und -trümmer, landläufig auch „Weltraumschrott“ genannt. Darunter versteht man alle Objekte im erdnahen Weltraum, die vom Boden aus nicht mehr kontrollierbar sind oder ihre Aufgaben nicht mehr erfüllen. Hierzu zählen z. B. ausgediente Satelliten, Raketenoberstufen, aber auch kleine Objekte wie Haltebolzen, Treibstoffrückstände oder Trümmerteile von Explosionen. Da sich diese Objekte auf ähnlichen Umlaufbahnen wie die aktiven Satelliten bewegen, steigt mit zunehmender Trümmerdichte die Gefahr von Kollisionen. Insbesondere können bereits wenige Millimeter große Trümmerteile aufgrund ihrer hohen Bahngeschwindigkeiten von ca. 7 Kilometern pro Sekunde bei einer Kollision einen Satelliten beschädigen oder zerstören. Bei einer Anzahl von derzeit ca. 10 Milliarden Objekten größer als 0,1 Millimeter (Abb. 1) müssen zur Abschätzung des Kollisionsrisikos statistische Modelle (z. B. das MASTER-Modell der ESA) herangezogen werden. Die hohe Dynamik im erdnahen Weltraum mit ca. 60-80 Raketenstarts jährlich sowie sporadische Ereignisse mit hohem Trümmeranteil wie Kollisionen oder Explosionen zwingt zu regelmäßigen Messungen der Raumfahrttrümmerpopulation mit leistungsstarken Radarsensoren, um die Modelle angemessen validieren und aktualisieren zu können.

Beampark-Experimente in Kooperation mit dem Radioteleskop Effelsberg

Seit 1994 werden mit TIRA (*Tracking and Imaging Radar*) im Rahmen internationaler Studienaufträge *Beampark*-Experimente zur Feststellung der Trümmerdichte im LEO (*Low Earth Orbit*, Bahnhöhe 200-2000 Kilometer) durchgeführt und ausgewertet. Dabei wird TIRA über 24 Stunden im *Beampark*-Modus betrieben, d.h. die Antenne wird auf eine vorgegebene Blickrichtung fixiert (Abb. 2, linke Hälfte), und das Radar auf einen Entfernungsbereich von 300-2000 Kilometern eingestellt. Bei einer Pulsleistung von ca. 1,3 Megawatt können durch das Beobachtungsvolumen fliegende Objekte ab einer Größe von 2 Zentimetern in 1000 Kilometern



2



3

Entfernung noch detektiert werden. Eine weitere Absenkung dieser Detektionsgrenze wurde durch die Erweiterung der Experiment-Konfiguration um eine hochempfindliche Empfangsstation, dem Radioteleskop Effelsberg, erreicht (bistatische Anordnung, Abb. 2), bei der TIRA weiter als „Beleuchter“ fungiert. Aufgrund der 100-Meter-Empfangsantenne des Radioteleskops und seinem auf unter 17 Kelvin gekühlten Empfänger-Frontend können nun Trümmerteile ab einer Größe von 9 Millimetern in 1000 Kilometern Entfernung detektiert und damit die erreichbare Empfindlichkeit verdoppelt werden. Seit 2006 ist das Frontend des Radioteleskops Effelsberg mit einem Multi-Beam-Empfänger ausgerüstet, bei dem mit 14 Empfangskanälen gleichzeitig die Radarechos durchfliegender Objekte erfasst werden. Dies erlaubt jetzt die Bestimmung der Flugspur des Trümmerteils durch das Antennendiagramm des Empfängers und daraus eine präzisere Schätzung des Radarrückstreuquerschnitts bzw. der Objektgröße.

Verarbeitung und Auswertung der *Multi-Beampark*-Daten

Bei dem im Jahr 2009 durchgeführten *Multi-Beampark*-Experiment (MBPE) wurden innerhalb von 24 Stunden etwa 3 Terabyte Rohdaten aufgezeichnet, aus denen nach einer komplexen Signalverarbeitung 960 Objekte in einem Entfernungsbereich von 600-1400 Kilometern extrahiert und hinsichtlich Größe und Flugbahn klassifiziert werden konnten. Der Weg von Rohdaten zu Objektparametern erfolgt in einem mehrstufigen Prozess: Nach einem klassischen Suchfilter werden ausreichend starke Echos so zusammengefasst, dass sie der Durchflugspur eines potenziellen Objekts zugeordnet werden können. Die vorverarbeiteten Daten durchlaufen dann einen multi-dimensionalen Optimierungsalgorithmus basierend auf dem *Maximum-Likelihood*-Verfahren, um aus den gemessenen Detektionen Größe und Flugbahnparameter des Objekts zu schätzen. In der abschließenden Auswertephase werden die Schätzergebnisse nach unterschiedlichen Kriterien wie z. B. der Detektionsrate in Abhängigkeit von der Bahnhöhe untersucht. In Abb. 3 ist die typische Häufung von Trümmerteilen in einer Bahnhöhe von 600-1100 Kilometern deutlich erkennbar, denn in diesem Bereich liegen auch die Umlaufbahnen der meisten aktiven Satelliten im LEO. Offensichtlich hat die Zahl der Trümmer im Vergleich zum Vorjahr zugenommen, was die bereits erwähnte Notwendigkeit einer regelmäßigen Durchführung von *Beampark*-Experimenten unterstreicht. Angesichts dieser Resultate und der prognostizierten drastischen Zunahme der Raumfahrttrümmerpopulation in den nächsten Jahrzehnten werden die Raumfahrtagenturen auch künftig auf aktuelle (Multi-) *Beampark*-Daten zur Modellvalidierung angewiesen sein.

1 Verteilung der ca. 14.000 katalogisierten Weltraumobjekte bis zu einer Größe von 10 cm in der LEO-Region (Bahnhöhe 200-2000 km). Die Größe der Objekte ist dabei nicht maßstabsgetreu dargestellt.

2 Experiment-Konfiguration mit TIRA als Sender und dem Radioteleskop Effelsberg als Empfänger. Die Entfernung beider Stationen zueinander beträgt ca. 20 km.

3 Häufigkeitsverteilung der detektierten Objekte in Abhängigkeit von der Bahnhöhe für die in den Jahren 2008 und 2009 durchgeführten *Multi-Beampark*-Experimente

Dr.-Ing. Klemens Letsch
 Tel. +49 228 9435-343
 Fax +49 228 9435-656
 klemens.letsch@
 fhr.fraunhofer.de



BESSERE SICHERHEITSVORSORGE IN EUROPA: SENSOR- UND KOMPETENZZENTREN FÜR SSA

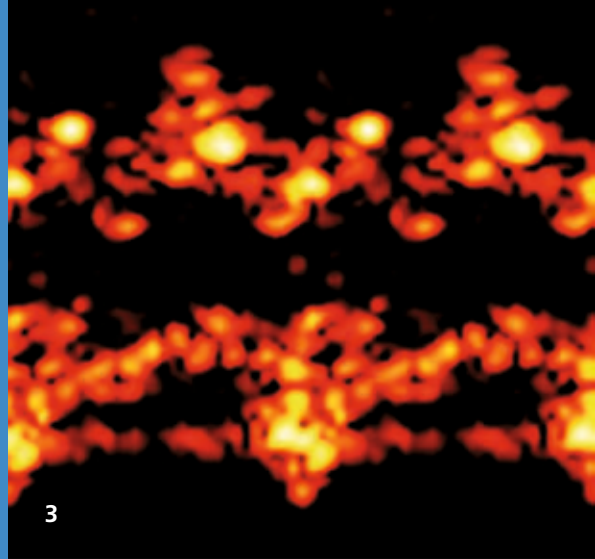
Satelliten mit ihren Diensten sind in unserer modernen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Damit stellen sie kritische Infrastrukturelemente dar, deren ordnungsgemäßen 24/7-Betrieb es zu sichern gilt. Innovative Systemansätze für einen Verbund von Sensor- und Kompetenzzentren leisten hier einen wesentlichen Beitrag auf dem Weg zum Aufbau eines dafür benötigten *Space Situational Awareness (SSA)*-Systems.

Satellitendienste und Sicherheitsvorsorge

Unser Angewiesensein auf Satelliten mit ihren Diensten verlangt ganz offensichtlich danach, diese bei Maßnahmen zur gesamtstaatlichen und supranationalen Sicherheitsvorsorge zu berücksichtigen und deren Verfügbarkeit entsprechend ihrer Wertigkeit für die Gesellschaft adäquat zu sichern. Benötigt wird hierfür zunächst eine Analyse, welche Gefährdungen überhaupt vorliegen, mit welcher Wahrscheinlichkeit jede dieser in Erscheinung treten kann und welches Ausmaß bzw. welche Auswirkungen ein Schadenseintritt dann humanitär, militärisch oder wirtschaftlich hätte.

Kollision eines Satelliten mit Raumfahrtrückständen

Potenzielle Ursachen für einen Ausfall eines Satellitendienstes gibt es viele. Sie reichen von der Störung der Kommunikation durch Weltraumwetter bis hin zum gezielten Abschuss eines Satelliten. Gleichwohl stellt die Kollision mit Raumfahrtrückständen in Friedenszeiten die wahrscheinlichste nicht-natürliche Ursache für einen Schaden an einem bereits operativen Satelliten dar. In einem vom „US Joint Space Operations Center“ des „United States Strategic Command“ gepflegten Katalog sind die Bahndaten von Objekten ab einer Größe von ca. 10 Zentimetern verzeichnet. Seitens der USA werden aber die Daten für ca. 6.600 Objekte aus dem inzwischen 21.000 Objektdatensätze fassenden Katalogs nicht publiziert. Darüber hinaus ist bereits die kinetische Energie von deutlich kleineren, aber nicht katalogisierten Objekten derart hoch, dass diese bei Kollision einen Satelliten zerstören oder zumindest signifikant schädigen würden. Wir kennen also nur einen Bruchteil der gefährlichen Weltraumobjekte. Die Folge: Kollisionswarnungen bleiben aufgrund der unvollständigen Informationslage aus und können fatale Auswirkungen haben.



Risikominimierung durch Lagebewusstsein

Nur nach Vergegenwärtigung der aktuellen Situation, der potenziellen Gefahren und der voraussichtlich zukünftigen Situation wird es gelingen, das mit einem Dienstaussfall eines Satelliten einhergehende Risiko, quantifizierbar als Produkt aus dem Ausmaß eines Ereignisses einschließlich der Kollateralschäden und der Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses, adäquat und nachvollziehbar zu minimieren. Hierzu sind in einem ersten Schritt alle verfügbaren Daten zu erfassen, die in einem direkten oder indirekten Zusammenhang mit dem jeweiligen Satellitendienst stehen. In einem zweiten Schritt entsteht dann durch Fusion und Interpretation der zur Verfügung stehenden Daten Information, die zur Erzeugung eines möglichst vollständigen und identifizierten Lagebildes vorliegen muss. Aber nicht nur die Lagebilderzeugung, sondern auch die Abbildung auf die Zukunft, also die Projektion des aktuellen Zustands auf die wahrscheinlich zukünftige Situation, spielt eine wichtige Rolle bei der Bildung von Lagebewusstsein. Durch diesen dritten Schritt finden unter anderem auch in die Zukunft weisende humanitäre, militärische, politische und wirtschaftliche Planungsprozesse Berücksichtigung.

Verbund von Sensor- und Kompetenzzentren

Im ersten Schritt auf dem Weg zur Bildung von Lagebewusstsein werden Daten von Weltraumobjekten erfasst. Dies geschieht zum einen durch Weltraumüberwachung, zum anderen durch Weltraumaufklärung. Aufgrund komplementärer Leistungsmerkmale ist es sinnvoll, hierfür einen Verbund bestehend aus unterschiedlichen Sensoren (opt. Teleskope, Radar, ...) und diesen zumeist assoziierten Kompetenzzentren zu haben. Insbesondere wurde in [Bartsch, G.: „Erweiterung des Wissens um die Weltraumlage durch Aufklärung mit bodengestütztem Radar“. In: Kompendium „Weltraum 2009“, Studienges. der DWT, Bonn, 2009, S. 87-108] gezeigt, dass durch den Einsatz von Radarsensoren das Wissen um die Weltraumlage signifikant erweitert werden kann.

Konfidente Lagebeurteilung durch eigene Systeme

Nach der am 10.2.2009 erfolgten Satelliten-Kollision zwischen dem russischen „Cosmos 2251“ und dem amerikanischen „Iridium 33“ konnte durch eine zeitnahe Inspektion der Kollisionspartner mit dem TIRA-System am Fraunhofer FHR eine konfidente Beurteilung des Zustands der Satelliten bereits unmittelbar nach der Kollision erfolgen (vgl. Abb. 3).

1 Modellansicht des unbeschädigten „Iridium 33“.

2 TIRA-System und Kompetenzzentrum des Fraunhofer FHR. Zur besseren Veranschaulichung ist das Radom teiltransparent dargestellt.

3 Radarabbildung des „Iridium 33“, aufgenommen kurz nach dessen Kollision mit „Cosmos 2251“. Die Abbildung ist aufgrund der hohen Rotationsrate des „Iridium 33“ nach der Kollision nicht aliasfrei. Gleichwohl ist die Struktur des Hauptkörpers im unteren mittleren Teil der Radarabbildung gut wiederzuerkennen und unterscheidet sich vom unbeschädigten Zustand (vgl. Abb. 1) nur marginal.

Dr.-Ing. Guido Bartsch
Tel. +49 228 9435-268
Fax +49 228 9435-656
guido.bartsch@
fhr.fraunhofer.de



SEPARATION VON WELTRAUMOBJEKTEN AUF NAHEZU GLEICHEN BAHNEN

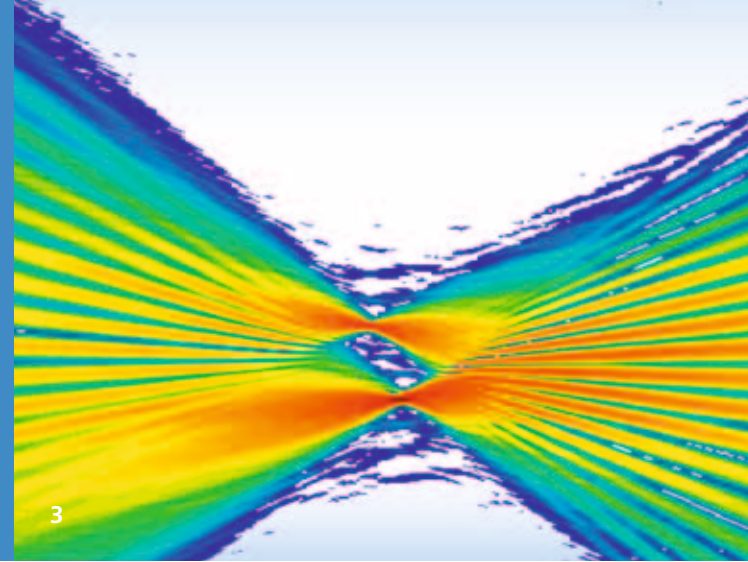
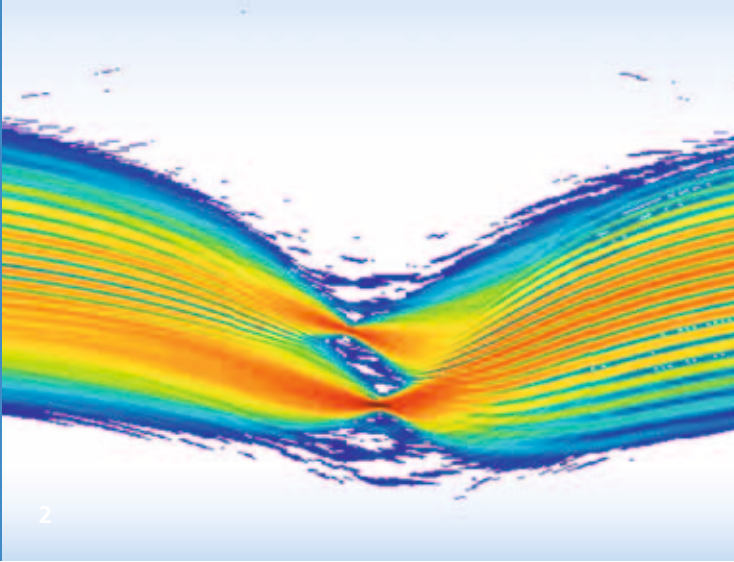
Häufig ist kurz nach dem Start einer Satellitenmission die Separation von Oberstufe und Nutzlast aufgrund der nahezu gleichen Bahnen für einen längeren Zeitraum mit einer sehr schlechten räumlichen Trennung der Objekte verknüpft. Wegen der potenziellen Verwechslungsgefahr in dieser kritischen Phase stellt der Zugriff zur Zielverfolgung nur eines der Objekte ein hohes Risiko dar.

Neuartige Filterbank zur Extraktion der Zielparameter bahngleicher Objekte

Eine in Entwicklung befindliche Chirp-Filterbank dient zur Detektion nichtstationärer Objekte mit schwachen Echosignalen. Wegen der erforderlichen hohen Sendeleistung wird hier das TIRA-Zielverfolgungsradar benutzt, das aufgrund seiner limitierten Bandbreite benachbarte Objekte nicht über die Entfernungsauflösung voneinander unterscheiden kann. Die Energie von Echofolgen wird hierbei durch signalangepasste kohärente Integration auf ein zur Detektion ausreichendes Maß konzentriert. Diese Chirp-Filterbank kann auch zur Extraktion von Zielparametern nichtstationärer Objekte herangezogen werden. Bei gleichzeitiger Anwesenheit mehrerer Objekte in der Antennenkeule lassen sich daher mit Hilfe einer Chirp-Filterbank die Objekte in zufrieden stellendem Maß diskriminieren, schon lange bevor sich schließlich durch die Bahnsituation eine genügende Separation der Objekte ergibt. Nach erfolgreicher Extraktion der Zielparameter wird anschließend mit deren Hilfe die Zielverfolgung des gewünschten Objekts initiiert.

Realisierungsvarianten für die Chirp-Filterbank

Die hier betrachteten Echofolgen können in Intervallen von einigen Sekunden als stückweise lineare Chirp-Signale betrachtet werden. Die Realisierung einer Chirp-Filterbank erfordert eine an diese Signalform angepasste kohärente Pulsserienintegration. Eine Variante der beiden neuartigen Filterbänke verwendet hierfür die fraktionale Fouriertransformation (FrFT), zu deren vollständiger Berechnung fünf Teilschritte notwendig sind: 1. Modulation mit Chirp-Signal, 2. Fouriertransformation, 3. Skalierung der Frequenzvariablen, 4. Modulation mit Chirp-Signal, 5. Multiplikation mit konstantem komplexen Faktor. Durch geeignete Dimensionierung der Filterbänke werden gezielt die Ordnungsparameter bzw. Fraktionen für höchste Energiekon-



zentration im fraktionalen Frequenzbereich gesucht. Diese korrespondieren mit den gesuchten Chirp-Raten des analysierten Echosignals. Die zur FrFT-Variante alternativ entwickelte Filterbank beruht auf einer diskreten Chirp-Transformation. Diese besteht nur aus den beiden ersten Teilschritten der FrFT (Fouriertransformation im Anschluss an Modulation mit Chirp-Signal) und benötigt deswegen weniger Rechenaufwand.

Verifikation für zwei Objekte der Jules Verne ATV Mission

Die Effektivität beider Filterbankvarianten wurde mit Hilfe von Messdaten, die während des Starts der *Jules Verne Automated Transfer Vehicle (ATV) Mission* im März 2008 gewonnen wurden, erfolgreich numerisch überprüft. Kurz nach Separation der Nutzlast ATV von der Raketenoberstufe EPS (*Étage à Propergols Stockables*) befanden sich beide Objekte für einen relativ langen Zeitraum der mit TIRA beobachtbaren Passage gleichzeitig in der Antennenkeule des Zielverfolgungsradars. Obwohl die Situation aufgrund der gleichen Bahnen ungünstig war, bestand die Aufgabe, die Objekte möglichst schnell zu diskriminieren um anschließend die Oberstufe zwecks Bahnbestimmung gezielt zu verfolgen. Die gleichzeitige Beobachtung von ATV und EPS im Durchflugmodus mit dem Zielverfolgungsradar lieferte die zu analysierenden Echosignale. Unter Verwendung von Echofolgen aus jeweils 512 Einzelpulsen wurde die Signalphase zwecks Diskriminierung vor Einspeisung in die Chirp-Filterbänke mit Hilfe der nominalen Bahndaten für EPS kompensiert. Für beide Filterbankvarianten ergaben sich jeweils zwei deutliche Energiekonzentrationen bei unterschiedlichen Chirp-Raten. Die Filterbänke sind somit trotz der geometrischen Komplexität beider Objekte gut für eine rechtzeitige, erfolgreiche Diskriminierung mit Hilfe der leicht zu extrahierenden Chirp-Parameter geeignet.

Selektives Tracking in Mehrfachzielsituationen

Die Übertragung der für den Durchflugmodus getesteten Diskriminierungsverfahren auf den Zielverfolgungsmodus bildet die Basis für ein universelles Werkzeug zum selektiven Tracking in vergleichbaren Situationen, in denen sich Weltraumobjekte aufgrund nahezu gleicher Bahnen gleichzeitig in der Antennenkeule des Zielverfolgungsradars befinden. Hierbei ist z. B. die Diskriminierung einzelner Objekte einer Multi-Payload-Mission oder auch von gefährlichen Objekten wie Raketen oder Sprengkörpern von zusätzlich zur Täuschung ausgesetzten Attrappen im Zielverfolgungsmodus prinzipiell vorstellbar. Die Umsetzung der Verfahren für Echtzeitanwendung während des Messbetriebs stellt eine weitere Herausforderung dar.

Erfolgreiche Anwendung der neuartigen Chirp-Filterbänke auf Messdaten für zwei Objekte (ATV und EPS) der Jules Verne ATV Mission:

- 1 Nutzlast ATV.
- 2 Resultierende fraktionale Spektren in Abhängigkeit von der Chirp-Rate für diskrete FrFT. Die Energie konzentriert sich deutlich bei zwei Chirp-Raten.
- 3 Auch die alternative Filterbank auf Basis einer Chirp-Transformation liefert zwei separate Energiekonzentrationen, benötigt jedoch weniger Rechenaufwand.

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

GESCHÄFTSFELD



BODEN- UND LUFTRAUM- AUFKLÄRUNG

Wie können wir die Fähigkeitskategorie „Nachrichtengewinnung und Aufklärung“ unterstützen? Wir spannen einen Bogen von der Radarbildgebung über bewegte Bodenziele bis hin zur Luftraumüberwachung mittels innovativer Radarsysteme.

Bodenaufklärung mittels Radarabbildung

Zukünftige Aufklärung, von der weltweiten über die weiträumige Aufklärung bis zur Aufklärung im Einsatzgebiet durch Kleindrohnen, wird sich verstärkt der radarbasierten Bildgebung mit Hilfe raum- und luftgestützter 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 (*Phased Array Multifunctional Imaging Radar*) intensiv untersucht. Dieses System liefert Radarbilder hoher Dynamik und mit einer Auflösung unterhalb von zehn Zentimetern; es ermöglicht dreidimensionale Abbildungen urbaner Szenen mit Höhensensitivitäten bis hinunter in den Zentimeterbereich und die Abbildung bewegter Land- und Seefahrzeuge. Als weiterer Schwerpunkt mit der Erschließung neuer interessanter Möglichkeiten ist die Versuchsreihe kooperativ gewonnener Datensätze mit den Sensoren TerraSAR-X und PAMIR zu nennen.

Bewegte Ziele – Entdeckung und Ortung

Die Entdeckung und Ortung bewegter Objekte (*Moving Target Indication*, MTI) am Erdboden, auf See und in der Luft ist eine zentrale Aufgabe der Radaraufklärung. Diese wird jedoch vielfach durch störende Reflexionen von der Erdoberfläche, den so genannten Clutter, erschwert, insbesondere dann, wenn sich das Radargerät an Bord einer fliegenden Plattform oder eines Satelliten befindet. 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.

3D-Radarabbildung der
Innenstadt von Karlsruhe.
Die Höhen sind farblich
kodiert.

Schutzmaßnahmen vor Störsignalen

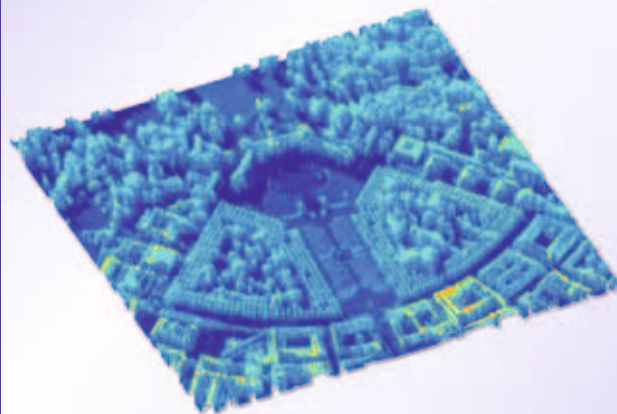
Sowohl die Bodenaufklärung mittels Radarabbildung als auch die Entdeckung und Ortung bewegter Objekte durch Radar können durch Störsignale massiv beeinträchtigt werden. Die Störsignale selbst müssen dabei nicht unbedingt eine gezielte elektronische Gegenmaßnahme sein, sondern können auch von einem anderen Radargerät herrühren. Bei Radarsystemen mit mehreren parallelen Empfangskanälen lassen sich die Störsignale mit Hilfe der adaptiven Diagrammformung (*Adaptive Beamforming*, ABF) effizient unterdrücken.

Luftraumüberwachung mit innovativen Radarsystemen

Als besonders zukunftsweisend gelten hier bi- und multistatische Radar-Konzepte, mit denen sich die Verwundbarkeit von Radarplattformen erheblich verringern lässt. Es werden sowohl bodengestützte Systeme mit kooperativem, abgesetztem Sender oder mit Fremdbeleuchtung durch Fernseh- oder DAB-Sender als auch abbildende luft- und raumgestützte bi- und multistatische Systeme untersucht. Die so gewonnenen Radarsignaturen können z. B. zur nichtkooperativen Identifizierung von Luft- und Bodenzielen genutzt werden, sei es auf der Basis eindimensionaler Entfernungs- oder Dopplerprofile oder zweidimensionaler ISAR-Abbildungen. Darüber hinaus werden im Rahmen der elektronischen Kampfführung mit Radar (EloKa) Erfassungs-, Ortungs- und Klassifizierungssysteme entwickelt, die zur Identifizierung fremder Radargeräte dienen. Die Expertise auf diesem Gebiet ermöglicht zugleich den Entwurf intelligenter Radar-Störverfahren.

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

Dr.-Ing. Joachim Schiller
Tel. +49 228 9435-557
Fax +49 228 9435-627
joachim.schiller@
fhr.fraunhofer.de



1

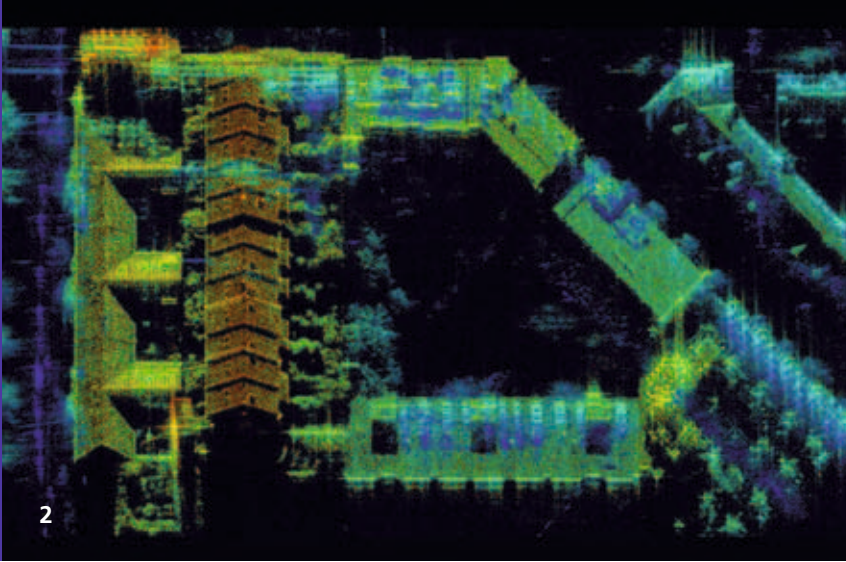
HÖCHSTAUFFLÖSENDE SAR-INTERFEROMETRIE FÜR DIE ÜBERWACHUNG URBANER AREALE

Die Projektion unserer dreidimensionalen Welt in ein zweidimensionales Radarbild hat die Interpretation dieser Bilder – insbesondere in urbanen Arealen – bisher erheblich erschwert. Kann SAR-Interferometrie in einer höchstauflösenden Ausprägung einen Ausweg aufzeigen?

Im Geschäftsfeld *Boden- und Luftraumaufklärung* nimmt die abbildende und höchstauflösende SAR-Sensorik einen wichtigen Platz ein. Geometrische Auflösungen von 10 Zentimetern und darunter sind Zielvorgaben, die zumindest im experimentellen Kontext bereits als erreichbar nachgewiesen worden sind. Neben dem Vorteil einer beträchtlich zunehmenden Informationsfülle, die dann dem Bildauswerter zur Verfügung steht, wirkt sich die Projektion einer dreidimensionalen Welt auf ein zweidimensionales Bild gerade auch im Falle einer radarbasierten Abbildung jedoch genau dann nachteilig aus, wenn im abzubildenden Gebiet starke Höhenvariationen vorhanden sind, wie dies z. B. in urbanen Arealen der Fall ist. Hier kann sich beispielhaft Radarrückstreuung von parkenden Fahrzeugen, Häuserfassaden und -dächern in jeweils einem Bildpixel überlagern (Layover-Effekt), so dass in diesen Bereichen ein Bildverstehen deutlich erschwert ist.

Eine interferometrische SAR-Aufnahme aus mindestens zwei höhen-verschiedenen Blickwinkeln kann zwar keine echt dreidimensionale Bildgebung ersetzen, könnte aber doch dem Bildauswerter wertvolle Zusatzinformation über die Höhenverteilung der abzubildenden Szene zur Verfügung stellen. Um das Potenzial höchstauflösender SAR-Interferometrie zu untersuchen, wurde im FHR das luftgestützte Experimentalsystem PAMIR in mehreren Flugkampagnen mit spezifischen interferometrischen Radar-Experimenten über urbanen Szenen eingesetzt. Dieser mehrkanalige X-Band-Sensor verfügt über eine Bandbreite von 1,8 Gigahertz und eine hochagile, elektronische Strahlschwenkung.

Als ein Resultat dieser Untersuchungen ist auf Seite 22 eine interferometrische Darstellung der Innenstadt von Karlsruhe gezeigt. Zunehmende Höhe ist durch den farblichen Übergang von blau, grün, gelb nach rot repräsentiert, wobei der Betrag des Interferogramms zur lokalen Helligkeitsmodulation herangezogen wird.



Neben der sehr eindrücklichen Wiedergabe der Teilszene des Karlsruher Schlosses sind die urbanen Strukturen gut definiert und unterscheidbar. Straßen, Bäume und weitere Vegetation, Dächer und Gebäude können klar erkannt werden. Eine alternative, quasi-dreidimensionale Repräsentation des Schlosses ist in Abb. 1 dargestellt.

Ein weiterer Ausschnitt des Bildes auf Seite 22 ist in Abb. 2 wiedergegeben. Aufgrund einer architektonischen Besonderheit, nämlich der Errichtung von Reihenhäusern mit Garten oberhalb der Dachebene eines großen Gebäudes, sind hier mehrere verschiedene Höhenbereiche farblich differenziert. Zusammen mit der Helligkeitsmodulation entsteht ein fast dreidimensionaler Eindruck. In einigen Bereichen der Abbildung, hauptsächlich bei Flachdächern, sind starke Layover-Effekte zu erkennen. Dort sind die Dächer homogen mit Kies bedeckt, was das Erkennen des Farbgradienten entlang der Höhenvariation der Fassade stark unterstützt. Dem Grauwertbild einer rein zweidimensionalen SAR-Aufnahme wäre diese Information nicht zu entlocken. Schließlich sei noch erwähnt, dass es in Bereichen, in denen Abschattung oder andere Gebäudebereiche ähnlicher Höhe das Auftreten von Layover verhindert, sogar möglich ist, geneigte Dachstrukturen anhand des Höhengradienten zu identifizieren. Zum Vergleich ist in Abb. 3 ein optisches Luftbild gezeigt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass höchstauflösende SAR-Interferometrie in urbanen Szenen von hoher Relevanz und hohem Potenzial ist. Es konnte gezeigt werden, dass gerade in Layover-Situationen, welche in urbanen Szenen dominant auftreten, der Einsatz höchstauflösender SAR-Interferometrie sehr vorteilhaft ist, da Layover-Bereiche und ungestörte Bereiche sehr gut unterscheidbar sind. Digitale Höhenmodelle in urbanen Szenen werden feingranular und sind eng mit der Substruktur von Gebäuden verbunden. In Kombination mit einer genügend großen Höhenschätzgenauigkeit kann sogar die Neigung von Dächern aufgezeigt werden.

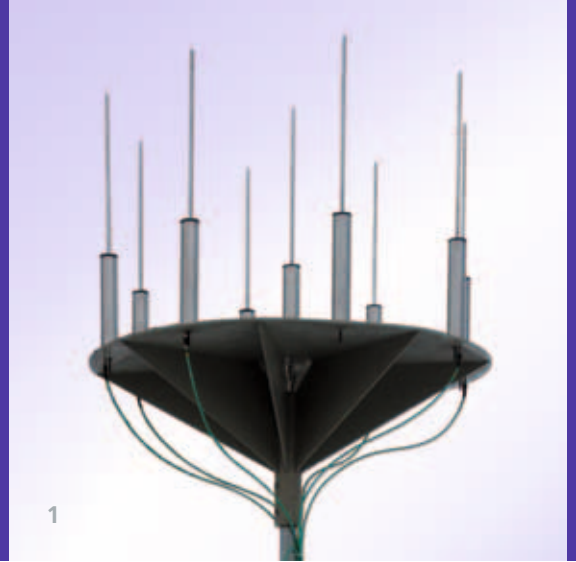
Bildverstehen wird durch höchstauflösende SAR-Interferometrie stark erleichtert und neue Impulse für Anwendungen, wie z. B. *Urban Monitoring*, Schadensfeststellung und deren zeitnahe quantitative Analyse in Katastrophenszenarien werden erwartet. Im Bereich der Computer-unterstützten Bildanalyse, wie z. B. strukturelle Bildanalyse, Gebäudeerkennung und -rekonstruktion oder der Erzeugung urbaner Höhenmodelle sind ebenfalls Innovationen vorgezeichnet.

1 *Dreidimensionale Darstellung einer interferometrischen SAR-Aufnahme eines urbanen Areal.*

2 *Interferometrische SAR-Aufnahme eines größeren Gebäudekomplexes. Die Farbe spiegelt die Objekthöhe wider. Zunehmende Höhe erstreckt sich von blau über grün nach rot. (Ausschnitt der Darstellung auf Seite 22).*

3 *Zu Abb. 2 korrespondierende optische Luftaufnahme.*

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



PASSIVES RADAR ZUR LUFTRAUMÜBERWACHUNG UND GRENZSICHERUNG

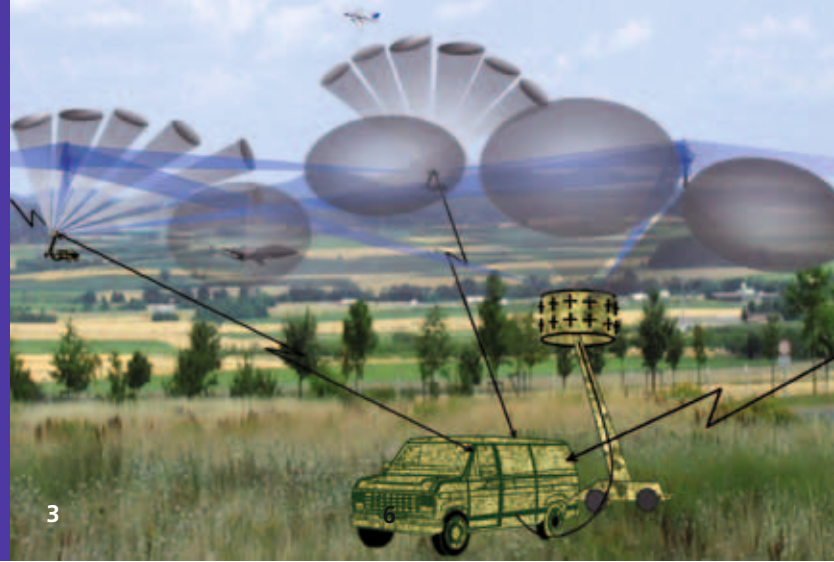
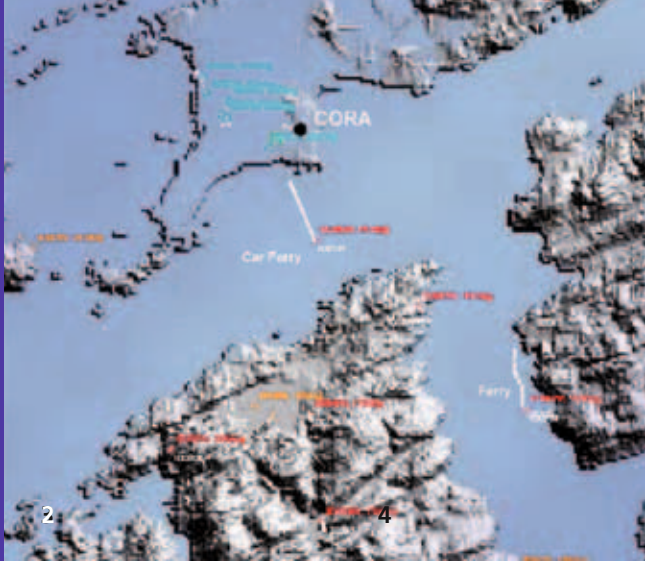
Kann die Luftraumüberwachung nur durch das Aufstellen weiterer aktiver Radare verbessert werden? Passivradarsysteme bieten sich hier als die intelligentere Lösung an.

Die Luftraumüberwachung erfolgt zurzeit durch aktive Primärradare und Sekundärradare, die ein Transpondersignal der kooperierenden Flugzeuge abfragen. Erfassungslücken bestehen gegenüber Flugzeugen, die nicht mit Transpondern ausgerüstet sind oder sich in niedrigen Flughöhen bewegen. Das sind z. B. Sport-, Segel- oder Ultraleichtflugzeuge. Um auch solche Luftfahrzeuge im Rahmen der aktiven Luftraumüberwachung zu erfassen, müsste die Zahl der aktiven Radare erheblich vergrößert werden. Dies ist nicht nur mit erheblichen Kosten verbunden, sondern auch mit einer wachsenden Zahl von Strahlungsquellen, was auf Akzeptanzprobleme stößt.

Passivradar mit Digitalrundfunksignalen

Passivradare, die die Emissionen existierender Sendernetze wie z. B. UKW-Radio, Digitalradio (DAB) oder Digitalfernsehen (DVB-T) nutzen, können hier eine kostengünstige und eigenstrahlungsfreie Alternative bieten. Darüber hinaus lassen sich Passivradare in Ballungsgebieten und zur Grenz- bzw. Küstenüberwachung einsetzen.

Da Passivradare auf eine aufwändige und wartungsintensive Sendeeinrichtung verzichten, ergeben sich Vorteile bezüglich der Instandhaltung, des Platzbedarfs und der Kosten. Die Abmessungen solcher Einrichtungen können sich, abgesehen von den notwendigen Antennensystemen, auf die Größe von Computern beschränken. Der von den Sendernetzen genutzte Frequenzbereich (VHF/UHF) erweist sich als besonders günstig im Hinblick auf die Wellenausbreitungscharakteristik und das Rückstreuverhalten der zu erfassenden Objekte. So können unter bestimmten Voraussetzungen sogar Objekte, zu denen vom Empfänger aus keine direkte Sichtverbindung (line-of-sight) besteht, entdeckt werden.



Die Funktionsweise von Passivradaren

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 Direktsignal. Aus der Auswertung dieser Messgrößen und der Richtung, aus der die Echosignale einfallen, kann auf Ort und Geschwindigkeit des Objekts geschlossen werden. Die Nutzung analoger Rundfunksignale für Passivradar erfordert dabei den Empfang des direkten Referenzsignals vom Sender in möglichst reiner Qualität sowie die Reduzierung der Empfangsleistung des Direktsignals gegenüber dem Zielecho durch geeignete Antennen mit einstellbarer Richtwirkung.

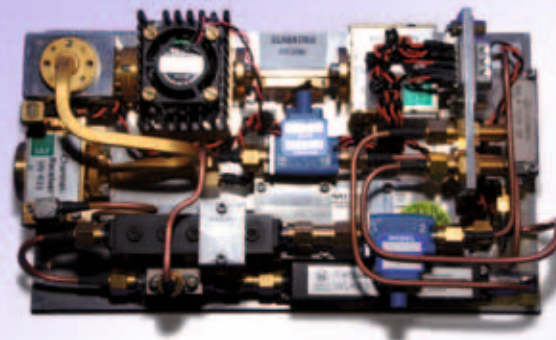
Bei der Nutzung digitaler Rundfunksignale kann das Sendesignal ideal aus der Kenntnis der Signalsynchronisationseigenschaften rekonstruiert werden. Da diese Netze jedoch im Bereich der Bundesrepublik Deutschland als sogenannte Gleichwellennetze betrieben werden (alle Sender des Netzes strahlen zur selben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

Realisierung von Passivradaren

Die Hardwarekomponenten für passive Radare, die digitale Rundfunksignale 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 Mobilfunkmasten integrieren lassen. Dadurch sind flexible Einsatzmöglichkeiten gegeben und vielfältige Anwendungsgebiete denkbar.

- 1 Achtkanalige Kreisgruppenantenne zum Empfang von DAB-Signalen und Zielechos aus dem gesamten 360°-Raum.
- 2 Positions- und Spurdarstellung gemessener Radarechos von Luft- und Wasserfahrzeugen in einem küstennahen Gebiet.
- 3 Passivradar-Szenario mit digitalen und Rundfunkbeleuchtern und verteilten, vernetzten PCR-Empfängern.

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



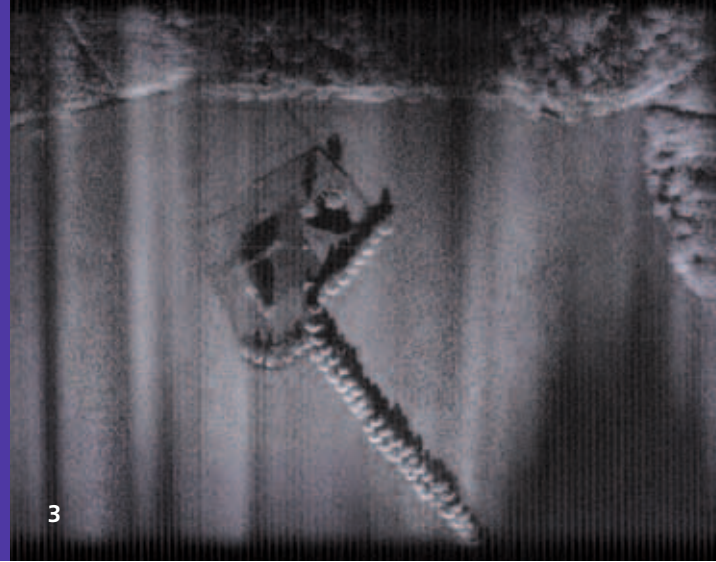
SUMATRA – EIN MILLIMETERWELLEN-SAR FÜR DEN DROHNEN-EINSATZ

In der Vergangenheit wurde der Frequenzbereich um 94 Gigahertz vorwiegend für militärische Anwendungen genutzt, heute arbeiten jedoch auch Millimeterwellen-Systeme in diesem Bereich, die für Sicherheitsanwendungen verwendet werden. Dadurch ist das Interesse an leistungsfähigen, miniaturisierten Radaren erheblich gewachsen.

Wurden in der Vergangenheit zur Leistungserzeugung Gunn- und IMPATT-Dioden verwendet, die in der Regel nur einen schmalbandigen Betrieb ermöglichten und einen hohen Aufwand beim Abgleich kaskadierter Stufen erforderten, stehen heute monolithisch integrierte Verstärkerbausteine zur Verfügung, die sich durch sehr geringes Eigenrauschen und große Bandbreite auszeichnen. Diese ermöglichen den Aufbau sehr leistungsfähiger, miniaturisierter Radare für kurze bis mittlere Reichweite, die wegen ihrer Abmessungen und geringen Anforderungen an die Stromversorgung auch auf kleinen Drohnen eingesetzt werden können. Für eine solche Anwendung sind zusätzlich entsprechende Datenübertragungs- und Inertialsysteme zur Charakterisierung der momentanen Fluglage notwendig.

Miniaturisiertes SAR-System für verschiedene Trägerplattformen

Mit diesem technologischen Hintergrund und den Anforderungen für militärische Aufklärungsaufgaben, aber auch für vielfältige zivile Überwachungsaufgaben, wie im Bereich der Landwirtschaft, des Umweltmonitoring oder der Verkehrslenkung, wurde ein miniaturisiertes Millimeterwellen-SAR-System entwickelt. Es wurde so konzipiert, dass es von Bord eines Modellflugzeuges, eines professionellen ferngesteuerten Kopters oder auch eines Ultraleichtflugzeuges betrieben werden kann. Teil des autarken Systems ist der Datenlink zum Boden und der Realzeit-SAR-Prozessor in der Bedieneinheit. SUMATRA-94 (*Synthetic Aperture Unmanned Millimeterwave Airborne Test Radar 94 Gigahertz*) ist von modularem Aufbau und so konzipiert, dass die beiden Komponenten unabhängig voneinander am Boden getestet werden können. Auch ist keine feste Anbindung an ein bestimmtes Fluggerät notwendig. Herzstück des Systems ist ein frequenzmoduliertes 94-Gigahertz-Dauerstrich-Radar (FMCW-Radar). Die Wahl dieser Wellenform ermöglicht eine relativ hohe mittlere Sendeleistung bei gleichzeitiger Fähigkeit zur Hochauflösung. Diese wird über die Frequenzmodulation, deren Bandbreite



die Entfernungsaufösung bestimmt, erzielt. Bei einer Ausgangsleistung von 100 Milliwatt und einer Signalbandbreite von 1000 Megahertz kann eine Entfernungsaufösung von 15 Zentimetern und eine Messentfernung von ca. einem Kilometer erzielt werden. Die GröÖe des gesamten *Front-Ends* entspricht einer Platine im Euro-Format (100 mm x 160 mm). Datenlink und Wellenformerzeugung haben ebenfalls jeweils die GröÖe einer solchen Leiterplatte. Abb. 1 zeigt die komplette Einheit, die weniger als ein Kilogramm wiegt.

Die Radardaten, die über die Breitband-Datenverbindung vom Flugzeug zur Datenerfassungseinheit gesendet werden, können mit einer realzeitlichen Quick-Look-Funktion als Folge von Entfernungprofilen auf dem Bildschirm dargestellt werden (siehe Abb. 3). Auf diese Weise kann man schnell abschätzen, ob das Zielgebiet erfasst worden ist. Gleichzeitig werden die Daten zusammen mit allen verfügbaren Hilfsdaten aufgezeichnet, so dass sie in einem Off-Line-Prozess einer genauen Analyse unterzogen werden können. Es stehen verschiedene Trägerplattformen zur Verfügung. Der Einbau in einen separaten Behälter (Pod) erlaubt den Betrieb an beliebigen Fluggeräten, solange die Reichweite der Datenübertragung nicht überschritten wird.

Bei Betrieb an Bord des Modellflugzeuges erfolgt die Missionsplanung auf dem Steuer-PC, und nach manuellem Start kann der PC die automatische Kontrolle der Mission übernehmen. Es besteht jedoch jederzeit die Möglichkeit, dass der Pilot am Boden die manuelle Steuerung des Flugzeuges übernimmt. Dazu verfügt die Bodenstation über eine Anzeige mit künstlichem Horizont sowie allen anderen notwendigen Anzeigen.

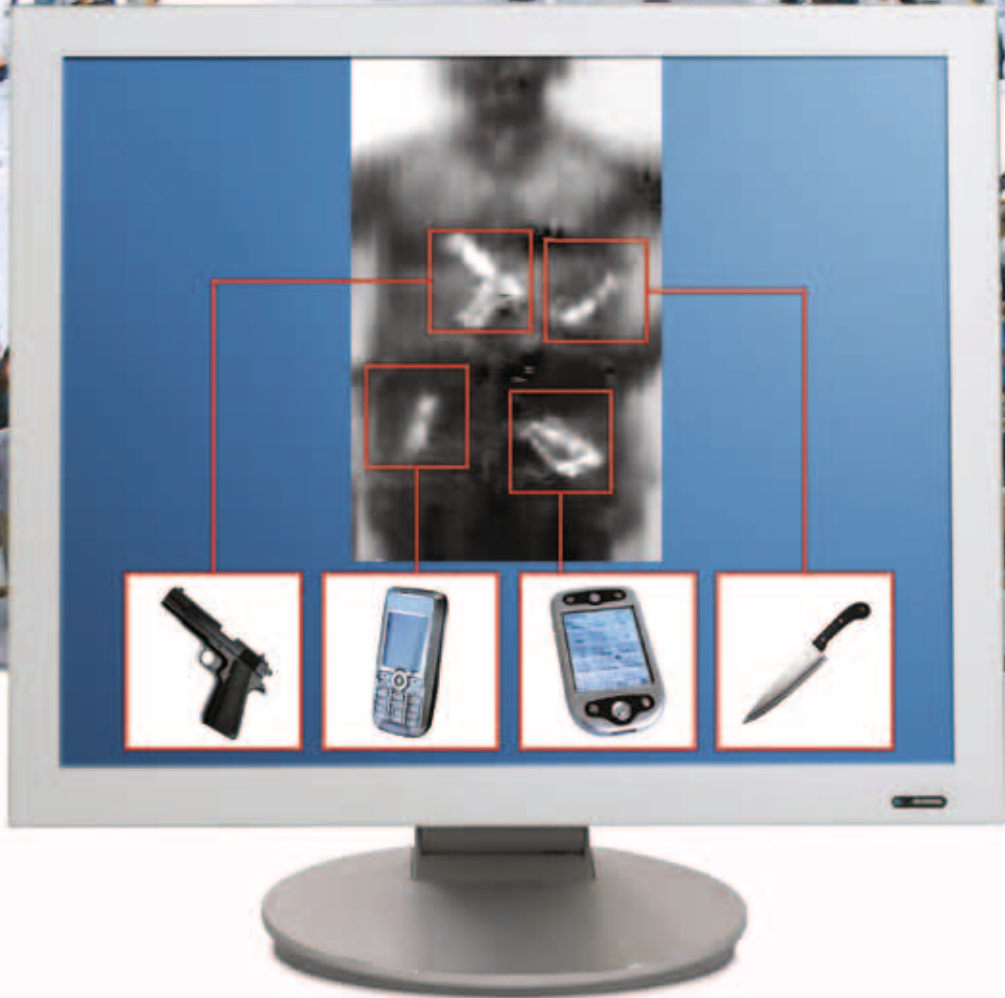
Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten

Nachdem erste Testflüge mit dem Modellflugzeug unternommen wurden, erfolgen zurzeit die Arbeiten zum SAR-Prozessor. Da der autonome Betrieb an Bord einer frei fliegenden Drohne nicht jederzeit an jedem Ort zulässig ist, werden weitere Testflüge mit einem Ultraleicht-Flugzeug durchgeführt. Das System wird weiterentwickelt, u. a. im Rahmen eines durch die europäische Verteidigungsagentur EDA geförderten Programms und eines zivil geförderten Programms zur multisensoriellen Informationsgewinnung für den Präzisions-Pflanzenbau. Dies zeigt, dass die Drohnensensorik sowohl für militärische als auch für zivile Anwendungen eine wichtige Rolle spielt. Vielerlei Anwendungen, die eine schnelle Informationsgewinnung in schwer zugänglichem Gebiet erfordern, wie bei Naturkatastrophen, können mit dem SUMATRA-SAR bedient werden.

- 1 *Frontend des 94-GHz-FMCW-Radars SUMATRA (GröÖe: 100 mm x 160 mm).*
- 2 *Modellflugzeug als Trägerplattform für SUMATRA.*
- 3 *Quick-Look-Bild (Folge von Entfernungprofilen).*

*M. Sc. Winfried Johannes
Tel. +49 228 9435-355
Fax +49 228 9435-608
winfried.johannes@
fhr.fraunhofer.de*

GESCHÄFTSFELD



SICHERHEIT UND SCHUTZ

Radarwellen eignen sich hervorragend dazu, versteckte gefährliche Objekte zu entdecken, gleichgültig ob sie unter der Kleidung getragen oder im Boden vergraben werden.

Unser Know-How im Bereich der Millimeterwellentechnik, des Ultrabreitband-Radars (*Ultra Wide Band Radar*, UWB) und der zugehörigen Radarsignalverarbeitung wird gezielt auch für die Entwicklung von Sensoren für die Sicherheitstechnik eingesetzt. Es werden Systeme untersucht, die Detektion und Klassifizierung von unter der Kleidung verborgenen Gegenständen ermöglichen und dadurch Kernfunktionen von zukünftigen Sicherheitsassistenzsystemen darstellen. Dabei werden zum einen physikalische Phänomene wie die Wellenausbreitung durch Materialien und die Spektroskopie im Frequenzbereich zwischen 35 Gigahertz und 2,5 Terahertz erforscht; zum anderen werden die so gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um angewandte Technologien weiterzuentwickeln. Im Fokus der Forschung steht aktuell die abstandswirksame Kontrolle von Personen, bei denen sich diese möglichst frei bewegen können und die Sensorik nicht direkt sichtbar ist. Dies eröffnet die Möglichkeit, nur diejenigen Personen innerhalb eines überwachten Bereiches einer genaueren Überprüfung, etwa durch die derzeit diskutierten Personenscanner, zu unterziehen, bei denen die Kontrollsensorik Verdachtsmomente ausgemacht hat. Auch beim Feldlagerschutz ist die abstandswirksame Kontrolle wichtig. Hier spielen Sprengsätze die entscheidende Rolle, sei es als ferngezündete unkonventionelle Sprengvorrichtung (*Improvised Explosive Device*, IED) oder am Körper von Selbstmordattentätern getragen. Um diesen Bedrohungen zu begegnen, müssen für den Schutz militärischer Einrichtungen neue Sensoren entwickelt werden. Hier ist grundsätzlich eine sowohl militärische als auch zivile Nutzung (Dual-Use) möglich und anzustreben.

Sensoren in der Sicherheitstechnik umfassen im Allgemeinen die nicht-invasive Kontrolle von Personen und Gepäck mit dem Ziel, Waffen, Sprengstoff, chemische und biologische Bedrohungssubstanzen zu entdecken. Gegenwärtig wird

mit Hochdruck daran gearbeitet, Systemkonzepte und Sensorbauteile im Millimeterwellen-, Submillimeterwellen- und Terahertzbereich für diese Anwendungen nutzbar zu machen. Radarwellen dieses Frequenzbereiches eignen sich dafür besonders, weil die geometrische Auflösung für die in Frage kommenden Abstände gegenüber den zu erwartenden Zielgrößen angepasst werden kann und weil Kleidung davon leicht durchdrungen wird.

Auch für das Problem des Konvoischutzes hält die Radartechnik Lösungen bereit. Hier ist das UWB-Bodenradar für den direkten Schutz ein wichtiger Bestandteil einer Sensorsuite, während sich für die präventive Überwachung ein Drohnengetragenes Millimeterwellen-SAR anbietet. Aufgrund seiner hohen Empfindlichkeit auch gegenüber geringfügigen Signaturänderungen kann es in Verbindung mit einem Verfahren der automatischen Detektion von Veränderungen zur Entdeckung von IEDs verwendet werden.

Ein weiteres, weltweit drängendes humanitäres, aber auch militärisches Problem besteht in der Entdeckung vergrabener Minen mit geringem oder fehlendem Metallanteil. Einen möglichen alternativen Sensor zum Aufspüren von nicht-metallischen Minen stellt ein Bodenradar (*Ground Penetrating Radar*, GPR) dar, welches als einziger praktikabler Sensor in der Lage ist, eine dreidimensionale Abbildung unterhalb der Erdoberfläche zu erzeugen. Um auch kleine Minen erkennen zu können, müssen diese Radare eine Auflösung im Sub-Dezimeter-Bereich haben. Dazu eignet sich das Konzept des UWB-Radars. Untersuchungen an exemplarischen Minenfeldern zeigen aber auch, dass die geforderte sehr hohe Entdeckungssicherheit letztendlich nur durch eine Kombination mehrerer Sensoren erreicht werden kann.

Im FHR wird an einem Sensornetzwerk gearbeitet, um bereits aus der Entfernung gefährliche Gegenstände entdecken zu können.

*Dr. rer. nat. Helmut Essen
Tel. +49 228 9435-208
Fax +49 228 9435-608
helmut.essen@
fhr.fraunhofer.de*



RADIOMETER ZUR ÜBERWACHUNG VON BRÄNDEN BEI EINGESCHRÄNKTER SICHT

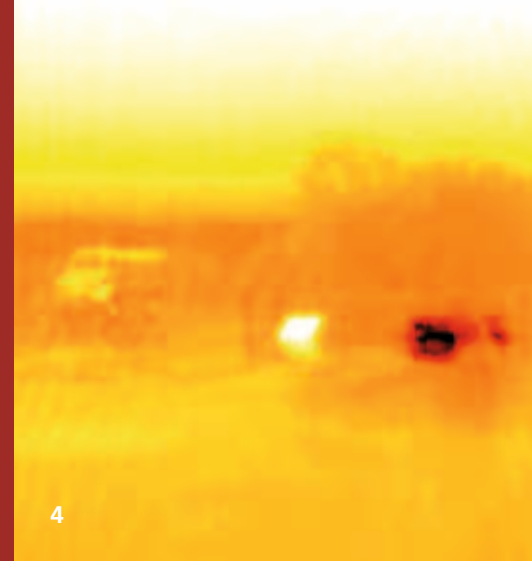
Bei Bränden entstehender Rauch und Brandgase erschweren den Löscheinsatz und behindern Einsatz- und Führungskräfte. Da Rauch, Staub und Löschnebel weitestgehend transparent für Strahlung im Mikrowellenbereich sind, können radiometrische Sensoren (hier: 22 Gigahertz) zum Messen der Wärmestrahlung und so zur Lokalisierung von Brandherden eingesetzt werden.

Die drastische Zunahme von Waldbränden und die unkontrollierte Ausbreitung des Feuers haben dramatische Auswirkungen auf Lebensräume von Tieren sowie den wirtschaftlichen Erfolg von Landwirten und zerstören nicht zuletzt auch menschliche Siedlungen und gefährden somit Menschenleben. Eine gezielte Bekämpfung durch präzise Einweisung der Löschflugzeuge bei schlechten Sichtverhältnissen ist besonders wichtig. Auch bei Bränden in Industrieanlagen und Lagerhallen ist die genaue Lokalisierung des Brandherdes von großer Bedeutung.

Aufgrund seiner Strahlungseigenschaften kann Feuer als „Schwarzer Strahler“ betrachtet werden. Nach dem Planckschen Strahlungsgesetz erreicht es sein Maximum an Strahlungsintensität im Infrarot-Bereich (IR). Daher sind bisher primär eingesetzte Sensoren von Wärmestrahlung Infrarot-Kameras, welche kompakt und mit Auflösungen im Videobereich kommerziell erhältlich sind. Die Wellenlängen von Infrarotstrahlung liegen in der Größenordnung der Partikel von Rauch, Staub und Wasserdampf. Streuung und Reflexion an diesen Partikeln führt zu erheblichen Dämpfungen der Strahlung, sodass der Nutzen von IR-Kameras reduziert bzw. aufgehoben wird. Die Durchdringung von Materie verbessert sich mit Abnahme der Frequenz bzw. der damit einhergehenden Vergrößerung der Wellenlänge. Dämpfungen in Rauch, Staub und Wasserdampf sind im Mikrowellenbereich bei 22 Gigahertz (GHz) bei kurzer Reichweite vernachlässigbar. Die Strahlung eines Brandes kann – mit geringerer Leistungsintensität als im IR-Bereich – auch im Mikrowellenbereich detektiert werden. Somit bilden Mikrowellensensoren in den genannten Szenarien eine sinnvolle Alternative zu IR-Kameras.

Branddetektion mit Mikrowellensensor – Luftschiff als Trägerplattform

Im Rahmen eines vom Wirtschaftsministerium NRW geförderten Projektes wurde ein Radiometer bei 22 GHz entwickelt. Es handelt sich hierbei um ein radioastronomisches Band, sodass



Störungen durch mögliche Fremdstrahler vermieden werden. Im Projekt ist eine Integration des Sensors auf einem unbemannten Luftschiff der Fernuniversität Hagen (Bild 1) vorgesehen, sodass Miniaturisierung und Gewichtsreduktion im Vordergrund der Arbeiten stehen. Die Traglast des Luftschiffes beträgt 7 Kilogramm, jedoch beinhaltet das noch weitere Lasten wie Videokamera, Gas- und Rauchsensor sowie Steuereinheit, sodass ein Maximalgewicht von ca. 500 Gramm für das Radiometer gefordert ist. Abb. 2 zeigt den Sensor zusammen mit Auswerteelektronik, Datenaufzeichnung, Temperatursensor und Kommunikationsschnittstelle zur Trägerplattform mit einer Gesamtgröße von 105 mm x 150 mm x 73 mm. Die Abtastung des zu untersuchenden Gebietes wird über die Bewegung der Flugplattform erreicht. Ergebnisse, wie in Abb. 4 zu sehen, wurden mit einem selbstentwickelten abbildenden 2D-scannenden System bei 94 GHz (RotRad94) erzielt. Das Feuer hebt sich In Rot deutlich vom Hintergrund ab. Kontrastiv reflektiert die zur Referenz genutzte Metallplatte die kalte Strahlung des Himmels und erscheint im Bild weiß. Die Auflösung des Systems wird durch den Öffnungswinkel der Antenne bestimmt und hängt somit von Antennengröße, Frequenz und Entfernung zur Szene ab. Um eine leichte Bauweise zu garantieren, kommt im Projekt eine planare Gruppenantenne zum Einsatz. Bei einer Größe von 20 cm Kantenlänge, einer Entfernung zum Boden von 30 m und einer Frequenz von 22 GHz können 2,6 m große quadratische Zellen aufgelöst werden.

Im Rahmen der Arbeiten wurde zur Reduktion von Fehlalarmen bei Waldbränden auch untersucht, inwieweit ein Radiometer Brandherde, welche durch ein Blätterdach verdeckt sind, detektieren kann. Verschiedene Messungen haben gezeigt, dass die Strahlung eines Brandes im Mikrowellenbereich zwar gedämpft, aber dennoch durch Laub hindurch gemessen werden kann. In diesem Zusammenhang könnte der Sensor auch zur Verbesserung der Fehlalarmrate in einem Sensorverbund zum Einsatz kommen. Die guten Transmissionseigenschaften bieten auch Potenzial zur Früherkennung von z. B. Schwelbränden in Müllverbrennungsanlagen.

Weiterführende Entwicklungen und Miniaturisierung des Sensors

Weitere Gewichts- und Größenreduktionen können durch eine weniger modulare Bauweise des Radiometers erreicht werden. Die Integration der einzelnen Bauteile auf Chiplevel wird derzeit im FHR erforscht. Je nach Anwendung kann eine bessere Auflösung erwünscht sein. Hierzu kann entweder die Antenne vergrößert oder die Frequenz erhöht werden. Letzteres kann sich allerdings nachteilig auf die Durchdringung von Materie auswirken. Die Antenne könnte strukturkonform zur Oberfläche des Luftschiffes entwickelt werden, um eine große Fläche abzudecken, ohne jedoch die Flugeigenschaften des Luftschiffes zu beeinflussen.

1 9 m langes Luftschiff der Fernuniversität Hagen ausgestattet mit Mikrowellensensor, Rauch- und Gassensorik zur Brandverifikation.

2 Modular aufgebauter Mikrowellensensor der Größe 105 mm x 150 mm x 73 mm bei 22 GHz mit planarer Gruppenantenne.

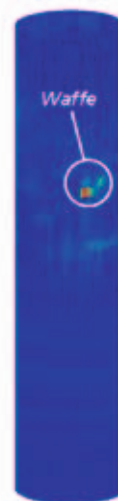
3 Photographische Darstellung einer Szene mit Feuer.

4 Radiometrische Aufnahme der Szene mit Feuer bei 94 GHz (RotRad94).

Dipl.-Ing. Nora von Wahl
 Tel. +49 228 9435-804
 Fax +49 228 9435-608
 nora.von.wahl@
 fhr.fraunhofer.de



2



ENTWICKLUNG INNOVATIVER SICHERHEITSSYSTEME ZUR PERSONENKONTROLLE

Der gescheiterte Terroranschlag auf einem Flug von Amsterdam nach Detroit deckte die Schwächen herkömmlicher Sicherheitschecks auf. Die Lösung für zukünftige Sicherheitssysteme kann daher nur lauten: Fusion verschiedener abstandswirksamer Sensoren!

Wie der gescheiterte Terroranschlag auf einem Linienflug von Amsterdam nach Detroit am 25. Dezember 2009 deutlich macht, besteht an herkömmlichen Sicherheitssystemen erheblicher Verbesserungsbedarf. Im Fokus der Forschung steht aktuell die abstandswirksame Kontrolle von Menschen auf unter der Kleidung verborgene Gegenstände. Von besonderem Interesse sind hier Ansätze, bei denen Menschen sich möglichst frei bewegen können und die Sensorik nicht direkt sichtbar ist. Dadurch könnte es langfristig möglich sein, Menschen innerhalb eines Kontrollbereiches so zu charakterisieren, dass nur einige wenige, bei denen die Kontrollsensorik Verdachtskriterien ausgemacht hat, einer genaueren Kontrolle zugeführt werden. Auf diese Weise könnte beispielsweise das Kontrollverfahren auf Flughäfen zeitlich verkürzt werden; aber auch bei Frieden schaffenden militärischen Einsätzen können abstandswirksame Kontrollen zum Schutz von Feldlagern durchgeführt werden. Dabei ist es aufgrund der Vielfalt der existierenden Bedrohungen (z. B. Waffen, Keramikkmesser, Sprengstoffe usw.) besonders wichtig, verschiedene Sensortypen miteinander zu kombinieren, dass ein möglichst breites Spektrum an Bedrohungen erfasst werden kann. Im Folgenden werden verschiedene Hochfrequenzsensoren vorgestellt.

Aktive Scannertechnologie

Um eine sichere Detektion verborgener Gegenstände zu gewährleisten, ist die Erfassung in multistatischer Geometrie für verschiedene Aspektwinkel notwendig. Ein möglicher Ansatz ist es, mehrere kohärent arbeitende Miniaturradare auf einer kreisförmigen Apertur anzubringen. Als Beispiel zeigt Abb. 1 eine Person, die über 360 Grad abgescannt wird und bei der auf dem anschließend errechneten Radarbild (Abb. 2) eine Waffe zu erkennen ist. Bei dem skizzierten Radarverfahren kann aufgrund der schnellen Abtastbewegung bei instantaner Erfassung der Entfernung eine Bewegung der zu überwachenden Person toleriert werden. An dieser Weiterentwicklung der Sicherheitskontrolle forschen derzeit Wissenschaftler des FHR im



Rahmen des EU-Projektes ATOM (*Airport detection and Tracking Of dangerous Materials by passive and active sensor arrays*). Ziel ist einerseits, die Bildgebung mit zwei in unterschiedlichen Frequenzbändern operierenden Radarsystemen über einen Abstand von mehreren Metern zu demonstrieren, wobei sich die observierten Personen auf einem Laufband, wie auf Flughäfen üblich, befinden. Andererseits sollen die als verdächtig eingestuft Personen mittels verteilter Sensorknoten verfolgt werden können.

Passive Scannertechnologie

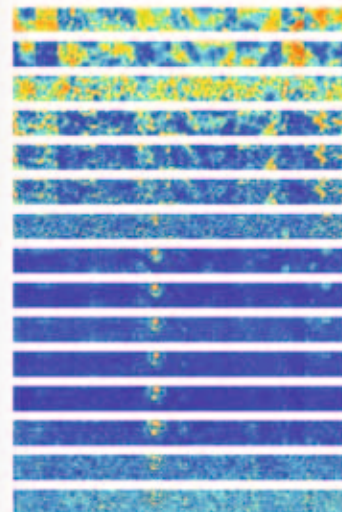
Eine andere Technologie stellen sogenannte passive Scanner dar. Ein Radiometer misst Temperaturdifferenzen innerhalb einer Szene. Jeder Gegenstand, so auch der menschliche Körper oder ein verborgener Gegenstand, strahlt entsprechend seiner Temperatur elektromagnetische Wellen ab und reflektiert oder absorbiert Strahlung aus der Umwelt. Da diese Charakteristik für jedes Material unterschiedlich ist, kann daraus ein Bild der Temperaturverteilung erstellt werden, ähnlich einem Foto im visuellen Bereich. Da nun die meisten Textilien und Kunststoffe im Millimeterwellenbereich transparent sind, während Keramik, Metalle oder auch Sprengstoff sich insbesondere in Bezug auf den menschlichen Körper durch unterschiedlichen Absorptions- bzw. Reflexionsgrad voneinander unterscheiden, kann dies zur abtastenden Bildgebung genutzt werden. Eine Bilderzeugung ist dabei grundsätzlich auch über größere Entfernungen, etwa 20 oder gar 100 Meter, möglich. Aufbauend auf dieser Technik wurde am FHR der Demonstrator „RotRad94“ mit vierelementiger Fokalebeneanordnung und schneller Abtastung entwickelt. Abb. 2 zeigt ein typisches, über eine Entfernung von 20 Meter aufgenommenes Radiometriebild verschiedener Personen mit verdeckt getragenen Gegenständen. Man erkennt deutlich, dass unter der Kleidung verborgene Gegenstände hinreichend gut abgebildet werden. Die Abtastzeit für eine Person beträgt etwa 10 Sekunden. Zurzeit wird an einer Weiterentwicklung des Systems gearbeitet, die eine Reduzierung der Abtastzeit auf etwa eine Sekunde ermöglichen wird.

Zukünftige Sicherheitssysteme

Es zeichnet sich ab, dass für die Personenkontrolle der Millimeterwellenbereich die günstigsten Voraussetzungen bietet, eine hohe Detektionsleistung bei geringer Falschalarmrate zu erzielen. Allerdings besteht noch dringender Forschungsbedarf zur Thematik „abstandswirksame Personenkontrolle“. Das FHR versucht hier, insbesondere in Verbundforschungsvorhaben mit anderen kompetenten Partnern, die beschriebenen Konzepte zu produktnahen Demonstratoren weiterzuentwickeln.

- 1 Messung mit dem aktiven Personenscanner. (Die Waffe wurde zur Verdeutlichung offen getragen.)
- 2 Radarabbildung der verdeckt getragenen Waffe.
- 3 Mit dem Radiometer RotRad94 erzeugte Abbildungen von Personen mit verborgenen Gegenständen (von links nach rechts): ohne Gegenstände, Mobiltelefon, Pistole, Sprengstoffgürtel, nur mit Jacke, mit Jacke und Sprengstoffgürtel.

Dipl.-Ing. Denis Nötel
 Tel. +49 228 9435-578
 Fax +49 228 9435-608
 denis.noetel@
 fhr.fraunhofer.de



EINSATZ EINES ULTRABREITBANDIGEN RADARSYSTEMS ZUR MINENSUCHE

Ultrabreitbandige Radarsysteme im Frequenzbereich unterhalb von drei Gigahertz sind geeignet, vergrabene Objekte im Boden zu detektieren. Diese Eigenschaft lässt sich ausnutzen, um kontaktlos und nicht-invasiv nach Minen zu suchen.

Die Suche nach vergrabenen Landminen stellt weiterhin eine drängende Aufgabe im militärischen und zivilen Sektor dar. Neben dem Metalldetektor ist das ultrabreitbandige (UWB-) Radar ein geeigneter nicht-invasiver Sensor zur Suche solcher Objekte. Dabei zeigen UWB-Radarsysteme jegliche Objekte im Boden an, deren elektromagnetische Eigenschaften eine Veränderung zur Bodenumgebung zeigen. Im Gegensatz zu den Metalldetektoren ist ein UWB-Radar grundsätzlich in der Lage, auch neuartige Minen ohne Metall zu detektieren. Neben der hohen Detektionssicherheit ist die Falschalarmrate ein entscheidender Faktor. Zur Reduktion der Falschalarmrate muss nach geeigneten Erkennungsverfahren gesucht werden, um für die gezielte Suche nach bestimmten Objekten, wie z. B. Landminen, einen Indikator zu entwickeln. Dabei stellt die hohe Variabilität der Böden eine enorme Herausforderung bei der Suche eindeutiger, von den Bodenparametern unabhängiger Indikatoren dar.

Experimentell wurde nachgewiesen, dass die Kombination von Metalldetektor und UWB-Radar die Falschalarmrate zum Teil erheblich reduzieren und die Detektionsrate steigern kann.

Automatisches und manuelles Scannen

Das FHR verfügt über ein UWB-Radar-System, das auf einem Scanner montiert ist. Dieser kann eine Fläche von einem Quadratmeter automatisch vermessen. Die Auswertung der Daten geschieht anschließend mit angepassten und optimierten Verfahren, die auch moderne Algorithmen wie eine 3D-Nahfeld-SAR-Verarbeitung einschließen. Da bei dieser Vorgehensweise die Empfindlichkeit des Detektors variiert werden kann, ist die Bestimmung der sogenannten ROC-Kurve (*Receiver Operating Characteristic*) möglich. Die Form und Lage dieser Kurve beschreiben die Qualität des Gesamtsystems unter Berücksichtigung der Bodeneigenschaften bezüglich Detektionsrate und Falschalarmrate und stellt damit ein geeignetes Kriterium zum Vergleich verschiedener Systeme dar. Neben dem automatischen Scanner wurde auch die Versi-



on als tragbarer Sensor getestet. Dazu wird die Oberfläche zunächst mit einem Metalldetektor untersucht. Entsprechende Alarme werden auf dem Boden durch Marker gekennzeichnet. Anschließend werden die Bereiche dieser Marker mit dem tragbaren UWB-Radar vermessen. Hierbei können keine komplexen Signalverarbeitungsverfahren eingesetzt werden. Stattdessen müssen die Daten direkt von einem Operator interpretiert werden. Auch diese Strategie zeigt einen Erfolg in der Reduktion der Falschalarme, die durch den Metalldetektor hervorgerufen wurden. Da nun jedoch der Faktor Mensch in dem Gesamtsystem berücksichtigt werden muss, ist eine quantitative, statistisch relevante Aussage der Qualität eine Vielzahl von Versuchen notwendig.

Um die Falschalarmrate weiter zu reduzieren, wird an Verfahren zur Erkennung der vergrabenen Objekte gearbeitet. Dies umfasst die Untersuchung der statistischen Verteilung der Radardaten und den Vergleich der Objektsignaturen mit denen aus einer Datenbank. Letzteres setzt die Fähigkeit voraus, die Objektsignaturen vorhersagen zu können. Die aktuellen Ergebnisse dazu sind vielversprechend.

Standards zur Beurteilung neuer Sensorik

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Minensuche beinhalten auch die internationale Kooperation im Bereich des Entwurfs von Standardverfahren zur Beurteilung neuer Dual-Sensoren. Diese Ergebnisse fließen direkt in Richtlinien der IMAS (*United Nation's International Mine Action Standards*) ein und stellen eine wesentliche Hilfe zur Beurteilung neuer Sensoren durch die Minenräum-Organisationen, oftmals NGOs (*Non-Governmental Organisations*), dar.

Das Potential des abbildenden UWB-Radars

In Zukunft wird im Rahmen des Themas „Maßnahmen gegen Sprengfallen“ (*Countering Improvised Explosive Devices, C-IED*) ein abstandsfähiges, vorwärts schauendes Bodendurchdringungsradar entwickelt mit dem Ziel der Detektion größerer, im Fahrweg vergrabener Körper entwickelt. Grundsätzlich lassen sich mit einem UWB-Radar auch Hohlräume im Boden detektieren. Solche Hohlräume sind z. B. bei der Aufstellung und Abstützung von Schwerlastkraftfahrzeugen (z. B. Betonpumpen oder Kränen) zu vermeiden. Aber auch im militärischen Umfeld ist die Detektion von Hohlräumen relevant.

1 Rohdaten eines Testfeldes der Größe 1 m x 11 m, Darstellung als „C-Scan“, also laterale Schnitte konstanter Tiefen.

In den oberen Schnitten überwiegt der Störanteil der Oberflächenreflexion (Luft/Boden-Schnittstelle). Weiter unten sind deutlich runde Signaturen größerer Objekte erkennbar.

2 Bild eines Minenfeldes in Bosnien. International beobachteter Test neuer Dualsensoren (MD+GPR).

Dr.-Ing. Udo Uschkerat
Tel. +49 228 9435-517
Fax +49 228 9435-627
udo.uschkerat@
fhr.fraunhofer.de



DETEKTION VON PROJEKTILEN DURCH RADAR ZUR SCHÜTZENLOKALISIERUNG

Am FHR wird zurzeit die Einsetzbarkeit von Radarsensoren zur Schützendetektion eruiert und evaluiert. Der Sensor soll fliegende Projektile in einem definierten Bereich erkennen, den Abschussort präzise lokalisieren und den Einsatzkräften die Möglichkeit geben, schnellstmöglich Schutz- und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

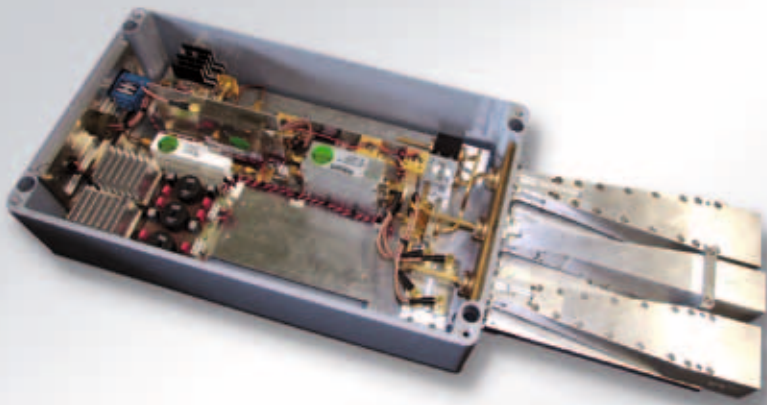
Die Bedrohung

Für den Soldaten im Beschussfall ist es unmöglich, den Abschussort mit den eigenen Sinnen zu lokalisieren. Selbst bei deutlichem Geschossknall verhindert die Ausbreitungsfront der Mach'schen Welle eine eindeutige Einschätzung der Flugrichtung eines Geschosses. Gerade in urbanen Gebieten kann dieses Problem durch Mehrwegeausbreitung zusätzlich noch verstärkt werden. Dabei indizieren demographische Trends die zunehmende Urbanisierung von Gemeinden und Städten, und für jede zukünftige militärische Operation sind urbane Dimensionen zu erwarten (Abb. 1). Durch terroristische Bedrohungen und asymmetrische Kriegsführung bei Frieden schaffenden und Frieden erhaltenden Einsätzen der Bundeswehr ist es notwendig geworden, die Fähigkeiten zum Selbstschutz der Einsatzkräfte und deren Überlebensfähigkeit im Hinblick auf die Bedrohung durch Scharfschützen zu gewährleisten.

Die Gegenwart

Gegenwärtig existieren verschiedene Systeme zur Schützendetektion, deren Funktionsweisen auf unterschiedlichen physikalischen Effekten basieren. Kommerziell verfügbar sind bevorzugt akustische Lösungen. Diese nutzen die Laufzeitunterschiede einer akustischen Welle zwischen Abschusssknall, Überschallknall und/oder Einschlagknall des Projektils als Wert zur Rekonstruktion der Projektiltrajektorie (PILAR, BOOMERANG, SHOTSPOTTER).

Neben den akustischen Möglichkeiten zur Schützendetektion hat sich mit der Entwicklung kleiner, leichter und vor allem günstiger Bildsensoren ein weiteres Detektionsverfahren etabliert, welches zur Detektion des Mündungsblitzes und damit der direkten Position des Schützen eingesetzt werden kann (WeaponWatch®). Doch ist die Einsatzfähigkeit der akustischen und



2

3

optronischen Sensorsysteme durch hohe Geräuschpegel, Mehrwegeausbreitung, Staub, Rauch und Nebel stark eingeschränkt.

Hier bietet ein Millimeterwellen-Radarsensor eine kleine und leichte Alternative als *Stand Alone*-Variante oder Teil einer Sensorsuite. Das Radar findet an dieser Stelle seine Berechtigung in der Allwettertauglichkeit und der Fähigkeit, Staub und Rauch zu durchdringen sowie der eindeutigen Alarmschwelle bei geringer Fehlerrate. So untersucht das FHR in enger Zusammenarbeit mit EADS Defence Electronics die Einsetzbarkeit neuer Radarkonzepte, Methoden und Systeme für eine zuverlässige Bestimmung der Projektiltrajektorie. Das Radardesign erfordert dazu eine hohe Messgenauigkeit, hohe Update-Raten und eine ausreichende Detektionswahrscheinlichkeit von Objekten mit geringem Radarrückstreuquerschnitt (*Radar Cross Section, RCS*) unter störenden Umgebungsbedingungen wie z. B. bei einem hohen Niveau unerwünschter Reflexionen (*Clutter*) durch Gebäude, bewegte Fahrzeuge oder Menschen.

In der ersten Phase der Konzeptstudie sind Fragestellungen zum Radar-Leistungsvermögen und der abstandsabhängigen Detektionswahrscheinlichkeit bearbeitet worden. Dazu wurde zunächst der frequenzabhängige RCS eines Projektils für verschiedene Frequenzbereiche als Funktion des Aspektwinkels bestimmt. Unter Berücksichtigung aller notwendigen Radarparameter und Verwendung eines frequenzmodulierten (FMCW), kohärenten Breitband-Radars (Abb. 2) konnten Signaturen unterschiedlichster Projektile bei Schussversuchen auf dem Gelände der WTD 91 (Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition, Meppen) aufgezeichnet werden (Abb. 3). Dabei erlaubt der Einsatz der FMCW-Technik eine hohe mittlere Leistung, gute Geschwindigkeits- (Doppler-) und Entfernungsauflösung bei stationärem Clutter. Im Verlauf der Studie hat sich bestätigt, dass die Trajektorie eines Projektils zuverlässig durch den Einsatz eines Millimeterwellen-Radarsensors bestimmt werden kann.

Die Zukunft

Durch die allgemein fortlaufende Miniaturisierung im Bereich der Hochfrequenztechnologie (Stichwort *Monolithic Microwave Integrated Circuit, MMIC*) steht als Ziel dieser Studie die Untersuchung des Potenzials zur Miniaturisierung eines FMCW-Millimeterwellen-Radars als tragbare Sensorvariante unter Berücksichtigung des Antennendesigns, der Gesamtgröße und des Energieverbrauchs.

1 "Sniper Alley" in Sarajevo, Hauptstadt von Bosnien-Herzegowina.

2 Kohärentes Breitband-Radar bei 94 GHz (KOBRA).

3 KOBRA-Daten einer GraMaWa-Salve bei 94 GHz.

Dipl.-Chem.
Alexander Hommes
Tel. +49 228 9435-877
Fax +49 228 9435-608
alexander.hommes@
fhr.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELD



HOCHFREQUENZSYSTEME FÜR INDUSTRIE UND LANDWIRTSCHAFT

Die Anforderungen an Hochfrequenzsensoren für den industriellen Bereich sowie den Agrarsektor 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 Detektion von Verunreinigungen in industriellen Produktionsprozessen ist einer der zentralen Forschungsschwerpunkte des neu gegründeten Geschäftsfeldes. Hierbei erfordert z. B. die Integration von Hochfrequenz-Messsystemen in Produktionsstraßen mit Bandgeschwindigkeiten von bis zu 400 m/min neue Ideen und Konzepte im Bereich der Sensorik und Signalverarbeitung. Qualitätssicherungssysteme spielen eine zentrale Rolle in der Produktion und benötigen eine absolute Zuverlässigkeit bei der Detektion von Fehlstellen und Abweichungen; gleichzeitig müssen sie kompakt aufgebaut werden, um in bestehende Anlagen integriert werden zu können und die Daten in Echtzeit zur Verfügung stellen. Zusätzlich müssen sie sich preislich an den bereits eingeführten Sensorsystemen im optischen oder Röntgenbereich orientieren und für einen Dauerbetrieb ausgelegt sein.

Die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Radarsensorik und durchgeführte Testmessungen für die verschiedenen Anwendungen zeigen, dass insbesondere Messsysteme im Millimeterwellenbereich sowie im unteren Terahertz-Bereich diesen Herausforderungen gewachsen sind. Millimeterwellensensoren detektieren kleinste Splitter aus Glas und Kunststoff in Lebensmitteln ebenso sicher wie Einschlüsse oder Mikrorisse in Kunststoffen und Verbundmaterialien. Der Millimeterwellenbereich als Übergang von den klassischen Mikrowellen-Radarbändern zu Terahertz-Frequenzen bietet dabei den Vorteil der hohen Transparenz der meisten Materialien in Kombination mit einer hohen Auflösung. Gleichzeitig wurden die letzten technologischen Lücken geschlossen, so dass im Gegensatz zum Terahertz-Bereich die Fertigung von Serienprodukten standardmäßig möglich ist. Hierdurch eröffnen sich völlig neue Horizonte bei der Entwicklung industrieller Systeme zur Qualitätssicherung.

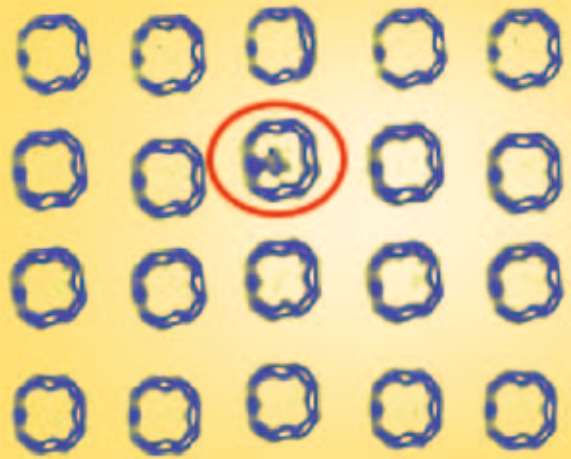
Im Agrarbereich werden neue Methoden erprobt, um *Precision Farming* zu ermöglichen, d. h. Sensorik zur Vermessung der Pflanzen selbst als auch solche zur Vermessung des Bodens. Die Messverfahren dienen u. a. dazu, Schädlinge an der Pflanze oder im Boden frühzeitig zu erkennen, um Maßnahmen zu deren Bekämpfung gezielter und damit sowohl für den Landwirt ökonomischer als auch für die Umwelt verträglicher einsetzen zu können. In Zukunft sollen auch Verfahren für eine möglichst frühzeitige Ertragsabschätzung untersucht werden.

Ultrabreitbandige Radarsysteme mit einer Trägerfrequenz bis zwei Gigahertz sind in der Lage, Pflanzenmaterial und Böden zu durchdringen und stellen somit eine Möglichkeit dar, nicht-invasive Messungen von Volumina durchzuführen, beispielsweise eine Dichtemessung des Untergrundes oder der Wurzelstruktur von Pflanzen im Bereich der Neuzüchtung. Systeme im Zentimeter-Wellenlängenbereich dienen als bildgebende Sensorik (*Synthetic Aperture Radar*) dazu, großflächige Analysen durchführen zu können. Im Wellenlängenbereich unterhalb von Millimetern (Terahertz) können sogar einzelne Pflanzenelemente untersucht werden.

Das FHR besitzt Experimental-Radarsysteme in allen genannten Wellenlängenbereichen. Zurzeit werden die Radarsysteme in Kleinfeldversuchen und Labortests erprobt, um ihre Leistungsfähigkeit für die neuen Einsatzmöglichkeiten festzustellen. In naher Zukunft wird mit der Entwicklung von umgebungsangepassten Radarsystemen begonnen werden (drohngestützt für großflächige Vermessung, fahrzeuggestützt für In-Situ-Messungen und Laborsysteme für die Anwendung in Gewächshäusern mit Hochdurchsatz-Screening-Verfahren). Die Forschungsarbeiten finden in enger Vernetzung mit Forschungsinstituten aus dem Agrarbereich statt, wie z. B. dem Institut für Landtechnik der Universität Bonn.

Der Einsatz von Radarverfahren in der Landwirtschaft kann dabei helfen, die Pflanzenschutzmaßnahmen zu optimieren.

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



UNSICHTBARES SICHTBAR MACHEN – DIE PHASE MACHT DEN UNTERSCHIED

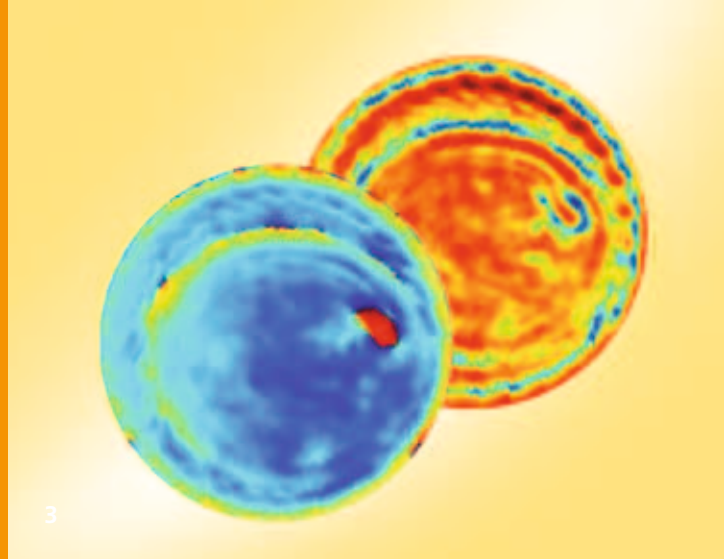
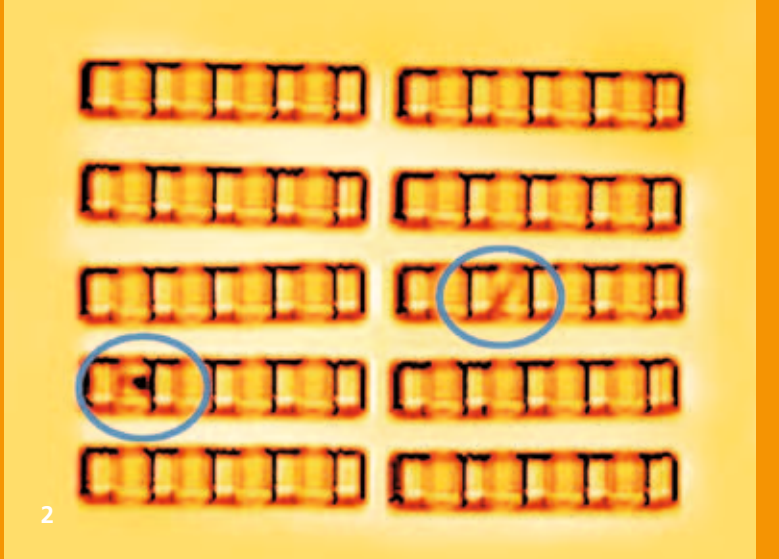
Liefert die Radartechnologie tatsächlich einen Mehrwert innerhalb der Produktkontrolle und Qualitätssicherung gegenüber optischen und Röntgensystemen? Eine Antwort auf diese Frage liefert die genaue Kenntnis der Phase!

In der heutigen Zeit nehmen bei Produktionsprozessen die Produktkontrolle und die Qualitätssicherung von Produkten einen immer größeren Stellenwert ein. Etablierte Technologien sind hier zum größten Teil optische und Röntgensysteme, welche jedoch nicht allen gewünschten Anforderungen entsprechen. So ist der Einsatz von Röntgenstrahlung in modernen Fertigungsanlagen aufgrund hoher Bandgeschwindigkeiten der Produktionsstraßen von über 6 Metern pro Sekunde nicht möglich. Hier verhindert das „Nachglühen“ der Szintillationskristalle eine ausreichende Abtastung. Optische Systeme kommen bei schwierigen Umweltbedingungen oder wenn das zu untersuchende Material intransparent ist an ihre Grenze.

Eine Ergänzung zu den bereits bestehenden Technologien stellt die Radartechnologie dar. Aufgrund der geringen Transmissionsdämpfung auch bei schwierigen Umweltbedingungen ist es möglich, Verunreinigungen mit einer Größe ab einem Millimeter zu detektieren. Ein wichtiges, bei herkömmlichen Sensoren nicht verfügbares, Informationsmerkmal ist die gemessene Phase.

Die Phase als wichtiger Parameter für die Segmentierung

Um Materialien charakterisieren zu können, ist es notwendig, die spezifischen Materialparameter zu ermitteln. Ein wesentliches Merkmal bei elektrisch isolierenden, polaren und unpolaren Stoffen ist die Dielektrizitätszahl ϵ_r . Sie beschreibt die Durchlässigkeit eines Materials bezogen auf ein elektrisches Feld. ϵ_r ist eine komplexe Größe und besteht aus einem realen Teil ϵ_r' , welcher das Vermögen eines Materials, Energie zu speichern, beschreibt, und dem imaginären Teil ϵ_r'' , welcher den Verlustfaktor bezeichnet. Durch Kenntnis dieses Faktors ist es unter anderem möglich, Schichtdicken unterschiedlicher Materialien zu bestimmen oder Segmente innerhalb einer Szene zu separieren. Voraussetzung ist, dass der Proband für den verwendeten Frequenzbereich transparent ist, und dass die Phasenlage des Signals genau bekannt ist.



Produktkontrolle an Beispielen aus der Lebensmittelindustrie

In der Qualitätskontrolle von Lebensmitteln ist die Detektion nichtmetallischer Verunreinigungen bisher nicht gelöst. Eine Messreihe mit Pralinen verdeutlicht die eindeutige Detektion des mit Glas verunreinigten Probanden (Abb. 1). Aufgrund der unterschiedlichen Materialkonstanten von Glas und Schokolade ändern sich die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der elektromagnetischen Welle. Der Unterschied zwischen der Ausbreitung in Schokolade bzw. durch Schokolade mit Glassplitter reicht für die Detektion aus. In einer Messreihe mit Schokoladenriegel wurde ein Riegel mit einem Kunststoffsplitter versehen und ein weiterer angebrochen (Abb. 2). Beide Produktionsfehler können eindeutig detektiert werden. Den Unterschied zwischen der reinen Amplitudenmessung und einer zusätzlichen Phasenmessung verdeutlicht die Messreihe an Schokoladen-Doppelkeksen (Abb. 3). Während im Amplitudenbild der Glassplitter nur aufgrund von Interferenzen am Rand des Splitters sichtbar wird, da die Transmissionsdämpfung der Schokolade und von Glas zu ähnlich sind, bildet sich der Splitter im Phasenbild deutlich ab und kann bereits in den Rohdaten deutlich erkannt werden.

Low Cost, but not low level – zukünftige Wege der Qualitätssicherung

Während die bestehenden Systeme bereits in den Rohdaten Fehler in den Produktionsprozessen sichtbar machen, ist die Detektion von Verunreinigungen in sehr inhomogenen Materialien und Produkten ein Hauptmerkmal für die nächste Generation von Systemen zur Qualitätssicherung. Der Schwerpunkt der aktuellen Forschung zielt dabei auf Clusteralgorithmen, die im mehrdimensionalen Merkmalsraum Bereiche mit Störstellen segmentieren und über die Berechnung der Dielektrizitätskonstante Fehler aufspüren und sicher detektieren.

Dieser Ansatz ermöglicht eine schnelle, einfache und kostengünstige Integration in neue sowie bestehende Produktionsanlagen für die verschiedensten Anwendungsgebiete. Dieser Mehrwert in der „sensorischen Überwachung“ von Produkten als Ergänzung zu optischen oder Röntgenverfahren ist bereits von der Industrie erkannt worden. Der wachsenden Nachfrage werden wir mit wissenschaftlichen Lösungen begegnen und als nächsten Schritt fertige Sensorlösungen anbieten.

1 Darstellung einer Verunreinigung innerhalb einer Fließbandanordnung von Pralinen.

2 Zusätzlich zu Verunreinigungen können innerhalb der Schokoladenriegel Qualitätsdefizite wie ein gebrochener Riegel visualisiert werden.

3 Doppelkeks verunreinigt mittels eines Glassplitters. Der Splitter wird im Phasenbild (links) eindeutig sichtbar (rot).

Alle dargestellten Verunreinigungen wurden vom FHR zu Versuchszwecken eingebracht.

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

GESCHÄFTSFELD



VERKEHR, UMWELT UND GESUNDHEIT

Moderne Radarsysteme erobern durch rasant fortschreitende technologische Entwicklungen immer mehr Anwendungsgebiete: Sie tragen zur Sicherheit im Luft-, See- und Straßenverkehr bei, können vor Gerölllawinen warnen und werden unterstützend bei der Diagnostik eingesetzt.

Durch die zunehmende Anzahl drahtloser Systeme und genutzter Frequenzbänder auf Flugzeugen, Fahrzeugen und Schiffen wächst der Bedarf an intelligenten Verfahren und kostengünstigen Komponenten, die bei geringem Platzbedarf, niedriger Störanfälligkeit und hoher Effizienz als Schnittstelle für einzelne oder mehrere Systeme in eine vorgegebene Plattform integrierbar sind. Die Kompetenzen des FHR und die hier entwickelten Systeme und Technologien lassen sich vielseitig in unterschiedlichen Anwendungsgebieten einsetzen.

Im Bereich der Luftfahrt und Avionik werden Radarsysteme mit hoher räumlicher Auflösung zur Unterstützung des Piloten bei Dunkelheit, schlechter Sicht oder Annäherung gefährlicher Hindernisse (z. B. Hochspannungsleitungen) eingesetzt. Solche mit dem Begriff *Enhanced Vision Systems (EVS)* bezeichneten Systeme werden bereits für verschiedene Luftfahrzeuge entwickelt und erhöhen die Sicherheit im Luftverkehr. Auf dem Automobilsektor erschließt sich eine Vielzahl neuer Möglichkeiten: Zukünftig bleibt das aktive Bordradar nicht länger Fahrzeugen der gehobenen Mittel- oder Oberklasse vorbehalten, sondern auch preiswertere PKW werden mit Sensoren und Fahrerassistenz-Systemen ausgestattet. Diese bestimmen den Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen und möglichen Hindernissen und unterstützen den Fahrer vor allem in kritischen Situationen. Das FHR ist in Zusammenarbeit mit der Automobilindustrie an der Entwicklung von Komponenten und Signalverarbeitungsverfahren für Fahrzeugradare beteiligt. Auch auf dem Gebiet maritimer Anwendungen (z. B. Schiffs- und Küstenüberwachungsradar) zeichnet sich ein Generationswechsel ab. Die in heutigen Systemen überwiegend verwendeten, mechanisch geschwenkten Antennen werden durch moderne Technologie abgelöst: Durch den Einsatz elektronisch gesteuerter Antennengruppen in Kombination

mit kohärenter Signalerzeugung bzw. -verarbeitung und Halbleiter-Verstärkern wird die Leistungsfähigkeit gesteigert und Wartungsintervalle erheblich verlängert.

Im Umweltbereich finden sich vielfältige Anwendungen, die enorm von kostengünstigen und robusten Sensoren profitieren, die wetterunabhängig rund um die Uhr aktuelle bildgebende Informationen liefern. Beispielsweise kann die Überwachung von Berghängen zur Vorhersage von Schnee- und Gerölllawinen und die Detektion von Erdbeben (z. B. durch das Schmelzen des Permafrosts infolge von Witterungseinflüssen und Klimawandel) genutzt werden, um Menschenleben durch rechtzeitige Warnungen zu schützen. Auch können Bergbaugruben weitläufig überwacht werden, in denen das Absacken und die Zerstörung ganzer Gebäude und Straßenzüge drohen. Mit Hilfe der MIMO-Technologie (*Multiple-Input Multiple-Output*) ist es möglich, einerseits robuste Radare (da ohne Mechanik) zu bauen und zum anderen deutlich das Gewicht und die Kosten – im Vergleich zu üblichen Phased-Array-Systemen – zu reduzieren.

Aufgrund seiner Sensitivität für kleinskalige Geometrien und der molekularen Absorptionseigenschaften ist der Millimeterwellen- und Submillimeterwellenbereich besonders geeignet, Gewebebezirke auf der Körperoberfläche hinsichtlich Anomalitäten zu untersuchen. Dabei kann es sich z. B. um Melanome handeln, die besonders stark durchblutet sein können. Aber es lassen sich auch Veränderungen der Haut, wie sie bei Verbrennungen oder Wunden auftreten, beobachten. Da textile Materialien oder Kunststoffe in diesem Frequenzbereich transparent sind, kann die Beobachtung auch durch Verbände hindurch erfolgen, um Wundheilprozesse zu beurteilen.

*Mit Unterstützung durch
Millimeterwellensensoren
können Hubschrauber bei
aufgewirbeltem Staub und
Nebel sicherer landen.*

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

*Dr. rer. nat. Helmut Essen
Tel. +49 228 9435-208
Fax +49 228 9435-608
helmut.essen@
fhr.fraunhofer.de*



SENSORGESTÜTZTE LANDEHILFE FÜR HUBSCHRAUBER

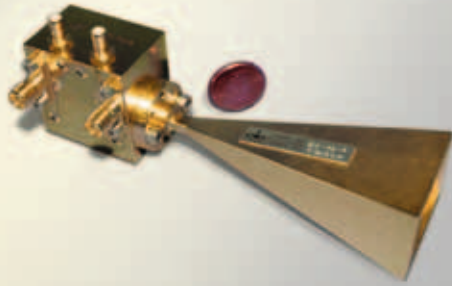
Um den Piloten eines Hubschraubers bei schlechter Sicht während des Landevorganges zu unterstützen, wurde beim FHR ein radarbasierter Sensor entwickelt, der in der Lage ist, die Flughöhe des Hubschraubers mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu messen. In der gegenwärtigen Phase des Projektes erfolgt in Unterstützung der Industrie die Weiterentwicklung des Sensors zur Serienreife.

Sowohl im militärischen als auch im zivilen Bereich – wie zum Beispiel bei Rettungseinsätzen in Bergregionen – besteht für Hubschrauber die Notwendigkeit, in unbekanntem Gelände bei schlechter oder gänzlich fehlender Sicht landen zu müssen. Besonders in wüstenähnlichen Gebieten stellt die als *Brown-Out* bekannte, von dem Helikopter aufgewirbelte Staubwolke eine ernsthafte Gefahr für Mensch und Technik dar (Abb. 1), ebenso wie das *White-Out* in schneebedeckten Gebieten. Zurzeit gibt es auf dem Markt jedoch kein System, das eine sichere Landung auch unter widrigen Bedingungen ermöglichen würde.

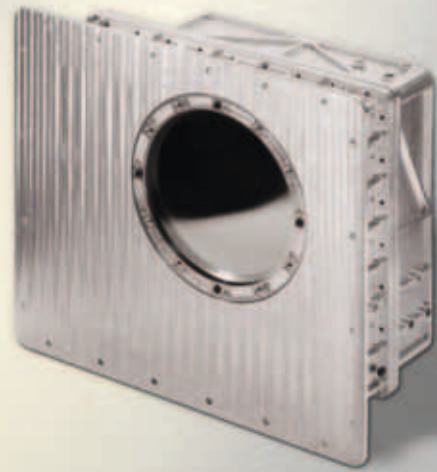
Zuverlässige Landehilfe bis zum Bodenkontakt

Im Rahmen der Projektes „Sensorgestützte Landehilfe“ (SeLa) wurde am FHR zu diesem Zweck ein kompakter radarbasierter Sensor entwickelt und aufgebaut. Je nach Bauweise kann ein Hubschrauber mit bis zu fünf solcher Sensoren ausgerüstet werden, die jeweils die Flughöhe unter den Absetzpunkten des Hubschraubers mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern messen können. Auf diese Weise können nicht nur einzelne Hindernisse, sondern auch Unebenheiten oder Schräglage des Bodens zuverlässig erkannt und an den Piloten übermittelt werden. Im Gegensatz zu bereits existierenden Höhenmessern operiert das neue System auch bei geringen Flughöhen, praktisch bis zum Bodenkontakt. Abb. 2 zeigt den neu entwickelten Sensor.

Das Landeassistenzsystem muss eine Reihe von funktionellen, operationellen und technischen Anforderungen erfüllen, um eine wirksame Hilfe in schwierigen und unübersichtlichen Situationen zu sein. Die Kernaufgabe dieser Sensorik besteht darin, den Verlust der räumlichen Orientierung in Situationen mit erheblich eingeschränkter oder fehlender Sicht zu verhindern und so eine Landung sicher bis zum Boden zu ermöglichen. Dabei soll es ohne Bedeutung sein,



2



3

ob die Sichtbeeinträchtigung durch geringe Illumination bei Nacht (weniger als 10 Millilux), widrige Wetterverhältnisse oder aufgewirbelte lose Partikel (*White-Out* oder *Brown-Out*) verursacht wird. Die Höhenbestimmung soll punktuell an mehreren Stellen am Boden erfolgen, damit auch kleinere Gegenstände nicht übersehen werden.

Hohe Auflösung bei geringer Sendeleistung

Diese Anforderungen können durch Einsatz neuartiger Technologie im Millimeterwellenbereich optimal erfüllt werden. Durch die Sendefrequenz von 94 Gigahertz können gleichzeitig eine hohe Entfernungsauflösung, eine gute Staubdurchdringung und kompakte Abmessungen des Sensorgehäuses erreicht werden. Als zentrales Element des Radarsensors dient ein hoch integriertes FMCW-Radarmodul, das beim Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF entwickelt wurde (Abb. 3). Dieses Bauteil ist komplett auf Halbleiterbasis aufgebaut und verfügt über eine hohe Bandbreite von 6 Gigahertz, kombiniert mit einer Sendeleistung von nur 5 Milliwatt. Eine eventuelle Gesundheitsgefährdung durch elektromagnetische Strahlung kann aufgrund dieser Daten vollständig ausgeschlossen werden.

In einem ersten Entwicklungsschritt wurde ein Demonstrator aufgebaut, um das vorgeschlagene Systemkonzept zu verifizieren. Dabei wurden seine Funktionsfähigkeit und Messgenauigkeit in umfangreichen Labor- und Flugmessungen nachgewiesen. Im zweiten Schritt wurde der Sensor so umkonstruiert, dass alle Systemkomponenten in einem kompakten Gehäuse untergebracht werden konnten. In der gegenwärtigen Phase des Projektes erfolgt eine Weiterentwicklung zur Serienreife, wobei der Sensor eine Vielzahl von Luftfahrt- und Sicherheitsrichtlinien erfüllen muss.

Die Entwicklung des Systems erfolgt im Auftrag der ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH, die auch die Integration der Sensoren in den Hubschrauber und das Zulassungsverfahren für die Luftfahrt übernimmt. Konstruktion und Aufbau der mechanischen Komponenten erfolgen weiterhin durch die Aircraft Electronic Engineering GmbH (AEE). Nach Fertigstellung des Gesamtsystems sind die Auslieferung von Sensoren an die Bundeswehr sowie deren Einsatz in Krisenregionen vorgesehen.

1 Hubschrauber während eines Landevorgangs unter Brown-Out-Bedingungen.

2 Kompaktes FMCW-Radarmodul des Fraunhofer IAF mit angeflanschter Horn-Antenne.

3 Prototyp eines radarbasierten Sensors zur Bestimmung der Flughöhe unter eingeschränkten Sichtbedingungen.

Dipl.-Ing. Manfred Hägelen
Tel. +49 228 9435-582
Fax +49 228 9435-608
manfred.haegelen@
fhr.fraunhofer.de



BLICK NACH VORN: BISTATISCHES RADAR ZUR ABBILDUNG IN VORAUSSICHT

Hochauflösende Abbildungen von Landebahnen bei schlechter Sicht werden mit bistatischen Radarsystemen erstmals im Anflug möglich. Der getrennte Einsatz von Sender und Empfänger bietet darüber hinaus weitere vielversprechende Vorteile.

Die besondere Eigenschaft von Radar, unabhängig vom Tageslicht, vom Wetter und von der Trübung der Atmosphäre (z. B. durch Rauch) die Erdoberfläche vom Flugzeug aus abbilden zu können, führt schnell zu dem Wunsch, Radar auch zur Bildgebung in Flugrichtung, beispielsweise zur Abbildung von Landebahnen, einzusetzen. Monostatische SAR-Systeme (SAR: *Synthetic Aperture Radar*) stoßen hier jedoch an ihre Grenzen, da sich die azimutale Auflösung dramatisch verschlechtert, je weiter die Antennenblickrichtung von der Querabrichtung abweicht. Ein weiteres Problem neben der schlechten Auflösung in Voraussicht ist die Mehrdeutigkeit bei Objekten, die symmetrisch zur Flugrichtung angeordnet sind, sodass diese nicht eindeutig abgebildet werden können.

Abhilfe schafft hier der Einsatz einer bistatischen Konstellation, bei welcher der Sender räumlich getrennt vom Empfänger betrieben wird. Das FHR konnte dies 2009 erstmalig mit seinem Multifunktionsradar PAMIR und dem Radarsatelliten TerraSAR-X (EADS-Astrium / DLR) als Beleuchter experimentell demonstrieren (Abb. 1). Aus den von PAMIR aufgezeichneten Daten wurde mittels am FHR entwickelter bistatischer Fokussierungsalgorithmen – nach unserem Wissen weltweit erstmalig – ein hochaufgelöstes SAR-Bild prozessiert (Abb. 2). Mit Blick auf den operationellen Einsatz werden in aktuellen Arbeiten Alternativen zu Satellitenbeleuchtern untersucht.

Vorteile bistatischer Systeme

Weitere Vorteile bistatischer Systeme werden am obigen Beispiel der bildgebenden Landeanflughilfe deutlich: Zur Beleuchtung einer Szene wird nur ein einzelner Sender benötigt, während die Nutzer lediglich mit kostengünstigen Empfängern ausgestattet werden müssen. Neben der Kostenreduktion werden Probleme vermieden, die bei gleichzeitiger Nutzung eines Frequenzbereichs durch mehrere aktive Systeme auftreten. Die Passivität des reinen Empfangs-



2



3

systems ist vor allem bei militärischen Anwendungen von großem Vorteil. So ist es möglich, Krisengebiete mit luftgetragenen Empfangssystemen zu überwachen, die durch ihre Passivität nur schwer aufzuklären sind. Der Beleuchter operiert in diesem Szenario in einer sicheren Entfernung. Die Gewichtersparnis und die Reduktion der Leistungsaufnahme durch Einsparung des Senders ermöglichen zudem den Einsatz auf kleinen unbemannten Trägerplattformen (UAV). Des Weiteren bieten bistatische Konstellationen die Möglichkeit der dreidimensionalen (interferometrischen) Abbildung. Aufgrund der spezifischen bistatischen Reflexionseigenschaften der Objekte trägt die bistatische SAR-Bildgebung auch zur Verbesserung der Klassifikation einer Szene bei.

Fruchtbare Kooperationen im DFG-Projekt „Bistatic Exploration“

Seit 2006 arbeitet das FHR zusammen mit den Forschungszentren der Universität Siegen ZESS und FOMAAS in einer engen Kooperation an dem gemeinsamen Forschungsprojekt „Bistatic Exploration“. Finanziert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), bearbeiten mehrere Wissenschaftler in sechs Teilprojekten den gesamten Komplex der bistatischen SAR-Bildgebung: Angefangen bei der Entwicklung eines modularen Simulators über das Lösen der Synchronisationsproblematik, der Positions- und Lagebestimmung, der Durchführung bistatischer Experimente und der Entwicklung bistatischer Fokussierungsalgorithmen bis hin zur Entwicklung einer Visualisierungs- und Bildanalysesoftware.

Schon im Jahr 2008 konnten die Projektpartner die Fähigkeiten der hybriden bistatischen Radarbildgebung in einem gemeinsamen Experiment demonstrieren. Zur Beleuchtung der zu explorierenden Szene wurde TerraSAR-X in einem Scheinwerfermodus betrieben, während PAMIR im Streifenmodus operierte und querab zur Flugrichtung blickte. Als Weiterentwicklung folgte 2009 ein Experiment mit einer ähnlichen Konstellation zur Validierung eines neuen Radarmodus. Der innovative *Double Sliding Spotlight Mode* löste ein wesentliches Problem der satellitengestützten bistatischen Radarbildgebung: In der nur sehr kurzen Beleuchtungszeit der Szene von nur 3 bis 4 Sekunden durch den Satelliten bewegt sich das Empfangssystem nur wenige 100 Meter, was die Länge des abbildbaren Streifens stark begrenzt. Eine Vergrößerung der Szenenausdehnung wird bei dem neuen Modus dadurch erzielt, dass in der Zeit, während die Szene in einem Scheinwerfermodus beleuchtet wird, das Empfangssystem einen Antennenschwenk in entgegengesetzter Richtung ausführt. Mit Hilfe der am FHR und am ZESS entwickelten bistatischen SAR-Prozessoren konnten aus den akquirierten Daten erfolgreich hochaufgelöste SAR-Bilder rekonstruiert werden (Abb. 3).

1 *Bistatische Konstellation mit TerraSAR-X als Beleuchter und PAMIR als luftgetragenen Empfangssystem.*

2 *Demonstration der Abbildung in Voraussicht durch die bistatische Aufnahme einer Landebahn mit TerraSAR-X als Beleuchter und PAMIR als Empfänger.*

3 *Bistatisches SAR-Bild im Double Sliding Spotlight Mode. Das Empfangssystem blickt querab zur Flugrichtung und führt einen Antennenschwenk in Flugrichtung aus.*

Dr. rer. nat. Jens Klare
Tel. +49 228 9435-311
Fax +49 228 9435-618
jens.klare@
fhr.fraunhofer.de



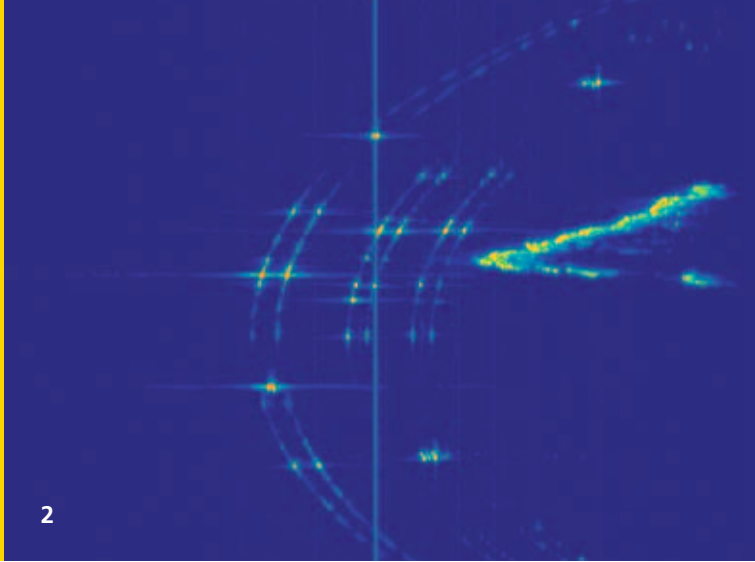
SIGNATURUNTERSUCHUNGEN AN HOCHSPANNUNGSLEITUNGEN

Da Helikopter oft – besonders bei Rettungs- und Katastropheneinsätzen – auch unter schlechten Wetterbedingungen und außerhalb ausgewiesener Flugplätze operieren, stellen Hindernisse wie Masten und Hochspannungsleitungen eine große Gefahr dar. Gerade unter solchen schwierigen Bedingungen versagen optische Sensoren wie Infrarot oder Laser, und es muss auf allwettertaugliche Sensoren zurückgegriffen werden.

Für das Projekt PILAS E (Piloten-Assistenz-Systeme für Hubschrauber) wurden Untersuchungen zur Detektierbarkeit von Hochspannungsleitungen mit dem Experimentalradar KOBRA durchgeführt, um Aussagen sowohl über die geeignete Sendefrequenz und Polarisation als auch über die Aufnahmegeometrie und das Antennenkonzept machen zu können.

Bei den Messungen zeigte sich, dass sich Masten und Hochspannungsleitungen mit modernen FMCW-Radaren im Millimeterwellen-Bereich gut detektieren lassen. Die Daten wurden mit einem scannenden System aufgenommen und in Entfernung/Winkel-Darstellung aufgetragen. Dies führt zunächst zu einer verzerrten Darstellung der Bilddaten, die für eine kartengerechte Darstellung korrigiert werden müssen. Obwohl der Öffnungswinkel der Antenne in Querrichtung keine besonders hohe Auflösung erlaubt, kann aufgrund der hohen Entfernungsauflösung von vier Zentimetern dennoch eine insgesamt relativ kleine Auflösungszelle erreicht werden. Dadurch erhöht sich der Kontrast der Hochspannungsleitungen und somit ihre Detektierbarkeit deutlich. Die Auflösung in Querrichtung wird durch die Sendefrequenz und die Größe der Antenne bestimmt; mit einer höheren Frequenz bzw. einer größeren Antenne erzielt man eine bessere Bündelung im Azimut und damit eine höhere Querauflösung. Das Radarsystem KOBRA erlaubt es, bei Frequenzen von 35 und 94 Gigahertz Antennenkonfigurationen unterschiedlicher Größe zu testen. Dabei wurden Scans sowohl in der Azimut- wie auch in der Elevationsebene durchgeführt.

Mit einer relativ großen Antenne wurden mehrere in Elevationsrichtung übereinanderliegende Azimutscans aufgenommen. Dabei sind die Hochspannungsleitungen deutlich im freien Raum zu erkennen und dadurch einfach zu detektieren. Allerdings werden diese Vorteile mit einem Mehraufwand bei der Datengewinnung erkauft, da mehrere Höhenschnitte nacheinander



2



3

aufgenommen werden müssen. Im Gegensatz dazu muss mit einer kleineren Antenne nur ein einziger Azimutscan aufgenommen werden, da die Keule dieser Antenne in Elevationsrichtung sehr breit ist und das komplette Szenario beleuchtet. Dies bedeutet aber auch, dass der Boden und die Hochspannungsleitungen gemeinsam abgebildet werden, wodurch sich die Detektierbarkeit der Hochspannungsleitungen verschlechtert, da sie im Bild mit dem Bodenclutter überlagert sind.

Bei den durchgeführten Elevationsscans heben sich die Hochspannungsleitungen in der Höhe klar vom Boden ab. Allerdings ist die Interpretation der Daten in diesem Fall schwieriger, da der Leitungsverlauf optisch nicht klar zu erkennen ist.

Als weiteres Ergebnis der Messungen zeigte sich der Einfluss der Polarisation auf die Detektierbarkeit der Hochspannungsleitungen. Während bei horizontaler Sende- und Empfangspolarisation nur der mittlere Teil der Hochspannungsleitungen gut erkannt werden kann, d.h. der Teil, bei dem senkrecht bis zu einem Winkel von etwa 15 Grad auf die Leitungen geblickt wird, kann die Leitung bei vertikaler Sende- und Empfangspolarisation über den kompletten Scanbereich von etwa ± 40 Grad abgebildet werden. Dies ist insofern wichtig, da die Leitungen vom Helikopter nicht immer frontal angefliegen werden, sondern durchaus auch unter flachen Winkeln.

Bei der Überlagerung eines Luftbildes mit dem Radarbild sind deutlich die Waldkante, die Masten und Teile der Hochspannungsleitung zu sehen. Die Leitungen sind nicht über den gesamten Bereich sichtbar, da sie sich nur teilweise im dargestellten Elevationsschnitt befinden. Die Leitung hängt in der Nähe der Masten höher und wird erst in einem höheren Elevationsschnitt sichtbar. Prinzipiell ließe sich durch eine Staffelung der Elevationsschnitte in der Höhe auch eine annähernd dreidimensionale Ansicht aufbauen.

Die Messungen haben gezeigt, dass mit einem hochauflösenden Radarsensor die Hochspannungsleitungen sicher erkannt werden können. Somit bietet sich solch ein Radarsystem vor allem zum Einsatz in Helikoptern für schlechte Sichtbedingungen an. Als konforme Antenne eingesetzt, die an die Form des Helikopters angepasst ist und sich über die gesamte Breite der Zelle erstreckt, könnte die Auflösung noch weiter verbessert werden.

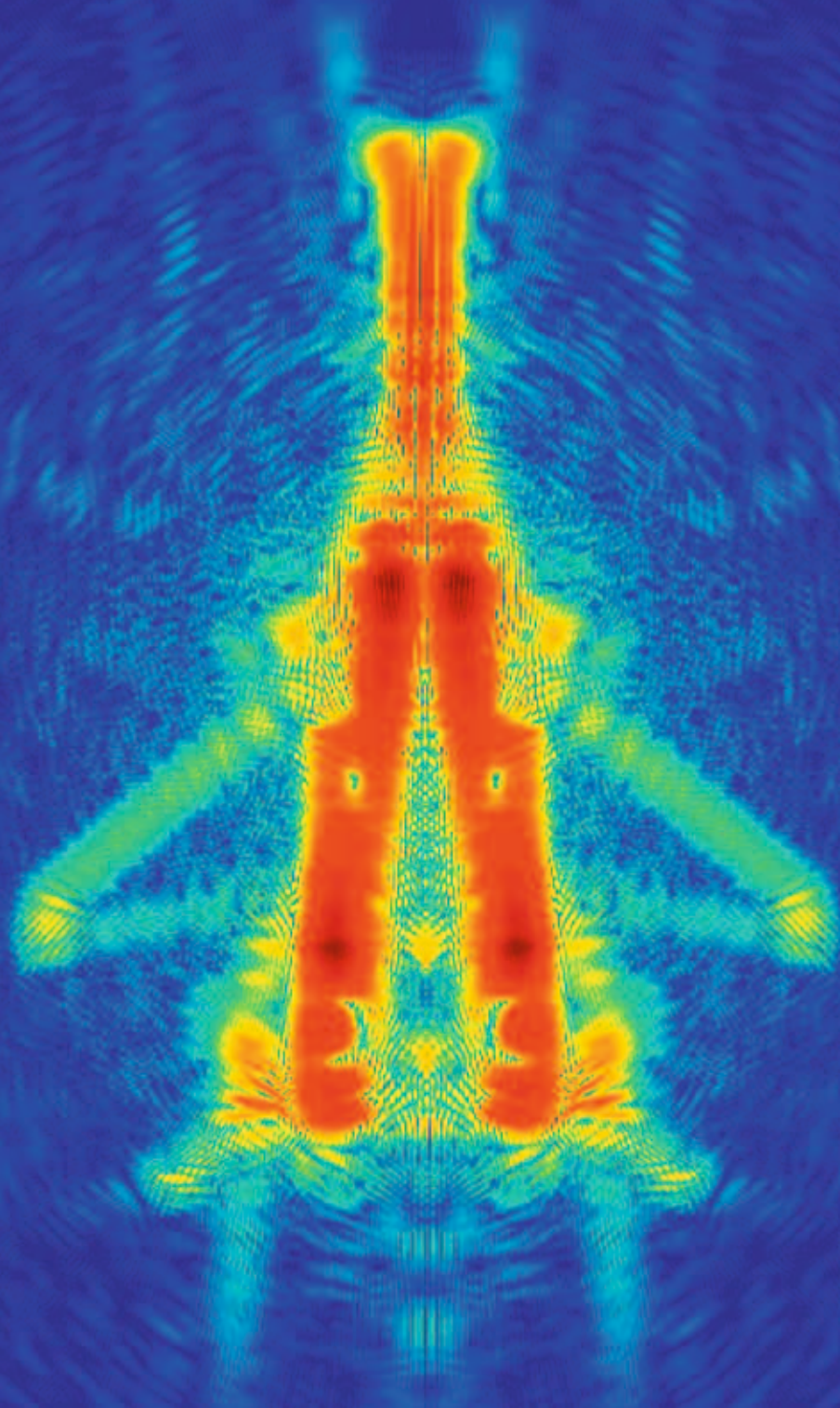
1 *Kobra-Frontend 94 GHz mit SAR-Antenne*

2 *94 GHz-Bild eines Azimutscans über die Hochspannungsleitungen mit einer in beiden Ebenen stark bündelnden Antenne*

3 *Überlagerung eines Luftbildes mit dem entzerrten, georeferenzierten Radarbild*

*Dipl.-Ing. Thorsten Brehm
Tel. +49 228 9435-354
Fax +49 228 9435-608
thorsten.brehm@
fhr.fraunhofer.de*

GESCHÄFTSFELD



ANTENNEN UND ELEKTROMAGNETISCHE MODELLIERUNG

Durch die zunehmende drahtlose Vernetzung von Systemen und Sensoren kommt der Antenne als elektromagnetischem Wandler und ihrem Einfluss auf die Umgebung eine wichtige Bedeutung zu.

Die numerische Modellierung elektromagnetischer Felder und Ausbreitungsphänomene und die Entwicklung von Antennen sind querschnittliche Forschungsaufgaben, die für die Leistungsfähigkeit moderner Radar- und Kommunikationssysteme von großem Nutzen sind. Für die einwandfreie Funktion sollten zur Vermeidung gegenseitiger Störungen die Eigenschaften des Ausbreitungsmediums und die Wechselwirkung zwischen System und Umgebung untersucht und berücksichtigt werden. Mit Hilfe der am FHR entwickelten numerischen Methoden und mit der daraus entstandenen Software können breitbandige Antennen und Antennengruppen – auch strukturintegriert und auf nicht-ebenen Oberflächen angeordnet – entworfen und analysiert werden.

Die zurzeit eingesetzten 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 – exakte und asymptotische für den Hochfrequenz-Bereich – zu sogenannten Hybridverfahren. Die darauf basierenden Programme werden auf leistungsfähigen Rechnernetzen als effiziente, hochgenaue Simulationswerkzeuge u. a. zur Untersuchung des elektromagnetischen Streufelds von Radarzielen eingesetzt, wo Messungen nicht verfügbar oder zu aufwändig 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.

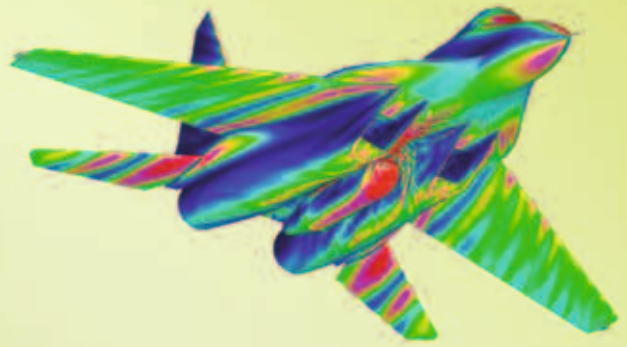
Auf dem Gebiet der Antennentechnologie steht ein umfangreiches Portfolio an verschiedenen Antennentypen für unter-

schiedliche Einsatzgebiete und Frequenzbänder zur Verfügung. Dazu gehört auch die Entwicklung besonders breitbandiger Antennenelemente und -gruppen wie mehrarmige Spiralantennen für Aufklärungs- und Peilaufgaben. Die Leistungsfähigkeit der entwickelten Verfahren zur Integration von Antennen in Fahrzeuge 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.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung aktiver Antennenfrontends mit elektronischer Strahlschwenkung. Während die heute in vielen Bereichen häufig eingesetzten, mechanisch gesteuerten Antennen relativ preiswert sind, besitzen sie als Nachteile die niedrige Rotationsgeschwindigkeit, fehlende Mehrkanalfähigkeit sowie hohen 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 FHR konzentrieren sich auf innovative Lösungen, die sich preiswert realisieren lassen und so auch für andere kommerzielle Anwendungen interessant sind. Anstelle diskret aufgebauter elektronischer Module werden hochintegrierte Schaltungen auf Basis von Silizium-Germanium-(SiGe-) Chips eingesetzt, die möglichst viele analoge und digitale Funktionen beinhalten. In Kombination mit einem neuartigen, patentierten Speise- und Antennenkonzept soll so eine Basis für den Aufbau elektronisch schwenkender Antennen zu vergleichsweise geringen Kosten aufgebaut werden, die auf verschiedenen Gebieten einsetzbar sind.

Eine durch Simulationen gewonnene, hochauflösende ISAR-Abbildung eines Flugzeugs zeigt die Verteilung der Streuzentren.

*Dr.-Ing. Peter Knott
Tel. +49 228 9435-560
Fax +49 228 9435-531
peter.knott@fhr.fraunhofer.de*



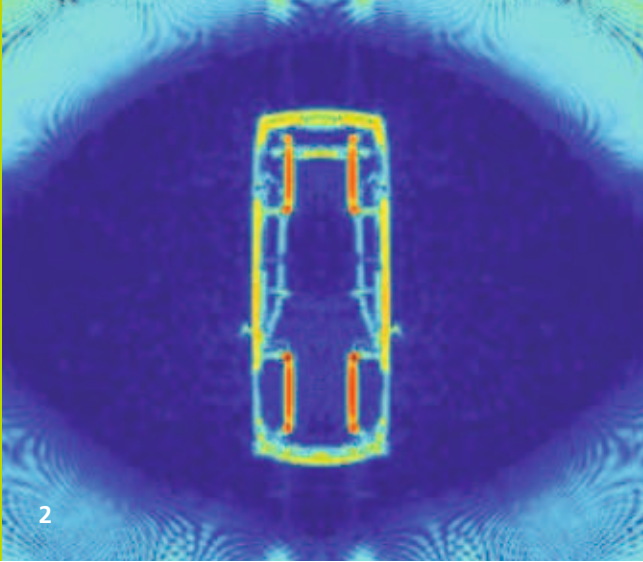
ANALYSE DES STREUFELDS KOMPLEXER OBJEKTE

Die Untersuchung des elektromagnetischen Streufelds komplexer Objekte auf der Basis von Computer-Simulationen bietet nicht nur ein besseres Verständnis der zugrundeliegenden physikalischen Effekte, sondern ist auch ein wichtiges Instrument zur Optimierung von Radarsystemen.

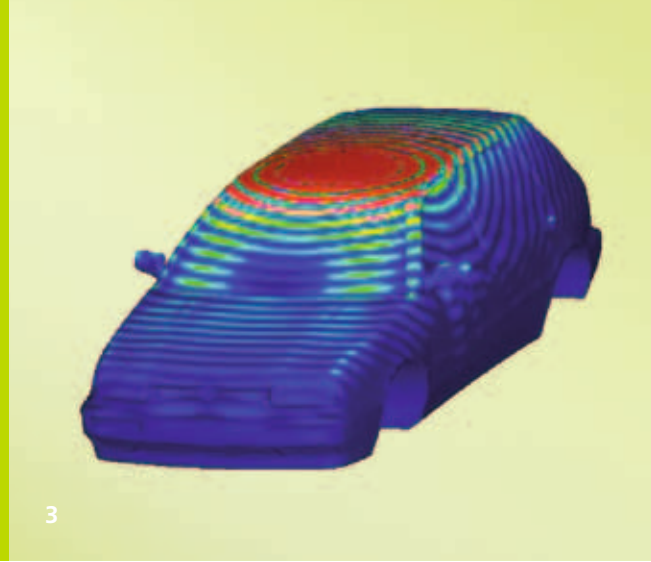
Jede elektromagnetische Welle, die auf ein Objekt trifft und von diesem reflektiert wird, kann Aufschluss über dessen Form und Beschaffenheit geben. Diese Eigenschaft der elektromagnetischen Streufelder lässt sich in der Radartechnik gleich zweifach ausnutzen: So können sie einerseits dazu verwendet werden, die Eigenschaften des Objekts zu rekonstruieren; andererseits kann das Objekt durch die Analyse der Streufelder so optimiert werden, dass es für Radarsysteme schwerer zu erkennen ist. Indem man diese Untersuchungen mit Hilfe von Computer-Simulationen anstelle von Messungen durchführt, lassen sich sowohl Zeitaufwand als auch Kosten deutlich verringern. Zudem können unterschiedliche Versionen eines Objekts sehr einfach berücksichtigt werden, z. B. bei Fahrzeugen. Neben vorwiegend militärischen Anwendungen werden Simulationsprogramme auch dazu benötigt, um zivile Radarsysteme so auszulegen, dass beispielsweise im Automobilbereich bestimmte Hindernisse mit einer vorgegebenen Genauigkeit erkannt werden.

Leistungsfähige Simulationswerkzeuge

Zur Vorhersage elektromagnetischer Streufelder werden am FHR zwei Simulationswerkzeuge entwickelt, die auf unterschiedlichen numerischen Lösungsansätzen basieren. Das Programm FEBI gehört zu den sogenannten numerisch exakten Methoden, da ein Streuproblem ausgehend von den Maxwell-Gleichungen gelöst wird. Der Lösungsansatz basiert auf der Momentenmethode (MoM) und verwendet ein Oberflächen-Integralgleichungsverfahren bzw. die Finite-Elemente-Methode. Der Vorteil dieser Methode besteht in der Genauigkeit der berechneten Daten, wobei sowohl die Rechenzeit als auch der benötigte Speicher mit (im Vergleich zur Wellenlänge) größeren Objekten sehr schnell zunehmen. Parallel hierzu wird mit FARAD ein asymptotisches SBR-Verfahren (*Shooting and Bouncing Rays*) speziell für die Anwendung bei höheren Frequenzen entwickelt. Hierbei werden aus der Computergrafik



2



3

bekanntes Verfahren auf der Basis von Strahl-Rückverfolgung (*Ray Tracing*) für die Berechnung elektromagnetischer Felder angewendet. Dieses Verfahren ist inzwischen so weit ausgereift, dass moderne Ansätze der Geometrischen Optik (GO) und der Wellen-Optik miteinander verknüpft werden, um die vielfältigen Effekte bei der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Welle und Objektoberfläche adäquat zu beschreiben. Weiter sind spezielle Algorithmen zur Behandlung von gekrümmten oder beschichteten Oberflächen sowie zur Berücksichtigung von Antennendiagrammen implementiert.

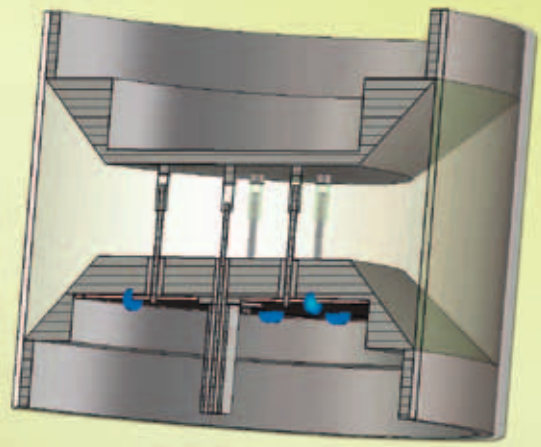
Vielseitige Anwendungsmöglichkeiten

Insgesamt stehen so zwei sehr leistungsfähige Simulationswerkzeuge zur Verfügung, mit denen die Streufelder von nahezu beliebigen Objekten berechnet werden können. Aufgrund der unterschiedlichen zu Grunde liegenden physikalischen Modelle eignet sich das FEBI-Verfahren am besten zur Modellierung von nicht allzu großen, jedoch detailreichen Objekten, während die Stärken von FARAD vor allem bei großen Objekten liegen. Mit FEBI können auch die Oberflächenströme berechnet werden, die von einer einfallenden elektromagnetischen Welle induziert werden. Abb. 1 zeigt als Beispiel diese Ströme auf einem Flugzeug. Diese Art der Darstellung eignet sich, um ein gutes Verständnis der zu Grunde liegenden physikalischen Effekte zu erlangen. Ein Beispiel für eine Simulation mit FARAD ist die Streufeldanalyse eines Fahrzeugs in Abb. 2. Hier wurden mit dem vorhandenen CAD-Modell (Abb. 3) Streufelder jeweils im Frequenzbereich von 6-10 Gigahertz berechnet. Aus den resultierenden Daten lässt sich eine Abbildung der Streuzentren gewinnen, wobei die Intensität farblich kodiert ist.

Die beiden beschriebenen Verfahren werden zurzeit u. a. dazu verwendet, um im Rahmen einer NATO-Arbeitsgruppe eine Datenbank mit Streufeldern verschiedener Triebwerke aufzubauen. Mit dieser Datenbank wird die Möglichkeit der Klassifizierung von Flugzeugtypen anhand der simulierten Streufelder untersucht. Bis jetzt sind für die Klassifizierung reale Messdaten erforderlich, die in der Regel nur mit sehr großem Aufwand erzeugt werden können. Des Weiteren werden in Zusammenarbeit mit der Firma SmartFish GmbH (www.smartfish.ch), die neuartige Flugzeugkonzepte entwickelt, mit Hilfe von FARAD-Simulationen die Streueigenschaften verschiedener Konfigurationen untersucht. Ziel ist dabei die Optimierung der Geometrie zur Minimierung der Streuwirkung, um ein breitgefächertes Einsatzspektrum der Flugzeuge zu ermöglichen. Die am FHR entwickelten Simulationsverfahren werden auch dazu verwendet, um Antennenpositionen auf verschiedenen Plattformen (Fahrzeuge, Flugzeuge, Schiffe) zu untersuchen und zu optimieren (Abb. 3).

- 1 *Oberflächenströme auf einem Flugzeugmodell.*
- 2 *Streuzentrenanalyse an einem Fahrzeug.*
- 3 *Durch die Fahrzeugantenne induzierte Oberflächenströme auf einem Fahrzeugmodell.*

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



ELEKTRONISCH GESTEUERTE ANTENNEN FÜR BREITBAND-KOMMUNIKATION

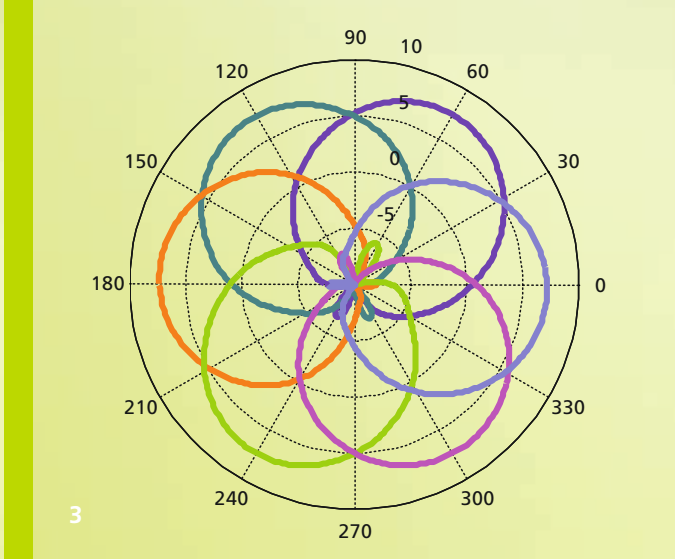
Die Nutzung drahtloser Verbindungen zur Übertragung von Informationen gewinnt in vielen Bereichen unseres Lebens an Bedeutung. Ein wichtiges Bauteil bei funkgestützter Signalübertragung ist die Antenne: Ihre Qualität entscheidet maßgeblich über die Leistungsfähigkeit eines Systems und beeinflusst z. B. die erzielbare Reichweite oder Datenrate.

Besonders Anwendungen, bei denen Verbindungen in viele unterschiedliche Richtungen bei gleichbleibender Qualität gewährleistet werden müssen, stellen hohe Ansprüche an die eingesetzten Antennen. Das Ziel der hier am FHR durchgeführten Arbeiten ist die Entwicklung von Antennentechnologie, die das elektronische Nachführen oder Umschalten der Sende- bzw. Empfangsrichtung einer Verbindung erlaubt.

Während einige herkömmliche Lösungen, wie der Aufbau mehrkanaliger Systeme mit parallelem Betrieb oder Gruppenantennen mit elektronisch gesteuerter Strahlnachführung, für viele kommerzielle Anwendungen zu aufwändig und teuer ist, dürfen die hier untersuchten Lösungen nur geringe Mehrkosten gegenüber Standardlösungen verursachen. Ein vielseitig nutzbares Verfahren zur Abdeckung großer Raumwinkelbereiche durch Unterteilung in verschiedene, schaltbare Sektoren sind parasitär gekoppelte Gruppenantennen. Die Anwendungsmöglichkeiten reichen von Mobilfunk- und Kommunikationsanwendungen über digitale Datenübertragung mit hoher Datenrate bis hin zum System für die Gefechtsfeldüberwachung.

Omnidirektionale Kreisgruppenantenne (CSPA)

Die Grundlage für dieses Konzept zur elektronischen Strahlschwenkung bildet ein bekanntes Prinzip zur gezielten Formung des Strahlungsdiagramms eines aktiven Antennenelements durch zusätzliche parasitär gekoppelte, passive Antennenelemente. Bei dem hier verfolgten Ansatz werden die parasitären Strahler elektronisch rekonfigurierbar und in diskreten Schritten schaltbar ausgelegt. Eine solche kreisförmige Anordnung mit schaltbaren Lasten an den parasitären Elementen wird *Circular Switched Parasitic Array (CSPA)* genannt und ermöglicht die Steuerung des Antennendiagramms innerhalb der gesamten horizontalen Azimutebene (s. Abb. 1). Die hier vorgestellte Antenne ist für einen digitalen Datenlink im C-Band mit hoher Sendeleis-



tung zwischen sich bewegenden Plattformen konzipiert. Die Spezifikationen erfordern vertikale Polarisation und einen Antennengewinn von mehr als 3 dB im gesamten Sichtbereich und über den Frequenzbereich von 4,4 bis 5 Gigahertz. Das Strahlungsdiagramm kann elektronisch zwischen verschiedenen Sektoren umgeschaltet werden, um die Gewinnanforderungen für alle Winkel des spezifizierten Bereichs zu gewährleisten. Benachbarte Sektoren müssen sich um einen bestimmten Winkelbereich überlappen, um häufiges Hin- und Herschalten zu vermeiden. Zur Erzeugung eines symmetrischen Elevationsdiagramms wird die konventionelle CSPA-Anordnung von Monopol-Antennen durch einen metallischen Deckel ergänzt, der – zusammen mit der entsprechend geformten Massefläche – einen sich aufweitenden Parallelplattenleiter formt. Zum Wechsel zwischen den verschiedenen Blickwinkelbereichen werden die Lasten der parasitären Antennen über spezielle Mikroschalter in *Surface-Mount Technology* (SMT) geschaltet, um auch hohe Sendeleistungen handhaben zu können.

Demonstratorantenne und Messergebnisse

Für die Anforderungen der vorliegenden Anwendung genügen sechs parasitäre Monopole, die unter gleichen Winkelabständen entlang eines Kreises um den aktiven, zentralen Monopol angeordnet sind. Die mechanische Stabilität der Anordnung wird durch die Füllung des Hohlraums zwischen der oberen und unteren Metallschale mit einem harten Schaumstoffmaterial erreicht. Zum Schutz der Antenne gegen mechanische Einwirkung und vor Witterungseinfluss ist ein zylindrisches Radom aus Teflon vorgesehen. Abb. 2 zeigt die einzelnen Teile der CSPA-Demonstratorantenne sowie die eingesetzte elektronische Schaltung vor dem Zusammenbau. Die Strahlungsdiagramme der Antenne für die verschiedenen Sektoren wurden im spezifizierten Frequenzbereich dreidimensional vermessen. Die Ergebnisse zeigen einen gleichmäßigen Verlauf mit nahezu symmetrischer Form, ausreichenden Antennengewinn und gute Reproduzierbarkeit für die verschiedenen Sektoren, s. Abb. 3. Der maximale Gewinn der Antenne in der horizontalen Ebene beträgt ungefähr 7,7 dB.

Die vorgestellten Messergebnisse machen das große Potenzial des hier eingesetzten CSPA-Konzepts deutlich. Eine Übertragung der Technologie auf andere Frequenzbereiche für ähnliche Anwendungen ist möglich.

- 1 *Dreidimensionales Computermodell der erweiterten CSPA-Antenne.*
- 2 *Einzelteile der Demonstratorantenne vor dem Zusammenbau.*
- 3 *Gemessener realisierter Gewinn durch die vertikale Polarisation in der H-Ebene für alle Schwenkrichtungen.*

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



ENTWURF UND MODELLIERUNG VON ANTENNEN AUF FLIEGENDEN PLATTFORMEN

Die Integration von Antennen in Fahrzeuge kann zu Problemen führen, wenn sich verschiedene Systeme gegenseitig beeinflussen. Durch geeignete Simulationsverfahren können solche Effekte beim Antennendesign untersucht und Störungen vermieden werden.

Unbemannte Kleinflugzeuge wie das Kleinfluggerät Zielortung (KZO) der Firma Rheinmetall Defence Electronics (RDE) eignen sich zur Entdeckung, Identifizierung und Lokalisierung ortsfester und bewegter Ziele, Abb. 1. Dabei stellt die Entwicklung der entsprechenden Sensoren eine besondere Herausforderung dar, weil sie die Struktur des Fluggeräts möglichst wenig verändern dürfen, um eine Beeinträchtigung der Aerodynamik und damit eine Verringerung der Reichweite des Systems zu vermeiden. Es wurde ein Antennensystem für das KZO entwickelt, das die besonderen Anforderungen für den Einsatz auf einem Kleinflugzeug erfüllt.

Das Antennensystem muss einen Raumwinkelbereich von 360° in Azimut und $\pm 30^\circ$ in Elevation mit einem vorgegebenen Mindestgewinn abdecken, wobei eine operationelle Frequenzbandbreite von rund 13% zu gewährleisten ist. Da die komplette Abdeckung dieses Raumwinkelbereichs mit einer einzelnen Antenne nicht erreicht werden kann, wird er in Sektoren unterteilt, die durch jeweils eine Antenne abgedeckt werden. Durch Schalten der Sektoren wird eine Kommunikationsstrecke in die gewünschte Richtung aufgebaut. Zur Übertragung der gewonnenen Aufklärungsdaten zwischen einer weiteren fliegenden Plattform oder einer Bodenstation soll das Kleinflugzeug mit zwei Datenkanälen ausgerüstet werden, die unabhängig voneinander im C-Band arbeiten.

Entwurf und Integration der Antennen

Untersuchungen zu verschiedenen Ansätzen für die Verteilung der Antennen auf dem Fluggerät führten schließlich zu einem Konzept, das die Integration mehrerer Patch-Antennen in die Flügelendkappen des KZO vorsieht, Abb. 2. Die Patch-Antenne ist aufgrund ihrer flachen und kompakten Bauweise im Bereich Kommunikation, Mobilfunk und Radar ein weit verbreiteter Antennentyp. Es existieren verschiedene Konzepte zur Speisung von Patch-Antennen, wobei die aperturgekoppelte Variante eine vergleichsweise hohe Bandbreite erzielt. Ein rechteckiger



2



3

Schlitz in der Massefläche des Patch-Elements ermöglicht die elektromagnetische Ankopplung an eine Mikrostreifenleitung, die sich auf der gegenüberliegenden Seite der Massefläche befindet. Pro Datenlink werden sechs Antennen in die Flügelendkappen des Fluggeräts integriert, wobei jedes Antennenelement einen Azimutwinkelbereich von mehr als 60° mit dem erforderlichen Gewinn abdeckt.

Numerische Simulation großer Plattformen

Durch den Einfluss dielektrischer und metallischer Komponenten und aktiver Systeme in der Umgebung einer Antenne weichen die im Labor gemessenen Hochfrequenz-Eigenschaften eines isolierten Antennenelements mitunter erheblich von den Eigenschaften ab, die die Antenne im eingebauten Zustand aufweist. Um im vorliegenden Anwendungsfall den Einfluss der Struktur in der Umgebung der zu integrierenden Antennen auf deren elektromagnetisches Verhalten untersuchen und mögliche Interaktionen mit der Antennenumgebung vermeiden zu können, wurde das am FHR entwickelte Simulationsverfahren FEBI eingesetzt. Damit ist es möglich, bei der Berechnung des Strahlungsverhaltens der Antennen Teile der Struktur des Fluggeräts in die Simulation mit einzubeziehen und die elektromagnetische Wechselwirkung genau zu erfassen.

Für die Untersuchungen mit FEBI wurde ein CAD-Modell des Fluggeräts von RDE zur Verfügung gestellt. Das Modell beschränkt sich lediglich auf eine Hälfte des KZO, um die numerische Komplexität des Problems und damit die Rechenzeiten möglichst gering zu halten. Die Verteilung und Anordnung unterschiedlicher Materialien im Modell wurden den realen Verhältnissen möglichst genau angenähert. In Abb. 3 sind die äquivalenten Oberflächenströme dargestellt, die von einem einzelnen Patch-Element auf der Oberfläche des KZO angeregt werden.

In Zusammenarbeit mit RDE wurden die Patch-Antennen in die Flügelendkappen eines KZO integriert und Antennenmessungen in der Messkammer sowie im Freifeld durchgeführt. Dabei konnten die durch die FEBI-Simulation berechneten Antennendiagramme bestätigt werden. Funktionstests zur Datenübertragung zwischen zwei Systemen wurden am Boden bereits erfolgreich durchgeführt; Flugversuche sind für den kommenden Sommer vorgesehen.

- 1 KZO beim Start.
- 2 Linke KZO-Flügelendkappe mit vorgesehenen Positionen der Patch-Antennen.
- 3 3D-Modell des KZO zur Berechnung der elektromagnetischen Wechselwirkung mit FEBI.

Dipl.-Ing. Claudius Löcker
 Tel. +49 228 9435-519
 Fax +49 228 9435-521
 claudius.loecker@
 fhr.fraunhofer.de

KAMPF GEGEN DIE DATENFLUT BEI RADAR: COMPRESSIVE SENSING

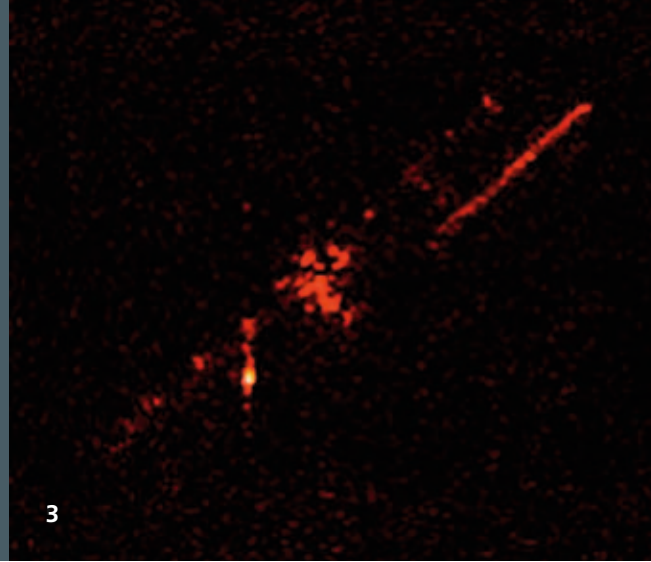
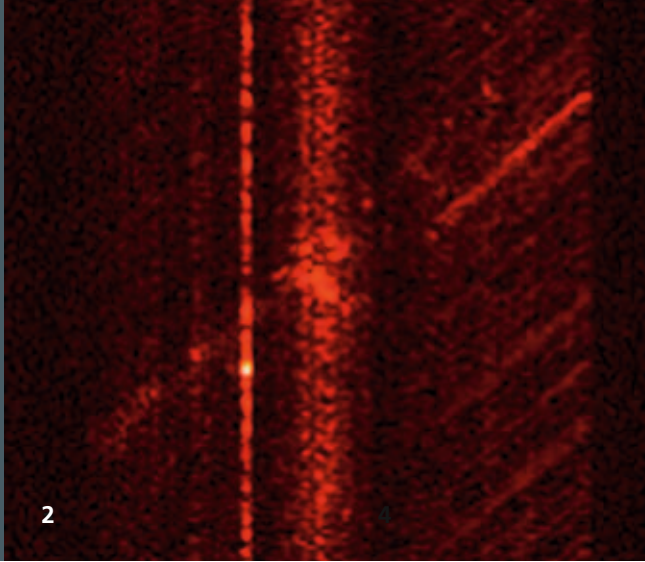
Müssen zur Erkennung einer geringen Anzahl von Radarzielen wirklich ungeheure Mengen von Rohdaten aufgenommen werden? Vielleicht nur, um dem Nyquist-Shannon'schen Abtasttheorem zu genügen? Der neue Ansatz *Compressive Sensing* sagt: Nein!

Die Radartechnik bietet heute überwältigende Möglichkeiten: Nahezu jede beliebige Wellenform kann erzeugt werden, die bearbeitbare Bandbreite wächst weit über die GHz-Grenze hinaus, die A/D-Wandlung kann bereits nahe am Antennenelement geschehen, dann aber parallel mit immer mehr Empfangskanälen usw. Mit den neuen Möglichkeiten geht jedoch eine Datenrate einher, die sowohl bei der Speicherung als auch bei der Realzeitprozessierung an technische Grenzen stößt. Dringend gesucht sind Methoden, die Anzahl zeitlicher und räumlicher Abtastwerte einzusparen, ohne die Leistungsfähigkeit des Radarsystems nennenswert zu beeinträchtigen.

Bei realen Radaraufgaben besteht die Szene, die zu erfassen ist, nur aus wenigen (S) Streuzentren, von denen oft nur die Positionen und Amplituden interessieren. Um diese überschaubare Anzahl von Parametern zu bestimmen, werden für gewöhnlich hohe zeitliche Abtastraten oder eine große Anzahl von Antennenelementen verwendet. Die Folge ist eine Datenflut, mit denen die Signalverarbeitungsalgorithmen fertig werden müssen, um letztendlich gerade diese maximal S Zielmeldungen zu generieren!

Sparsame Abtastung für sparsam besetzte Szenen

Einen neuen Zugang beschreitet die Theorie des ‚*Compressive Sensing*‘ (CS) [E. Candès, J. Romberg: Sparsity and incoherence in compressive sampling, *Inverse Problems*, vol. 23, 2007]. Es wird eine sparsam besetzte Szene vorausgesetzt, beschrieben durch n Koeffizienten, von denen maximal $S \ll n$ ungleich null sind. Ziel ist es, mit möglichst wenigen ($m < n$) geeigneten Sensorsignalen hinreichende Information über die unbekannte Szene zu erhalten. Ein linearer Optimierungsalgorithmus liefert Lösungen des linearen unterbestimmten Gleichungssystems, die die verdünnte Szene bei geeigneter Parameterwahl hervorragend rekonstruieren.



CS für Radar am Beispiel von Satellitenbildern

Die Anwendbarkeit von CS auf Radar wurde weltweit erst in den letzten drei Jahren untersucht und in einigen wenigen Artikeln veröffentlicht. Im Jahr 2009 wurde vom Autor die Wirksamkeit von CS für drei typische Radaraufgaben getestet, wobei neben Simulationen auch Realdaten vom TIRA-Radarsystem eingesetzt wurden. Als Beispiel für eine der verschiedenen untersuchten Anwendungen von CS soll hier die Abbildung von Weltraumobjekten mit dem Verfahren der inversen synthetischen Apertur (ISAR) näher erläutert werden.

Klassisch wird eine Wellenform mit hoher Bandbreite ausgesendet, nach Abtastung der Echos folgt eine digitale Pulskompression. Es wurde nun gezeigt, dass der CS-Ansatz im Gegensatz zu dem klassischen gleichmäßig belegten breitbandigen Spektrum nur die Ausstrahlung einiger weniger konstanter Frequenzen benötigt, um gute Ergebnisse zu erzielen. Beginnt man die Signalverarbeitung mit einer klassischen Dopplerfilterung, werden die einzelnen Streuzentren des Objektes schon auf verschiedene Dopplerzellen verteilt, so dass die Annahme von nur wenigen Zentren längs der Entfernung für eine feste Dopplerfrequenz gerechtfertigt ist. Die anschließende Pulskompression kann dann mit dem CS-Algorithmus geschehen.

Bei den vorliegenden realen Daten wurde zunächst als Referenz eine Bildgenerierung mit allen verfügbaren Abtastwerten durchgeführt (Abb. 1). Die Situation des sparsamen Sampling wurde durch zufällige Auswahl einiger Frequenzen im Signalspektrum erreicht. Wird auf dieser reduzierten Datenbasis eine klassische Verarbeitung mit *matched filter* durchgeführt, so treten durch die starke Verdünnung der Frequenzwerte erhebliche Nebenkeulen auf, so dass das ISAR-Bild bis zur Unkenntlichkeit an Qualität einbüßt (Abb. 2). Der Einsatz des CS-Algorithmus erzielt jedoch ein Bildergebnis (Abb. 3), das mit dem ursprünglichen vergleichbar ist, obwohl nur ein Bruchteil der ursprünglichen Abtastwerte verwendet wurde.

Zukünftige Wege zum sparsamen Radar

Die Untersuchungen sind im Detail in der Veröffentlichung [J.H.G. Ender: „On compressive sensing applied to radar“, *Elsevier Signal Processing* (2010)] beschrieben. Offensichtlich haben die CS-Ansätze das Potenzial, zu neuen Systemauslegungen für eine ganze Reihe von Anwendungen zu führen. Signalgeneratoren, die nur einige ausgewählte Frequenzen nacheinander oder gleichzeitig erzeugen, sowie Empfangsbausteine mit parallelen Frequenzkanälen, vielleicht in Chip-Form, könnten Wegmarken zur technischen Nutzung des innovativen Gedankens darstellen. Räumlich verdünnte Arrays könnten eine Renaissance erleben und mit wenigen Strahlerelementen unter Nutzung von CS zuverlässig den Raum absuchen – ein Vorteil vor allem für die Unterbringung von Antennen an der Außenhaut kleinerer Luftfahrzeuge wie UAVs.

1 ISAR-Abbildung eines Satelliten mit der klassischen Methode. Es wurden 1.737.728 Abtastwerte verwendet.

2 Nach Verdünnung auf 71.680 Abtastwerte durch Reduktion der genutzten Frequenzen (Sparfaktor 24). Die herkömmliche Verarbeitung mit dem *matched filter* liefert ein Bild niedriger Qualität.

3 Compressive Sensing, angewendet auf dieselben 71.680 Abtastwerte. Die ursprüngliche Qualität wurde nahezu erreicht, es sind sogar Tendenzen zur Superauflösung erkennbar.

Prof. Dr. Joachim Ender
Tel. +49 228 9435-227
Fax +49 228 9435-618
joachim.ender@
fhr.fraunhofer.de



MARSIG – ENTWICKLUNG EINES RADARS FÜR SCHIFFSSIGNATURMESSUNGEN

Die weltweiten Einsätze der Bundesmarine erfordern einen verbesserten Schutz ihrer Schiffe vor Terror-Angriffen. Dazu ist es notwendig, auch Seeziele mit geringem Radar-Rückstreuquerschnitt wie etwa Schlauchboote frühzeitig identifizieren zu können.

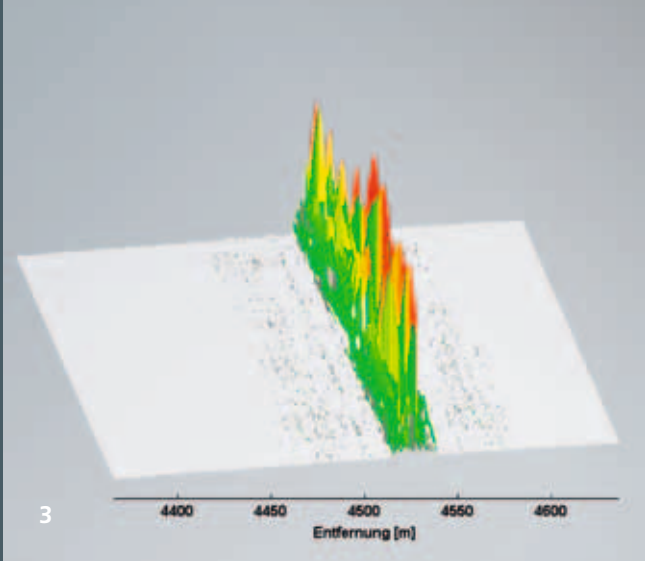
Die Radar-Vermessung von Seezielen ist aus verschiedenen Gründen eine schwierige Aufgabe: Einerseits herrschen aufgrund unerwünschter Reflexionen durch die Wasseroberfläche (Clutter) und der Atmosphärenschichtung über dem Meer besondere Bedingungen für die Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung. Andererseits können die Eigenbewegungen des Schiffes um die eigenen Achsen (Rollen, Stampfen und Gieren) die Radar-Signatur erheblich verändern. Um unter diesen speziellen Gegebenheiten so unterschiedliche Zielklassen wie Marineschiffe, Kleinziele wie Schwimmer und Schlauchboote sowie Düppel sicher erfassen und charakterisieren zu können, wurde ein hochauflösendes, frequenzagiles und polarimetrisches Radarsystem als Technologie-Demonstrator konzipiert und realisiert.

Vorteil durch Abwärtsmischen der Betriebsfrequenz

Das Radar MARSIG arbeitet nach dem frequenzmodulierten Dauerstrich-Verfahren (FMCW), wobei die Bandbreite der Frequenzmodulation 200 Megahertz und die damit verbundene Entfernungsauflösung 75 Zentimeter beträgt. Eine Besonderheit des Radar-Entwurfs ist, dass hier von einer wesentlich höheren Frequenz als der Betriebsfrequenz, nämlich von 39,2 Gigahertz, ausgegangen wird und durch Abwärtsmischung die jeweilige Sendefrequenz erzeugt wird. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass nur wenige Nebenlinien erzeugt werden, die dann für die weitere Verarbeitung keine Rolle spielen. Es ist nur eine relativ einfache Filterung auf den Bereich 8 bis 18 Gigahertz notwendig. Um das undefinierte Übersprechen zwischen Sende- und Empfangssignal zu minimieren, wird mit getrennten Antennen für Sender und Empfänger gearbeitet. Die Antennen sind zweifach polarisiert, wobei im Sendefall die Polarisation (langsam) zwischen horizontal und vertikal umgeschaltet werden kann und der Empfänger über zwei Kanäle verfügt, die jeweils von einem Ausgang der in die Antenne integrierten Polarisationsweiche angesteuert werden.



2



3

Unterstützend wird ein kommerzielles X-Band-Rundsuchradar (FURUNO) eingesetzt, das bei Auswahl des Messobjektes im Zielgebiet Positionsdaten und Entfernungen liefert. Mit diesen Daten ist sowohl eine manuelle wie auch eine automatisch gesteuerte Nachführung des MARSIG-Radars möglich. In einem zweiten Modus wird die Information aus dem AIS (*Automatic Identification System*), das in der zivilen Schifffahrt bei Schiffen ab einer Bruttoreaumzahl von 300 BRZ Pflicht ist, zur Zielnachführung genutzt. Dessen maximal mögliche Datenrate von 0,5 Hertz reicht für alle gängigen Konfigurationen zur Messung des Radar-Rückstreuquerschnitts (RCS) aus. Im Messsystem MARSIG ist eine Schnittstelle für die Einbindung eines AIS-Empfängers vorgesehen und die Auswertung der eingehenden Daten entsprechend des standardisierten Datenprotokolls für die Zielverfolgung vorbereitet.

Erfassung der räumlichen Lage des Schiffes

Da die gemessenen Radarsignaturen auch zur Validierung von Ergebnissen auf der Basis von RCS-Simulationsrechnungen dienen sollen, spielt der Aspektwinkel zum messenden Radar eine entscheidende Rolle. Die RCS-Signatur variiert erheblich mit der Eigenbewegung des Schiffes, so dass ein Vergleich mit errechneten Signaturen anhand von CAD-Modellen erschwert wird. Eine Registrierung der Eigenbewegung ist daher notwendig. Zu diesem Zweck wurde eine Messeinrichtung entwickelt, die mit Hilfe dreier GPS-Empfänger aus der Auswertung der Phasensignale eines GPS-Satelliten neben der Position auch die Lage des Schiffes im Raum bestimmen kann. Nach der Prozessierung der Daten in einer integrierten Rechneinheit werden diese per Telemetrie an das Messradar zur Weiterverarbeitung übertragen. Abb. 2 zeigt die Montage der drei tellerförmigen GPS-Empfangsantennen auf dem Schlauchboot des FHR bei Testfahrten in der Eckernförder Bucht vor Surendorf. Die Bedieneinheit erlaubt auch die Quick-Look-Auswertung der Daten. Mit der Datenerfassungs- und Auswertesoftware können simultan die Entfernungsprofile für vier Sendefrequenzen oder alternativ als Funktion der Zeit (zwei- bzw. dreidimensional, Abb. 3) dargestellt werden. Die Offline-Auswertung erlaubt die Gewinnung des RCS als Funktion des Aspektwinkels (Polardiagramm), jeweils für die gewählten Sende-Empfangspolarisationen und Frequenzen. Nach dem Verfahren der Inversen Synthetischen Apertur (ISAR) können hochaufgelöste Streuzentrenverteilungen auf dem Ziel dargestellt werden. Sukzessive Auswertung der Kreiskurse ergibt dabei eine Draufsicht auf das Ziel. Bei Schiffen, die durch entsprechende Steuerung der Stabilisatoren in eine Rollbewegung versetzt werden können, ist auch die Gewinnung von Höhenprofilen möglich.

MARSIG wurde bereits mehrfach bei internationalen Messkampagnen, insbesondere der NATO MCG 8, eingesetzt. Es eignet sich auch zur Charakterisierung von fliegenden Zielen.

- 1 Frontend des FMCW-Radarsystems MARSIG.
- 2 Schlauchboot des FHR bei Testfahrten in der Eckernförder Bucht mit den drei tellerförmigen GPS-Empfangsantennen.
- 3 Ansicht der Benutzersoftware zur Datenerfassung und Auswertung, hier z. B. zwei- bzw. dreidimensionale Darstellung der Messdaten als Funktion der Zeit.

Dr. rer. nat. Helmut Essen
 Tel. +49 228 9435-208
 Fax +49 228 9435-608
 helmut.essen@
 fhr.fraunhofer.de

AUS DEM INSTITUT



AUS DEM INSTITUT

Das Jahr 2009 wurde durch ein entscheidendes Ereignis geprägt: Die Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft forderte in vielen Bereichen eine Neuausrichtung.

Von der Entwicklung der Idee, die grundfinanzierte Verteidigungsforschung in Deutschland zu bündeln, über die Empfehlung des deutschen Wissenschaftsrates zur Aufnahme der wissenschaftlich anerkannten FGAN-Institute in die Fraunhofer-Gesellschaft bis zur offiziellen Eingliederung am 18. August 2009 mussten einige Hindernisse aus dem Weg geräumt werden. Das Jahr 2009 stand daher ganz im Licht der positiven Entscheidung, den Instituten in der Fraunhofer-Gesellschaft neue und bessere Rahmenbedingungen anzubieten, um im nationalen und internationalen Forschungswettbewerb erfolgreich weiter zu bestehen.

Am 24. Juni wurde die Verschmelzung der Forschungsgesellschaften mit der Unterschrift der Vorstände bei der Mitgliederversammlung in München endgültig auf den Weg gebracht. Mit der Eintragung in das Vereinsregister in München am 18. August wurde dies rechtswirksam. Nach 53 Jahren unter dem Dach der „Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften FGAN e. V.“ (bzw. dem Vorläufer „Gesellschaft zur Förderung der astrophysikalischen Forschung e. V.“) wurden die drei Institute „Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik“ (FHR), „Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie“ (FKIE) und das „Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung“ (FOM) zu Fraunhofer-Instituten.

Noch vor der offiziellen Eingliederung besuchte der damalige Personalvorstand der Fraunhofer-Gesellschaft, Frau Professorin Marion Schick, am 10. Juli die beiden Institute in Wachtberg und gab den Führungskräften einen Einblick in die Fraunhofer-Zukunft.

Neben der Erweiterung der militärischen Forschungsarbeiten auf zivile Anwendungen waren auch umfangreiche organi-

satorische Änderungen erforderlich. Die Mitarbeiter der ehemaligen FGAN-Verwaltung, die sich zentral um alle drei Institute kümmerten, wurden auf die zwei Wachtberger Institute verteilt. Gleichzeitig bestimmte jedes Institut einen Verwaltungsleiter, der die Institutsleitung in kaufmännischen und personellen Fragen entlastet. Im FHR hat Herr Jürgen Neitzel diese Tätigkeit übernommen. Zur Unterstützung der Institutsleitung im Bereich Presse- und Öffentlichkeitsarbeit wurde eine Stabsstelle „Interne und externe Kommunikation“ eingerichtet, die mit Herrn Jens Fiege besetzt wurde.

Gefeiert wurde die Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft auf Einladung des Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft am 28. Oktober 2009 in Wachtberg. Professor Dr. Hans-Jörg Bullinger begrüßte alle Mitarbeiter am Standort und nahm sich auch die Zeit, sich ausgewählte Forschungsarbeiten anzusehen. Dabei besuchte er auch zum ersten Mal die schon von weitem sichtbare „Kugel“, das größte Experimentalsystem des FHR. Zur Information der neuen Fraunhofer-Mitarbeiter über besondere Innovationen aus der Gesellschaft kam der Fraunhofer-Truck am 2. November 2009 auf das Gelände in Wachtberg. Auch bei unseren Partnern und den Schulen in der Umgebung fand die Ausstellung im Truck großen Anklang.

Zur Vernetzung der Kompetenzen innerhalb der Gesellschaft organisieren sich fachlich oder themenspezifisch nahe liegende Institute in Verbänden. Das FHR wurde am 20. Oktober in den Verbund „Verteidigungs- und Sicherheitsforschung VVS“ und am 24. November in den „Verbund Mikroelektronik VuE“ aufgenommen. Da auch das Nachbarinstitut FKIE in den VVS aufgenommen wurde, fand die erste VVS-Sitzung mit Beteiligung des FHR und des FKIE in Wachtberg statt.

Bei der konstituierenden Sitzung des Kuratoriums des FHR am 27. November wurden die neuen Mitglieder durch das Vorstandsmitglied Dr. Alfred Gossner berufen. Professor Herrmann Rohling (TU Hamburg-Harburg) wurde zum Vorsitzenden gewählt, Ralph Speck (EADS) zu seinem Stellvertreter.

Der Präsident der Fraunhofer Gesellschaft Prof. Bullinger zu Besuch in Wachtberg mit den Leitern von FHR, FKIE und FOM.



Organisationsentwicklung FHR

Um auch in Zukunft Spitzenforschung zu leisten, werden einerseits flexible und hoch motivierte Mitarbeiter und andererseits eine gut durchdachte Organisation benötigt. Aus diesem Grund hat die Institutsleitung Anfang 2008 beschlossen, einen Institutsentwicklungsprozess einzuleiten. Im Vordergrund stand dabei die Gestaltung der Rahmenbedingungen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter derart, dass durch Steigerung der Arbeitsfreude, kontinuierliche Weiterbildung sowie durch Anreizsysteme die Eigenmotivation und Leistungsbereitschaft erhöht und damit die wissenschaftlichen Ergebnisse des Institutes insgesamt weiter gesteigert werden. Dabei soll die vorhandene humane und soziale Institutskultur erhalten bleiben; das FHR soll im Wettbewerb um die besten Köpfe eine Spitzenstellung im wissenschaftlichen Umfeld erreichen. Ferner sollen Transparenz und Zusammenarbeit über die Abteilungsgrenzen hinweg verbessert und die administrativen Vorgänge so effizient wie möglich gestaltet werden.

Das Projekt „Organisationsentwicklung FHR“ begann mit einer „Zukunftswerkstatt“ und endete erfolgreich im Mai 2009 mit zahlreichen Konzepten niedergelegt in einem 285-seitigen Bericht. Einige stehen noch zur Umsetzung an, aber viele Konzepte wurden bereits realisiert. So wurde zum Beispiel im Wintersemester 2008/2009 ein Doktorandenprogramm etabliert. Dabei tauschen sich die Doktoranden des Instituts aus, präsentieren ihre Zwischenergebnisse und werden fachlich betreut. Mit der Entwicklung von Rollendefinitionen für Team- und Projektleiter wurde der Grundstein zur Einführung einer neuen Strukturierung der Abteilungen gelegt. Am 1. September wurden in allen Abteilungen Teams definiert und Teamleiter benannt. Die neue Intranetseite des FHR wurde im Juli 2009 veröffentlicht und wird nun stetig erweitert. Zum ersten Mal wurde auch eine systematische Mitarbeiterbefragung zur Zufriedenheit über das Arbeitsumfeld, den Arbeitgeber und die Führungskräfte durchgeführt. Das Ergebnis fiel sehr positiv aus: So wurden das Arbeitsklima und die Familienfreundlichkeit besonders positiv beurteilt. Auch war die Mehrheit der Befragten mit dem FHR als Arbeitgeber zufrieden.

Besuche

Gleich zu Beginn des Jahres besuchten technikbegeisterte Mitglieder des „Deutschen Amateur-Radio-Clubs e. V.“ das FHR. Ein Artikel über den Besuch erschien im „CQ DL“-Clubmagazin, welches jedes der 40000 Mitglieder erhält. Im März informierte sich der Parlamentarische Staatssekretär im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Hartmut Schauerte, beim größten Arbeitgeber in Wachtberg über die Forschungsarbeiten. Aufgrund der engen Kooperation des FHR mit dem „Defence Research and Development Canada DRDC“ stattete der Botschafter von Kanada in Deutschland, Dr. Peter Boehm, dem FHR im März einen Besuch ab, um sich vor Ort über die bilateralen Forschungsaktivitäten zu informieren. Besonders beglückwünschte der Botschafter den kanadischen Wissenschaftler Dr. Christoph Gierull, der



seine wissenschaftliche Karriere 1991 beim FHR begann, 2000 nach Kanada auswanderte und nun wieder für drei Jahre als Gastwissenschaftler beim FHR forschte, für besondere wissenschaftliche Leistungen und die Förderung des deutsch-kanadischen Austausches. Ebenfalls im März machte sich die Vorsitzende des Verteidigungsausschusses des Deutschen Bundestages, Frau Ulrike Merten, ein Bild über die Forschungsarbeiten im FHR. Zur Unterschrift eines Kooperationsvertrages trafen sich im September der Vizepräsident Prof. Bandorf der Fachhochschule Bielefeld mit Vertretern aus dem FHR in Wachtberg.

Im Oktober informierte sich der stellvertretende Befehlshaber des Luftwaffenführungskommandos, Generalmajor Joachim Wundrak, über die Fähigkeiten des FHR insbesondere im Bereich Weltraumbeobachtung. Als Beispiel wurde dem General eine Satellitenvermessung live vorgeführt.

Häufig veranstaltete das FHR auch Führungen für interessierte Studentengruppen aus den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Bereichen. 2009 besuchten das Institut unter anderem Studentinnen und Studenten der RWTH Aachen, der Fachhochschule Aachen, der Universität Bochum und der Universität Bonn.

Veranstaltungen und Messebeteiligungen

Zum 6. Mal nahm das FHR im Jahr 2009 am Girls' Day teil. 25 Mädchen bekamen die Möglichkeit, sich verschiedene Arbeiten im Institut anzuschauen und technische Tätigkeiten kennenzulernen, wie zum Beispiel den Aufbau einer elektrischen Schaltung für ein Radio.

Zum ersten Mal veranstaltete das FHR im Juli einen einwöchigen Sommerkurs zum Thema Radar. Aus zahlreichen Bewerbern aus der ganzen Welt wurden 30 Teilnehmer ausgewählt, die in Remagen in der *1st International Summer School on Radar / SAR* viel über Radar, aber auch einiges über die Umgebung und die Kultur des Rheinlandes lernen konnten.

Bereits zum dritten Mal stellte das FHR gemeinsam mit dem IAF auf der *European Microwave Week* aus, Europas größten Messe und Konferenz zum Thema Mikrowellen, Hochfrequenztechnik und Radar.

Bei der vom Fraunhofer-Verbund für Verteidigung und Sicherheitsforschung veranstalteten Sicherheitskonferenz „Future Security“ beteiligte sich das FHR zum ersten Mal unter dem Dach der Fraunhofer-Gesellschaft am gemeinsamen Fraunhofer Messestand. Wie in den Vorjahren erfolgte auch eine Beteiligung mit Konferenzbeiträgen.

1 *Studenten der 1st International Summer School on Radar / SAR mit Dozentin Frau Dr. Cerutti-Maori bei der Arbeit im Workshop.*

2 *Dr. Leushacke erläutert Generalmajor Joachim Wundrak im Steuerraum die Fähigkeiten der Großradaranlage TIRA.*

3 *Der Fraunhofer-Truck im Schatten der „Kugel“ auf dem Institutsgelände in Wachtberg.*

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

FRAUNHOFER-VERBÜNDE

VERBUND MIKROELEKTRONIK

Der Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik (V μ E) koordiniert seit 1996 die Aktivitäten der auf den Gebieten Mikroelektronik und Mikrointegration tätigen Fraunhofer-Institute: Das sind zwölf Institute (und drei Gastinstitute) mit ca. 2700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das jährliche Budget beträgt etwa 255 Millionen Euro.

Die Aufgaben des Fraunhofer V μ 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 gebündelt in den Querschnittsfeldern:

- Halbleitertechnologie
- Technologien der Kommunikationstechnik und den anwendungsorientierten Geschäftsfeldern
- Licht
- Sicherheit
- Energieeffiziente Systeme & eMobility
- Ambient Assistent Living AAL
- Unterhaltung

Die Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik ist das zentrale Koordinierungsbüro. In enger Zusammenarbeit mit den Instituten bildet sie das Bindeglied zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik.

Mitglieder

Fraunhofer-Institut für

- Angewandte Festkörperphysik IAF
- Digitale Medientechnologie IDMT (Gast)
- Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
- Integrierte Schaltungen IIS
- Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB
- Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS
- Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI
- Offene Kommunikationssysteme FOKUS (Gast)
- Photonische Mikrosysteme IPMS
- Siliziumtechnologie ISIT
- Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP (Gast)
- Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM

Fraunhofer-Einrichtung für

- Systeme der Kommunikationstechnik ESK
- Elektronische Nanosysteme ENAS
- Fraunhofer-Center Nanoelektronische Technologien CNT

www.vue.fraunhofer.de

VERBUND VERTEIDIGUNGS- UND SICHERHEITSFORSCHUNG

Seit ihrer Gründung ist die Fraunhofer-Gesellschaft neben dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) auch dem Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) verpflichtet und deckt durch ihr Leistungsspektrum den weitaus größten Teil der institutionellen Forschung des BMVg ab.

Darüber hinaus ist durch neue Sicherheitsbedrohungen und deren politische Auswirkungen eine neue nationale wie internationale Gefährdungslage entstanden. Heutige Industriegesellschaften, deren hochkomplexe und vernetzte öffentliche wie private Infrastrukturen immer verletzlicher erscheinen angesichts der Vielschichtigkeit möglicher Bedrohungen, benötigen in zunehmendem Maße Lösungen, um die Sicherheit ihrer Bürger zu gewährleisten. Zugleich schwinden in der deutschen wie internationalen Sicherheitsarchitektur ehemals klar definierte Grenzen zwischen innerer und äußerer Sicherheit mit weitreichenden Folgen für Art und Einsatz moderner Sicherheitstechnologien. Heutige Gefährdungsszenarien, die oft weit außerhalb deutscher Grenzen entstehen, haben zu einem neuen Sicherheitsverständnis geführt. Die sich daraus ergebenden Herausforderungen bilden den Rahmen der heutigen Sicherheitsforschung.

Neben der intensiven Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium der Verteidigung und dessen Unterstützung bei der Entwicklung neuer Technologien zum Schutz der Soldaten sieht der Verbund seine Hauptaufgaben und Ziele in folgenden Bereichen:

- Sicherstellen der Dual-Use-Forschung und des Know-how-Transfers zivil / militärisch
- Ausgezeichnete wissenschaftliche Qualität durch Integration

in die internationale Wissenschaftsgemeinschaft

- Unterstützung der wehrtechnischen Industrie durch gemeinsame Forschung
- Forschungsstrategische Ausrichtung hinsichtlich Anwendungen in den Bereichen: Führungsfähigkeit, Nachrichtengewinnung und Aufklärung, Mobilität, Wirksamkeit im Einsatz, Unterstützung und Durchhaltefähigkeit, Überlebensfähigkeit und Schutz
- Strategische Ausrichtung der Mitgliedsinstitute des Verbunds vor dem Hintergrund einer zukünftigen europäischen Sicherheits- und Verteidigungspolitik

Mitglieder

Fraunhofer-Institute für

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

www.vv.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

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 mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 59 Institute. 17.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,6 Milliarden Euro. Davon fallen 1,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien 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. Studentinnen und Studenten eröffnen sich an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

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

AUSBILDUNG UND LEHRE

Vorlesungen

Bertuch, T.: „Numerische Verfahren der Hochfrequenztechnik“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Wintersemester 2008/2009

Ender, J.: „Radar und Radar-Signalverarbeitung“, Ruhr-Universität Bochum, Wintersemester 2008/2009

Ender, J.: „Introduction to radar“, RWTH Aachen, Sommersemester 2009

Ender, J.: „Introduction to radar“, ZESS, Universität Siegen, Wintersemester 2009/2010

Knott, P.: „Numerische Verfahren der Hochfrequenztechnik“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Wintersemester 2008/2009

Knott, P.: „Antenna Engineering“, RWTH Aachen, Wintersemester 2009/2010

Promotionen

Gebhardt, U.: Dissertation, Thema: „Geometry, Parameter Estimation and Orbit Modeling for Hybrid Bistatic Missions“, Universität Siegen

O’Hagan, D. W.: Ph.D., Thema: „Passive Bistatic Radar Performance Characterisation Using FM Radio Illuminators of Opportunity“, University College London (UCL), April 2009

Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten

Bokaderov, S.: Diplom, Thema: „Entwicklung und Verifikation einer Entwurfssoftware zur Realisierung von Rotman-Linsen in Mikrostreifentechnologie“, FH Koblenz

Fatihi, N.: Diplom, Thema: „Bestimmung der Dielektrizitätskonstante zur Analyse von Materialien im Millimeter- und Submillimeterwellenbereich“, FH Koblenz, RheinAhrCampus

Fröhlich, A.: Diplom, Thema: „Design, Optimierung und Aufbau eines breitbandigen 40 GHz-Empfängers in SMD- sowie „Bare Die“-Technologie mit Vivaldi Antenne“, FH Aachen

Hinkefuß, F.: Diplom, Thema: „Entwicklung einer computergestützten Ansteuerung und Datenerfassung für eine Messumgebung zur Evaluierung von MEMS-Schaltern in Radaranwendungen“, Hochschule Merseburg (FH)

Hüntten, A.: Diplom, Thema: „Development of an SDR

Receiver for Radar based Detection and Tacking of Objects in Space“, RWTH Aachen

Johannes, W.: Master, Thema: „Verarbeitung des Signals eines Radarsensors mit getrennten Send- und Empfangsantennen“, Fernuniversität Hagen

Kose, S.: Diplom, Thema: „Entwicklung einer Schaltung zur Digitalisierung von Messwerten einer Hochfrequenzsonde auf Basis eines FPGA“, Hochschule Niederrhein

Krist, M.: Diplom, Thema: „Design, Aufbau und Charakterisierung alternativer Chirp-basierter Signalgenerierungsschaltungen auf Demonstratorebene für parallelen Waveform-Diversity-Betrieb in breitbandigen bildgebenden Radaren im Ka-Band sowie deren Synchronisierung“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Lang, S.: Master, Thema: „Zirkulares Synthetik-Apertur-Radar im Millimeterwellen-Bereich zur gesamtkörperabbildenden Personenkontrolle“, FH Koblenz, RheinAhrCampus

Papke, B.: Diplom, Thema: „Design, Simulation und Aufbau eines hochintegrierten breitbandigen Quadratur-Empfängers im X-Band für kompakte SAR-Systeme (auf Demonstratorebene)“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Roukaibi, A.: Diplom, Thema: „Konzeption und Entwicklung eines mechanischen Scanners für FMCW-Radare“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Sabbar, A.: Diplom, Thema: „Entwicklung eines Phasenkomparators im Ka-Band zur Auswertung und Charakterisierung von 35GHz-RF-MEMS-Phasenschiebern“, Hochschule des Saarlands (FH)

Shoykhetbrod, O.: Diplom, Thema: „Entwicklung und Verifikation der hochfrequen-

ten Komponenten für ein scannendes Radarsystem in Mikrostreifentechnik“, FH Koblenz

Simon, J.: Diplom, Thema: „Hochauflösende Radarverfahren zur Detektion und Ortung schnell herannahender Objekte“, RWTH-Aachen

Warok, P.: Diplom, Thema: „Entwicklung einer schaltbaren Filterbank zum Aufbau eines breitbandigen HF-Radarsystems“, FH Bielefeld

Wotzke, H.: Diplom, Thema: „Entwicklung eines universellen Drehwinkeldecoders für Antennen-Positionierer“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Ziegler, E.: Diplom, Thema: „Entwicklung eines kohärenten mehrkanaligen Signalgenerators“, FH Koblenz

Dozententätigkeiten bei Fachseminaren und Beratungsveranstaltungen

Bertuch, T.: „Workshop Antenna front-end aspects of radar system design“, 1st International Summer School on Radar / SAR, Remagen, Juli 2009

Bertuch, T.: „Electromagnetic Modelling, Design and Applications of Metamaterials“, Doktorandenseminar Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Cartagena (ES), Januar 2009

Brenner, A.: „Luftgestützte Radar-Aufklärung“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, Mai 2009

Bürger, W.: „Schutzmaßnahmen gegen elektronisches Stören der Radare“, CCG-Seminar FA 01.12 Grundlagen und Trends der elektronischen und optronischen Aufklärungs-, Schutz- und Gegenmaßnahmen, Ulm, November 2009

Cerutti-Maori, D.: „Workshop SAR Imaging I“, 1st International Summer School on Radar / SAR, Remagen, Juli 2009

Ender, J.: „Aufklärung durch Radar - Zukünftige Verfahren und Systeme“, CCG-Seminar FA 1.06 Optische, elektrooptische und radargestützte Aufklärung, Oberpfaffenhofen, März 2009

Ender, J.: „Einführung in Radarverfahren“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar - Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, Mai 2009

Ender, J.: „Introduction to Radar“, 1st International Summer School on Radar / SAR, Remagen, Juli 2009

Ender, J.: „Introduction to Bistatic SAR“, 1st International Summer School on Radar / SAR, Remagen, Juli 2009

Ender, J.: „SAR and Moving Targets“, CCG-Seminar SE 2.06 SAR Principles and Application, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009

Ender, J.: „System Architectures and Algorithms for Radar Imaging by MIMO-SAR“, ZESS Winterschool, Siegen, November 2009

Essen, H.: „Radargrundlagen“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009

Essen, H.: „Bestimmung des RCS“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009

Essen, H.: „RCS-Messanordnungen“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009

Essen, H.: „Ziel- und Hintergrundsignaturen im mmW-Bereich“, CCG-

Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009

Essen, H.: „Millimeterwellen- und Terahertz-Warnsensorik“, CCG-Seminar SE 3.11 Warnsensorik, UV, IR, mmW, THz, Oberpfaffenhofen, November 2009

Essen, H.; Luedtke, G.: „Bildgebende Verfahren zur Detektion von Gefahrstoffen, Röntgenstrahlung, Terahertz-Techniken, Einsatz von Millimeterwellen“, Seminar VS 10.06 Detektion von Explosivstoffen, Pfnitztal, Oktober 2009

Essen, H.: „Höchstfrequenztechnologie für Zielsuchkopf-, Aufklärungs- und Sicherheitsanwendungen“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, Mai 2009

Essen, H.: „Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und

- Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009
- Gierull, C.: „SAR and Moving Target Recognition“, 1st International Summer School on Radar / SAR, Remagen, Juli 2009
- Kirchner, C.: Vorführung des experimentellen SAR/MTI-System „PAMIR“ (Phased Array Multifunctional Imaging Radar), CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, Mai 2009
- Klare, J.: „Workshop SAR Imaging II“, 1st International Summer School on Radar / SAR, Remagen, Juli 2009
- Knott, P.: „Forschung und Ausbildung am Fraunhofer FHR“, Ringvorlesung der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, St. Augustin, Oktober 2009
- Knott, P.: „Innovative Antenna Design and Electromagnetic Modelling“, Doktorandenseminar Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Cartagena (ES), Januar 2009
- Knott, P.: „Konforme und strukturintegrierte Antennen“, CCG Seminar Intelligente Antennensysteme, Oberpfaffenhofen, November 2009
- Kuschel, H.: „Meterwellenradar zur Detektion RCS-reduzierter Ziele“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009
- Kuschel, H.: „Passives Radar“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009
- Leushacke, L.: „Weltraumüberwachung und -aufklärung mittels Radargeräten“, BAKWVT, Mannheim, Juli 2009
- Leushacke, L.: „Radar zur Aufklärung und Überwachung des Weltraums“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar, Wachtberg, Mai 2009
- Nübler D.: „Vorführung Millimeterwellen-Systeme“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, Mai 2009
- O’Hagan, D. W.: „Bistatic Radar Workshop – A work in progress“, 1st International Summer School on Radar / SAR, Remagen, Juli 2009
- Pamies, M.; Löcker, C.; Bertuch, T.; Knott, P.: „Development of a Low-Cost Coherent Radar for Exploratory Tasks“, Winter School (ZESS), Siegen, November 2009
- Schimpf, H.: „RCS- Statistik“, Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009
- Schimpf, H.: „Radar-Polarimetrie“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009
- Schimpf, H.: „Einfluss von Tarnmaßnahmen auf das Detektionsverhalten im mmW-Bereich“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2009
- Schimpf, H.: „Radar-Polarimetrie – Grundlagen und Anwendungspotential für Überwachung und Aufklärung“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar - Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, Mai 2009
- Wilden, H.: „Technologie der phasengesteuerten Gruppenantennen“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar - Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, Mai 2009

VERÖFFENTLICHUNGEN

Veröffentlichungen in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften

- Chartier, S.; Tessmann, A.; Leuther, A.; Weber, R.; Kallfass, I.; Schlechtweg, M.; Stanko, S.; Essen, H.; Ambacher, O.: „Advanced mHEMT MMICs for 220 GHz High-Resolution Imaging Systems“, *physica status solidi (c)*, Vol. 6, No. 6, pp. 1390-1393, Juni 2009
- Kohlleppel, R., Gierull, C.: „Enhancement of Along-Track Interferometry for Ground Moving Target Indication“, *European Journal of Navigation*, Vol. 7, No. 3, Dezember 2009
- Uschkerat, U.; Haumtratz, T.: „Evaluation of LDC as Mitigation Technique for the Radar Service“, *Frequenz*, Vol. 63, No. 9-10, pp. 214-216, September/Okttober 2009
- Vaupel, T.: „Spectral Domain Techniques for the Fast and Accurate Solution of Larger Microwave and Thin Layer Structures“, *Frequenz*, Vol. 63, No. 7-8, pp. 134-138, Juli/August 2009
- Vaupel, T.: „A Fast Spectral Domain Solver for the Characterization of Larger Microwave Structures in Multilayered Environments“, *ACES Journal*, Vol. 24, No. 5, pp. 493-503, Oktober 2009
- Wang, R.; Loffeld, O.; Nies, H.; Knedlik, S.; Ender, J. H. G.: „Chirp Scaling Algorithm for the Bistatic SAR Data in the Constant-Offset Configuration“ *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No.3, pp. 952-964, März 2009
- Wang, R.; Loffeld, O.; Nies, H.; Ender, J. H. G.: „Focusing Hybrid Spaceborne/Airborne Bistatic SAR Data using wave Number Domain Algorithm“, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 7, pp. 2275-2283, Juli 2009
- Weinmann, F.: „UTD Shooting-and-Bouncing Extension to a PO/PTD Ray Tracing Algorithm“ *ACES Journal*, Vol. 24, No. 3, pp. 281-293, Juni 2009

Konferenzbeiträge

Aida, S.; Patzelt, T.;
Leushacke, L.; Kirschner, M.;
Kiehling, R.: „Monitoring
and Mitigation of Close Pro-
ximities in Low Earth Orbit“,
Proceedings of ISSD 2009

Berens, P.; Gebhardt, U.;
Holzner, J.: „ISAR Imaging
of Ground Moving Vehicles
Using PAMIR Data“, SEE
International Radar Confe-
rence, Bordeaux (FR), Oktober
2009

Bertuch, T.: „A Circular
Switched Parasitic Array
Antenna for High Power Data
Link Applications“, European
Conference on Antennas and
Propagation (EuCAP), Berlin,
Germany, März 2009

Bertuch, T., Vecchi, G.:
„Efficient Space-Domain
Formulation for Integral
Equation Modeling of Printed
Metallizations on Coated
Cylinders“, International
Conference on Electromagne-
tics in Advanced Applications
(ICEAA), Turin (IT), September
2009

Cerutti-Maori, D.; Sikaneta,
I.: „System-Dependent
Decorrelation Sources in
Multi-Channel SAR-GMTI
and their Impact on DPCA“,
SEE International Radar
Conference, Bordeaux (FR),
Oktober 2009

Ender, J.: „Radar Extending
From a Pure Military Focus
to Broad Civilian Applica-
tions“, International Radar
Symposium (IRS), Hamburg,
September 2009

Ender, J., Klare, J.: „System
Architectures and Algorithms
for Radar Imaging by MIMO-
SAR“, International Radar
Conference (RadarCon),
Pasadena (USA), Mai 2009

Essen, H.; Bräutigam, M.;
Sommer, R.; Wahlen, A.;
Wilcke, J.; Johannes, W.;
Stanko, S.; Schlechtweg,
M.; Tessmann, A.: „A Mini-
aturized W-Band Radar for
UAV-SAR Applications“, 5th
ESA Workshop on mm-Wave
and 31st Antenna Workshop,
ESTEC, Noordwijk (NL), Mai
2009

Essen, H.; Biegel, G.; Brehm,
T.; Hägelen, M.: „Evaluation
of CCD Measures on Land
Targets“, NATO SCI-213
Symposium on Evaluation,
Testing and Evaluation of
Multispectral CCD Systems
in Operational Environments,
Brno (CZ), Mai 2009

Essen, H.; Wahlen, A.;
Sommer, R.; Johannes, W.;
Wilcke, J.; Schlechtweg,
M.; Tessmann, A.: „A
versatile, miniaturized high
Performance W-Band Radar“,
German Microwave Confe-
rence (GeMiC), München,
März 2009

Essen, H.; Nüßler, D.; Von
Wahl, N.; Heinen, S.: „Mil-
limetre Wave Propagation
Through Vegetation“, SPIE
Remote Sensing Europe,
Berlin, September 2009

Essen, H., Bräutigam, M.,
Sommer, R., Wahlen, A.,
Johannes, W., Wilcke, J.,
Tessmann, A., Schlechtweg,
M.: „SUMATRA – a W-Band
SAR for UAV Application“,
SEE International Radar
Conference, Bordeaux (FR),
Oktober 2009

Flohrer, T.; Krag, H.; Klinkrad,
H.; Juusela, J.; Leushacke, L.;
Schildknecht, T.; Ploner, M.:
„Orbit Determination from
Combined Radar and Optical
Tracks during XMM Contingency
Operations“, European
Conference on Space Debris,
Darmstadt, März 2009

Fuchs, H.-H.; Essen, H.;
Lindqvist, G.; Pagels, A.:
„Influence of Atmospheric
Propagation in the Maritime
Boundary Layer on the
measured RCS of Ships“,
SPIE Remote Sensing Europe,
Berlin, September 2009

Gebhardt, U.; Berens,
P.; Holzner, J.: „A Linear
Kalman Filter Approach for
Estimation of a Vehicle's
Motion Parameters Using
Range-Doppler Tracking and
Road Information“, IEEE
International Geoscience and
Remote Sensing Symposium
(IGARSS), Kapstadt (ZA), pp.
V-324-V327, Juli 2009

Gonzalez-Huici, M.-A.;
Uschkerat, U.: „Modelling
of a Complex GPR Scenario
in Landmine Detection“,
International Workshop on

- Advanced Ground Penetrating Radar, Granada (ES), Mai 2009
- Haumtratz, T.; Schiller, J.: „Classifying Air Targets Using a Selection of Robust Classification Features“, Signal Processing Symposium (SPS), Jachranka (PL), Mai 2009
- Klare, J.: „High Resolution 3D-Radar Imaging with the Nadir Looking UAV-borne MIMO-Radar ARTINO“, German Microwave Conference (GeMiC), München, März 2009
- Klemm, R.; Mertens, M.: „New Results on Convoy Tracking by Airborne Radar. Part I: Sensor performance“, SEE International Radar Conference, Bordeaux (FR), Oktober 2009
- Knott, P.; Löcker C.: „Design of a Structure Integrated Antenna for a Small Unmanned Aerial Vehicle“ (Invited Paper), European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Berlin, März 2009
- Kohlleppel, R.; Mertens, M.: „Indication and Tracking of Ground Moving Targets with the PAMIR System: Experimental Results“, International Radar Symposium (IRS), Hamburg, September 2009
- Kuschel, H.; Heckenbach, J.; Schell, J.; Wißmann, W.: „Effects of Wind Plants on Passive Radar Operation“, SEE International Radar Conference, Bordeaux (FR), Oktober 2009
- Kuschel, H.; Heckenbach, J.; Schell, J.: „CORA, Software Defined Passive Radar and its Applications“, RSET136 RSM NATO Specialist Meeting ‘Software Defined Radar’, Lissabon (PT), Juni 2009
- Kuschel, H.; Heckenbach, J.; Schell, J.; O’Hagan, D. W.: „Passive Radar for Homeland Defence“, International Radar Symposium (IRS), pp. 259-263, Hamburg, September 2009
- Letsch, K.; Leushacke, L. et al.: „First Results from the Multibeam Bistatic Beam-Park Experiments at FGAN“, European Conference on Space Debris, Darmstadt, März 2009
- Maresch, A.: „Properties of Moment Estimators for the K-Distribution“, EuRAD 2009, Rom (IT), September 2009
- Matthes, D.; Mathy, T.: „Software Defined Generation of Synthetic Radar False Targets with Angular Deception“, RTO SET-136 Specialist Meeting on ‘Software Defined Radar’, Lissabon (PT), Juni 2009
- Mertens, M.; Ulmke, M.; Klemm, R.: „New Results on Convoy Tracking by Airborne Radar. Part II: Tracking performance“, SEE International Radar Conference, Bordeaux (FR), Oktober 2009
- Mertens, M.; Ulmke, M.; Klemm, R.; Koch, W.: „Using Lateral Length Measurements in GMTI Convoy Tracking“, International Conference on Information Fusion, Seattle (USA), Juli 2009
- Milín, J.-L.; Moore, S.; Bürger, W.; Triboulloy, P.-Y.; Royden, M.; Gerster, J.: „AMSAR – A European Success Story in AESA Radar“, SEE International Radar Conference, Bordeaux (FR), Oktober 2009
- Nübler D.; Brauns R.; Fuchs H.-H.: „A two dimensional lens stack design for 94 GHz“, German Microwave Conference (GeMiC), München, März 2009
- Nübler D.; Fuchs H.-H.; Brauns R.: „Design of Rotman Lenses for 220 GHz in Waveguide Technology“, International Radar Symposium (IRS), Hamburg, September 2009
- O’Hagan, D.: „FM and DAB based Passive Bistatic Radar Analysis“, Signal Processing Symposium (SPS), Jachranka (PL), Mai 2009
- O’Hagan, D. W.; Kuschel, H.; Schiller, J.: „Passive Bistatic Radar Analysis“, Proceedings of SPIE, Vol. 7502, August 2009
- O’Hagan, D. W.; Kuschel, H.; Heckenbach, J.; Ummenhofer, M.; Schell, J.: „Passive Bistatic Radar at Fraunhofer-

- FHR", IQPC Military Sensors, London (UK), November 2009.
- Pagels, A.; Hägelen, M.; Briese, G.; Tessmann, A.: „Helicopter Assisted Landing System - Millimeter-Wave against Brownout", German Microwave Conference (GeMic), München, März 2009
- Savy, L.; Bürger, W.; Richardson, P.; Medley, J.: „The Relative Merits of Pre/Post-Doppler-STAP", SEE International Radar Conference, Bordeaux (FR), Oktober 2009
- Schiller, J.; Rosenbach, K.: „NCTI of Aircraft using Radar: Development of a Classification scheme with a 'pre-classifier-stage'", Signal Processing Symposium SPS-2009, Jachranka (PL), Mai 2009
- Schimpf H.; Essen H.; Billner J.: „The Influence of Camouflage on SAR ATR Performance at Millimeter Waves", NATO SCI-213 Symposium, Brno (CZ), Mai 2009
- Schimpf H.; Essen H.; Wellig P.: „Analysis of Camouflage Measures by means of Blending of ISAR Targets into Millimeter Wave SAR Scenes", NATO SCI-213 Symposium, Brno (CZ), Mai 2009
- Schimpf H.; Fuchs H.-H.: „The Influence of Multipath on the Classification of Ships", International Radar Symposium (IRS), Hamburg, September 2009
- Schimpf, H.: „Polarimetric Calibration and its influence on Target Recognition Performance", SPIE Defense and Security Symposium, Orlando (USA), März 2009
- Schimpf H.; Essen H.; Wellig P.: „The Insertion of ISAR Targets into Pre-Existing SAR Scenes", SEE International Radar Conference, Bordeaux (FR), Oktober 2009
- Schlechtweg, M.; Leuther, A.; Tessmann, A.; Huelsmann, A.; Ambacher, O.; Hägelen, M.; Briese, G.; Essen, H.: „Advanced Millimeter-Wave Radar Modules for Helicopter Landing Aid", Future Security, Karlsruhe, September 2009
- Stanko, S.; Pagels, A.; Johannes, W.: „A new astronomical receiver for ASTROPEILER", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Berlin, März 2009
- Tobera, R.: „Early Forest Fire Detection and Suppression – an Integrated Approach", International Conference on Automatic Fire Detection (AUBE), Duisburg, September 2009
- Tobera, R.: „Optical Smoke and Gas Sensors as an Additional Method for Early Wildfire Verification", International Conference on Automatic Fire Detection (AUBE), Duisburg, September 2009
- Vaupel, T.; Weinmann, F.: „Validation of a 3-D Near-Field ISAR Imaging Technique with Far-Field RCS Extraction by Means of a Hybrid GO-PO/PTD Ray Tracing Algorithm", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Berlin, März 2009
- von Wahl, N.; Heinen, S.: „Advantage of Millimeter-waves in Fire Detection and Monitoring", International Conference on Automatic Fire Detection (AUBE), Duisburg, September 2009
- Walterscheid, I.; Espeter, T.; Gierull, C.; Klare, J.; Brenner, A.R.; Ender, J.H.G.: „Results and Analysis of Hybrid Bistatic SAR Experiments with Spaceborne, Airborne and Stationary Sensors", IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. II-238-II-241, Kapstadt (ZA), Juli 2009
- Wang, R.; Loffeld, O.; Neo, Y. L.; Nies, H.; Walterscheid, I.; Espeter, T.; Klare, J.; Ender, J.: "Focusing and analysis of hybrid bistatic experiments in the spaceborne/airborne configurations", International Radar Symposium (IRS), Hamburg, September 2009
- Wang, R.; Loffeld, O. Y.; Neo, L.; Nies, H.; Walterscheid, I.; Espeter, T.; Klare, J.; Ender, J.: „Results and Progresses

of Advanced Hybrid Bistatic SAR Experiments", European Radar Conference (EURAD), Rom (IT), September 2009

Weinmann, F.: „Ray Tracing Scattering Simulations for Cavities filled with Dielectric Material“, Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Moskau (RU), August 2009

Worms, J.: „The PALES Experimental System, an Ultra-Wideband System for ESM, Jamming and Radar“, RTO SET-136 Specialist meeting on 'Software Defined Radar', Lissabon (PT), Juni 2009

Worms, J.: „Estimating the Number of Received Signals under the Constraint of Subarray Configurations“, International Radar Symposium (IRS), Hamburg, September 2009

Sonstige Vorträge auf wissenschaftlichen Veranstaltungen

Bartsch, G.: "Zur Bedeutung der Aufklärung des Weltraums aus nationaler und europäischer Sicht", Luncheon der Association of Old Crow (AOC) Chapter Red Baron Roost, Wachtberg, Juni 2009

Bartsch, G.: "From Data Acquisition via a Common Operational Picture to Space Situational Awareness", 73. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, März 2009

Bartsch, G.: "Satelliten-Bedrohung im Weltraum – Ursachen, Folgen und Handlungsoptionen", RWTH Wissenschaftsnacht, Aachen, November 2009

Bräutigam, M.: "SUMATRA94 - Ein bildgebendes Radar für den Einsatz in Drohnen, Beschreibung des Demonstrators und Vorstellung erster Ergebnisse", Fraunhofer-Seminar, Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, September 2009

Cerutti-Maori, D.: "Overview of the German FHR", DRDC Seminar, Ottawa (CAN), Februar 2009

Ender, J.: "Aspekte zukünftiger Luft- und Raumgestützter Aufklärung aus Sicht der Forschung", AFCEA Informationsveranstaltung, Wachtberg, September 2009

Ender, J.: "Applications of SAR to Recognition of Moving Objects" (Workshop), European Radar Conference (EURAD), Rom (IT), Oktober 2009

Ender, J.: "Überlegungen zu einem übergreifenden Sensor-konzept EloKa, Passiv-Radar und Luftraumüberwachung", F&T Symposium, Bundesakademie für Wehrverwaltung und Wehrtechnik Mannheim, März 2009

Ender, J.: "The Mystery of Phase - Developments in Imaging Radar", Jacobs Universität Bremen, Februar 2009

- Essen, H.: "Millimeter Wave Radar Research for Reconnaissance and Security Applications", R&D Workshop at ONERA-CERT, Toulouse (FR), April 2009
- Essen, H.; Biegel, G.: "MARSIG, Entwicklung eines Messradars zur Bestimmung von Schiffssignaturen im Frequenzbereich 8-18 GHz und im Ka-Band", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Essen, H.; Biegel, G.; Brehm, T.; Hägelen, M.: "Evaluation Methods for Radar effective CCD-Measures", Internationales Symposium für Indirekte Schutzsysteme (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2009
- Essen, H.; Luedtke, G.: "NRW Verbundprojekt ‚Laotse‘, Schrotterkennung auf Landebahnen mit 220-GHz-Radar", Fraunhofer-Seminar, Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Essen, H.; Nötel, D.; Hantscher, S.: "Electromagnetic Sensors and Radar Technology", Fraunhofer FHR, IAF and HHI in 'SPIE Security and Defence', Berlin, September 2009
- Essen, H.; Nötel, D.; Hantscher, S.: "100 GHz to Terahertz", Fraunhofer FHR, IAF and HHI in 'SPIE Security and Defence', Berlin, September 2009
- Essen, H.; Sommer, R.; Wahlen, A.; Johannes, W.; Wilcke, J.: "FERAMO – Experimentelles Feldradar bei 94 GHz", Swiss/German Workshop, Sigriswil (CH), Oktober 2009
- Essen, H.; Schimpf, H.; Lindqvist, G.; Bokaderov, S.: "SAR-Blending, Entwicklung eines Simulations Tools", Swiss/German Workshop, Sigriswil (CH), Oktober 2009
- Essen, H.; Schimpf, H.; Lindqvist, G.; Wellig, P.: "SAR Blending for the Evaluation of Camouflage Effectiveness", Internationales Symposium für Indirekte Schutzsysteme (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2009
- Essen, H.; Stanko, S.; Nötel, D.: "Millimeter Wave Sensors for Security Applications / Millimeter-Wave and Terahertz Components for Urban Warfare Applications", Swedish/German Research Collaboration, Final meeting, Stockholm (S), November 2009
- Fuchs, H.-H.: "NAVRCS, ein Softwarepaket zur Berücksichtigung des Einflusses der Mehrwegeausbreitung auf den gemessenen RCS von Schiffen", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Hantscher, S.: "EU FP-7 Verbundprojekt 'ATOM', Stand-Off Detektion von verborgenen Gegenständen im Bereich von Flughäfen", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Hägelen, M.: "mmWellen-Sensoren für Landeassistenzsysteme an Hubschraubern unter stark eingeschränkten Sichtbedingungen", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Hommel, A.: "Scharfschützendetektion mit mobilen Sensorsystem", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Hüntten, A.: "Entwicklung eines SDR-Empfängers zur radargestützten Detektion und Verfolgung von Objekten im Weltraum", Fraunhofer-Seminar, Wachtberg, November 2009
- Johannes, W.: "Flexible Datenverarbeitung für abtastende Radarsysteme", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Klare, J.: "High Resolution 3D-Radar Imaging with the Nadir Looking UAV-borne MIMO-Radar ARTINO", Kolloquium, DRDC, Ottawa (CAN), März 2009
- Klare, J.: "Investigation of the Vibrating Sparse MIMO Antenna Array of the 3D Imaging Radar ARTINO", NATO/RTO RTG SET-131, 2nd Meeting/Workshop on "Vibration Control and Structure Integration of Antennas", Wachtberg, April 09

- Knott, P.; Ender, J.: "Aspects of Future Air and Space Based Surveillance", Defence Sensor Technology Symposium, Brussels (BE), November 2009
- Knott, P.: "Workshop on Vibration Control and Structure Integration of Antennas", Fraunhofer-Seminar, Wachtberg, April 2009
- Krebs, C.; Nüßler, D.: "Detektion von Verunreinigungen und Beschädigungen für die Produktionskontrolle", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Kuschel, H.; Heckenbach, J.: "Software Defined Passive Radar" (Workshop), European Microwave Week (EuMW), Rom (IT), September 2009
- Kuschel, H.; Heckenbach, J.; Schell, J.; O'Hagan, D.; Ummenhofer, M.: „DVB-T Passive Radar Systems PETRA/CORA“, PCL-Focus-Day, Wachtberg, November 2009
- Leushacke, L.: "Space Object Reconnaissance with Radar", IQPC Conference Space Systems and Security, Potsdam, Mai 2009
- Nötel, D.: "Radiometrische Sensoren zur Detektion von Selbstmordattentätern", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Nötel, D.: "RotRad 94 GHz - Ein mehrkanaliger radiometrischer Scanner", Fraunhofer-Seminar, Wachtberg, Mai 2009
- Nötel, D.; Essen, H.: "Hochtechnologien in der Wehrtechnik, Anwendungen mit ziviler Entwicklungsdynamik", GSW Sicherheits-Symposium, Hemer, September 2009
- Nötel, D.; Fuchs, H.-H.; Klöp- pel, F.; Huck, J.; Schönwald, R.; Esclavy, J.-C.: "Radiometrieexperiment Thun 2008", Swiss/German Workshop, Sigriswil (CH), Oktober 2009
- Nüßler, D.: "Realisierung eines 2-dimensionalen Linsenstapels bei 94 GHz", Fraunhofer-Seminar, Wachtberg, Februar 2009
- Nüßler, D.: "Überblick über neue Projektanträge und Vorhaben im Rahmen NRW-Förderung, EU-FP7, EDA u. andere sowie Netzwerk der Kooperationspartner", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Nüßler D.; Krebs C.; Brauns R.: "Analysis of Camouflage Materials with a Scanning Approach", International Symposium for Indirect Protection Systems (ISIS), Bad Reichenhall, Oktober 2009
- O'Hagan, D. W.: "Bistatic Radar" (Workshop), IQPC Military Sensors, London, November 2009
- Pamies, M.; Löcker, C.; Bertuch, T.; Knott, P.: "Development of a Low-Cost Coherent Radar with AESA antenna", COST-ASSIST (IC-0603) Workshop, Breslau (PL), Oktober 2009
- Schimpf, H.; Essen, H.: "SAR-Blending, Synthetisierung von SAR Szenen aus luftgetragenen MEMPHIS SAR Daten, bodengebundenen ISAR Daten und CAD basierten Zielsimulationen", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Schulz, F.: „Akustische Unterwasserkommunikation“, 21. mathematisch-technisches Kolloquium, RheinAhrCam- pus, Remagen, Mai 2009
- Stanko, S.: "Hochauflösende Radarverfahren zur Detektion und Ortung schneller Ziele", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009
- Vaupel, T.: "Effective Integral Equation Solver Strategies Applied to the Characterization of Planar Spiral Antennas and Arrays", COST-ASSIST (IC-0603) Workshop, Breslau (PL), Oktober 2009
- von Wahl, N.: "Einsatz eines Radiometers zur Branddetektion und eines Radars zur Navigation im Projekt „Internationale Waldbrandbekämpfung“- Erfahrungsbericht aus einem NRW-Förderungsprogramm -", Fraunhofer-Seminar, Wachtberg, Dezember 2009

von Wahl, N.: "Internationale Waldbrandbekämpfung, Sensorik zur Früherkennung von Bränden und der Rettung eingeschlossener Personen", Schwerpunkttag MHS, Wachtberg, August 2009

Sonstige Veröffentlichungen

Bartsch, G.: „Erweiterung des Wissens um die Weltraumlage durch Aufklärung mit bodengestütztem Radar“, Weltraum 2009, DWT, pp. 87-108, Bonn, November 2009

Hülsmann, A.; Hägelen, M.: „Neuartige, radargestützte Landehilfe für Hubschrauber“, Wehrwissenschaft Forschung & Technologie Jahresbericht 2008, BMVg, pp. 32-33, März 2009

von Wahl, N.; Heinen, S.: "Einsatz von Mikrowellen-Sensoren zur Überwachung der Brandentwicklung bei eingeschränkter Sicht", S+S Report, Herausgeber: VdS Schadenverhütung, No. 4, Juli 2009

GREMIENTÄTIGKEITEN

Berens, P.:

- Mitglied im Programmkomitee EUSAR 2010

Brenner, A.:

- Mitglied im Program Board EUSAR 2010

Ender, J.:

- Senior Member des IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers)
- Gutachter der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft)
- Mitglied im Rat der DGON (Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation)
- Mitglied des IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.)
- Sprecher des Beirates des ZESS, Supervisor IPP (International Postgraduate Program)
- Mitglied im Programmkomitee 4. Future Security Conference 2009 und IRS 2009
- General Chairman EUSAR 2010
- Vice Coordinator der Forschungsschule MOSES, ZESS, Universität Siegen

Essen, H.:

- Fachberater im Auswahlverfahren Fraunhofer-Max-Planck-Gesellschaft, „mHEMT Prozess-Optimierung für niedrigstes Eigenrauschen bei kryogenen Temperaturen“, Berlin

Klemm, R.:

- Mitglied in den Programmkomitees SEE Radar 2009, IEEE Radar 2010, CIP 2010
- Honorary Member EUSAR

Knott, P.:

- Mitglied im Fachausschuss 7.1 Antennen der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG)
- Gewähltes Mitglied im Executive Committee, Deutsche Sektion des IEEE Microwave Theory and Techniques / Antennas and Propagation Society (MTT-AP) Joint Chapter
- Gewähltes Mitglied im Steering Committee der European Association on Antennas and Propagation (EurAAP)
- National Delegate in COST IC0603 Antenna Systems & Sensors for Information Society Technologies (ASSIST)

Leushacke, L.:

- Deutscher Vertreter im Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC), WG1 „Measurements“
- Mitglied im Fachausschuss S 4.5 der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) e. V.

RöbIng, L.:

- Mitglied im Programmkomitee EUSAR 2010

Schiller, J.:

- Mitglied im technischen Programmkomitee der IRS 2009

Weiß, M.:

- Program Chairman EUSAR 2010

AUSZEICHNUNGEN, PATENTE

Auszeichnungen

Lang, S.: Auszeichnung für die beste Arbeit mit regionalem Bezug, verliehen durch die Sparkassenstiftung „Zukunft Kreis Ahrweiler“ für die Masterarbeit „Zirkulares Synthetik-Apertur Radar im Millimeterwellen-Bereich zur gesamtkörperabbildenden Personenkontrolle“

Rosebrock, J.: 2009 Best Reviewer of IEEE Geoscience and Remote Sensing Society's peer reviewed journal: Geoscience and Remote Sensing Letters

Patente und Erfindungsmeldungen

Berens, P.; Gebhardt, U.; Holzner, J.: „Verfahren zur Bestimmung des Aspektwinkelverlaufs für die ISAR-Fahrzeugabbildung“

Bertuch, T.: „Verfahren und Einrichtung zur vertikalen Diagrammformung und mechanischen Abstimmung in parasitären Gruppenantennen auf Monopolbasis“

Essen, H.; Luedtke, G.; Biegel, G.: „Verfahren zum Ausrichten der Heliostate eines Heliostatfeldes“

Knott, P.: „Piezo-Aktuator mit integrierter Antenne zur Kompensation von Verformungen“

Vaupel, T.: „Planare aufklebbare FLARM-Antenne für Antikollisionssysteme in Sportflugzeugen“

VERANSTALTUNGEN

Tagungsorganisation

6th European Workshop on Conformal Antennas (EWCA),
Berlin, 26. März 2009

Internationale Messkampagne PAMELA zur Verifikation
von „Passive Covert Radar“, Wachtberg, St. Augustin und
Nörvenich, März 2009

Seminar „Weltraumlage/Space Situational Awareness“,
Wachtberg, April 2009

Schwerpunkttag „Vibration Control and Structure Integration
of Antennas“, Wachtberg, 29. April 2009

5th Expert Meeting on „Miniaturized mmW-Wave Imaging
System for Concealed Weapon Detection in Force Protection
Applications“, Wachtberg, 4. - 6. Mai 2009

CCG-Seminar SE 2.40 „Überwachung und Aufklärung mit
Radar - Methoden, Systeme und Perspektiven“, Wachtberg,
Mai 2009

9. Sitzung der AG C-IED des BWB, „Elektromagnetische
Sensorik: Forschungsschwerpunkte am FHR mit Blick auf IED-
Detektion“, Wachtberg, 10. Juni 2009

„1st International Summer School on Radar / SAR“, Remagen,
24. - 31. Juli 2009

Schwerpunkttag: „Millimeterwellentechnologie im Wandel.
Neue Anwendungen und Trends für zivile und militärische
Anwendungen“, Wachtberg, 26. August 2009

Sitzung des Fraunhofer-Verbundes für Verteidigungs- und
Sicherheitsforschung VVS, Wachtberg, Oktober 2009

2nd PCL-focus day, Wachtberg, 17. - 18. November 2009

Beteiligung an Messen und Fachausstellungen

Gemeinsamer Messestand mit Fraunhofer IAF bei der European Microwave Week, 28. September - 02. Oktober 2009, Rom, Italien

Livedemonstration „Millimeterwave Near Field SAR Scanner for Concealed Weapon Detection“ im Rahmen der SPIE Security & Defence, 31. August - 03. September 2009, Berlin

Messestand im Wissenschaftszelt zum Internationalen Jahr der Astronomie, 25. - 27. Juni 2009, Bonn

Gemeinsamer Messestand der Fraunhofer-VVS-Institute bei der 4. Future Security Konferenz, 29. September - 1. Oktober, Karlsruhe

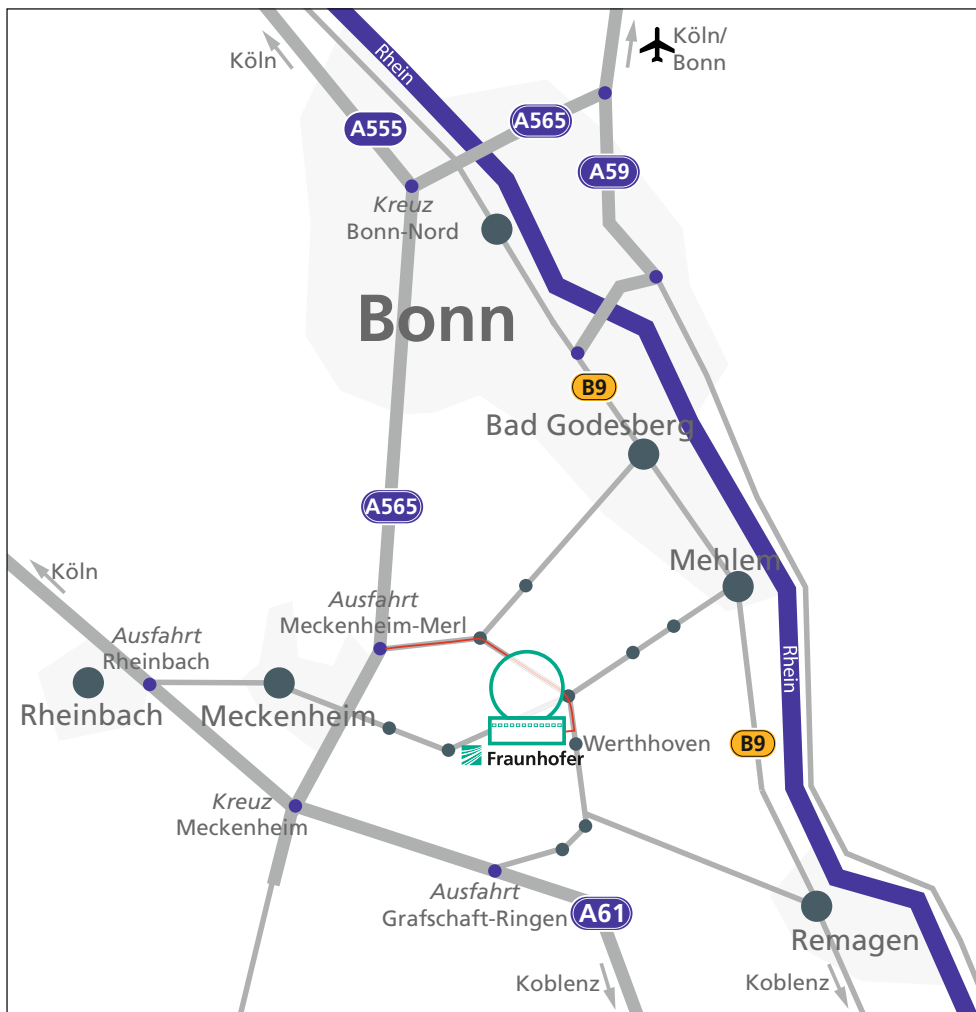
Messestand bei Nacht der Technik der Handwerkskammer Koblenz, 7. November 2009, Koblenz

ANREISE



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
Neuenahrer Str. 20
53343 Wachtberg

Tel. 0228 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 (rote Linie auf der Karte), 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 unten)

Anreise mit dem Flugzeug

bis Flughafen Köln/Bonn, anschließend mit Shuttle-Bus nach Bonn Hbf. und dann Bahn oder Taxi (ca. 25 km) oder 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
Neuenahrer Str. 20
53343 Wachtberg

Tel.: +49 (0)228 9435-227

Fax: +49 (0)228 9435-627

info@fhr.fraunhofer.de

www.fhr.fraunhofer.de

Redaktion

Dipl.-Volksw. Jens Fiege (Leitung)

Dr. rer. nat. Tanja Bieker

Prof. Dr.-Ing. Joachim Ender

Layout und Satz

Dipl.-Volksw. Jens Fiege

Lektorat

Dr. rer. nat. Ludwig Rößing

Sabine Schaaf

Bilder

© Fraunhofer FHR, außer:

Titel und Rückseite: David Ertl, Köln

S. 3: David Ertl, Köln

S. 10-11: David Ertl, Köln; außer Neitzel

S. 14: NASA

S. 18 Abb. 1: Iridium

S. 20 Abb. 1: ESA

S. 25 Abb. 3: BLOM 2009

S. 34 Abb. 1: David Ertl, Köln

S. 38 Abb. 1: Paal Sørensen. Wikimedia Commons; CC-BY-SA 3.0

S. 40: CLAAS KGaA mbH

S. 44, S. 46 Abb. 1: Bundeswehr/Mediendatenbank

S. 47 Abb. 3: David Ertl, Köln

S. 51 Abb. 3: Geobasisdaten: Land NRW, Bonn

S. 58 Abb. 1: Rheinmetall Defence Electronics (RDE)

Alle Rechte vorbehalten.

Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der
Redaktion.

Wachtberg, Mai 2010

*Titel und Rückseite zeigen
eine Innenansicht des Para-
bolspiegels unserer Groß-
radaranlage TIRA (Tracking
and Imaging Radar).*

