



Viele Bilder wurden als Anaglyphen abgedruckt, d. h. sie wirken mit der Verwendung der beiliegenden Brille dreidimensional (Linkes Auge: rot, rechtes Auge: cyan). Achten Sie auf dieses Zeichen: 



Titel und Rückseite zeigen eine anaglyphische Darstellung eines Satelliten, der durch Weltraumtrümmer beschädigt wurde.

JAHRESBERICHT
2010

RADARFORSCHUNG IN DER DRITTEN DIMENSION

Drei-De: Diese Zauberformel wurde nicht nur durch den Fraunhofer-Vorstand im letzten Jahr propagiert, sie spielt auch für das FHR eine zunehmende Rolle: Zunächst einmal im engeren Sinn. Radar erfasst den dreidimensionalen Raum, bewegte und unbewegte Objekte werden in ihm von Radarsystemen lokalisiert und verfolgt. Dreidimensionale Radarabbildungen erfassen die Szene oder das Objekt im Ganzen und nicht nur in der klassischen Projektion auf eine zweidimensionale Ebene.

Hierzu werden im FHR mehrere Projekte verfolgt: Dreidimensional wird die Landschaft mit interferometrischem SAR oder der SAR-Tomographie abgebildet; dreidimensionale Personenscanner stehen vor der Realisierung und es werden Verfahren entwickelt, die dreidimensional Satelliten auf ihrer Umlaufbahn erfassen. Die dritte Dimension erschließt so neue „Dimensionen der Informationsgewinnung“, vereinfacht die Unterscheidung zwischen tatsächlichen Strukturen und Artefakten und ermöglicht somit dem Nutzer, das im Rechner gespeicherte Abbild des Objektes zu drehen und wenden, so wie es zum Beispiel in der Ultraschalldiagnostik oder der Computertomographie schon seit geraumer Zeit praktiziert wird.

„Dimensionen der Forschung“ – so heißt ein Film der Fraunhofer-Gesellschaft, der in neuer 3D-Technik gedreht wurde. Die Forschungsarbeiten werden hier von den größten bis zu den kleinsten Dimensionen dargestellt. Nicht von ungefähr beginnt der Film mit Aufnahmen des TIRA-Radarsystems des FHR, mit dem nicht nur Weltraumtrümmer erfasst und Satelliten abgebildet und analysiert, sondern auch Distanzen zum Mond, Mars und Venus überbrückbar sind, offenbar der größten Dimension, die in der Forschungslandschaft der Fraunhofer-Gesellschaft anzutreffen ist. Dieses Heft, das ausgewählte Forschungsarbeiten des FHR im Jahr 2010 präsentiert, enthält aus diesem Anlass 3D-Bilder, die mit der mitgelieferten Rot-Cyan-Brille angeschaut werden können.

In dem Vorwort zum letzten Jahresbericht 2009 ist zu lesen: „Wir blicken gespannt auf das Jahr 2010, in dem wir unsere erste Bewährungsprobe im Fraunhofer-Umfeld bestehen wollen!“ Nun, rückblickend auf das letzte Jahr, können wir mit Fug und Recht auf einige Erfolge der kurzen Geschichte des FHR als Fraunhofer-Institut seit dessen Eingliederung in die Fraunhofergesellschaft am 18. August 2009 hinweisen:

Wir haben uns an die Rahmenbedingungen der Fraunhofer-Gesellschaft angepasst, eine eigene lokale Verwaltung seit dem 1.1.2010 eingerichtet, sind nun Mitglieder der Verbände Verteidigungs- und Sicherheitsforschung sowie Mikroelektronik und der Allianz Vision, haben interessante Industrienaufträge und Forschungsförderungen akquiriert und Kooperationen mit Hochschulen intensiviert, so dass wir hoffnungsvoll in die Zukunft blicken. Der Zuwachs an Mitarbeitern machte es erforderlich, weitere Räumlichkeiten bereitzustellen. Dies wurde durch Anmietung einer Gebäudeetage im Gewerbepark Wachtberg-Villip erreicht.



Das Hauptziel des FHR ist es, durch seine Forschungsarbeiten zur Sicherheit der Bevölkerung beizutragen. Im traditionellen Bereich „äußere Sicherheit“ unterstützen wir das Bundesministerium für Verteidigung (BMVg) und seine nachgeordneten Behörden durch Weiter- und Neuentwicklung von Radarverfahren zur Aufklärung und Überwachung sowie andere Anwendungen. Dies ist möglich durch eine konstante Förderung mit einer Grundfinanzierung und einer Anzahl zeitbegrenzter Projektförderungen.

Hinzugekommen ist für das FHR die Aktivität auf dem Gebiet der „inneren Sicherheit“ (Security), aber auch der Sicherheit technischer Einrichtungen und der Schutz vor natürlichen Gefahren (Safety). Abwendung von Terroranschlägen, Gefahrenabwehr in der technisierten Umwelt und Situational Awareness in Katastrophenszenarien stehen daher weit oben auf der Liste der vom FHR anvisierten Hochfrequenzverfahren. Als drittes Ziel verfolgt das FHR Anwendungen für die industrielle Produktion, für Verkehr, Umwelt und Medizin.

Um zum einführenden Drei-De-Thema zurückzukehren: Als die wichtigsten anzustrebenden „drei Dimensionen der Forschung im FHR“ möchte ich Ideenreichtum, Umsetzung und Kooperation nennen. Der Ideenreichtum manifestiert sich in Veröffentlichungen und Patenteinreichungen. Die Mitarbeiter des FHR haben im vergangenen Jahr fünf Erfindungsmeldungen abgegeben, mehr als je zuvor. Ideen bleiben Ideen, wenn sie nicht umgesetzt werden. Materialisierte Ideen werden Ihnen in diesem Heft mehrfach begegnen, genannt z. B. „SAMMI“, „Labrador“, „SARGATE“ oder einfach „Spiralantenne“. Das FHR kooperiert mehr denn je, auch interkontinental – mit den USA und Kanada, Japan, Südkorea und Singapur.

An dieser Stelle möchte ich den fördernden Institutionen danken – allen voran dem BMVg, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im wissenschaftlich-technischen Bereich, die hervorragend die neuen Herausforderungen angenommen und durch gute Ideen und solide wissenschaftliche und technische Beiträge die Qualität des Institutes untermauert haben, der neuen FHR-Verwaltung, die sich formiert und den geänderten Rahmenbedingungen angepasst hat, dem Schwesterinstitut FKIE, das die gute Kooperation auch mit seiner neuen Leitung fortsetzt, und dem Team, das diese zweite Ausgabe eines Jahresberichtes im Fraunhofer-Format – zumindest nach meiner Empfindung – vortrefflich gestaltet hat.

Lassen Sie sich durch die Beiträge dieses Heftes in die Welt des Radars entführen, ich hoffe, es wird Ihnen beim Lesen Erkenntnisse verschaffen und auch ein wenig Freude bereiten.

Joachim Ender, Mai 2011

Institutsleiter:

Dr.-Ing. Joachim Ender

Tel. +49 228 9435-227

Fax +49 228 9435-627

joachim.ender@

fhr.fraunhofer.de

INHALTSVERZEICHNIS

2 ÜBERBLICK

- 2 Radarforschung in der dritten Dimension
- 4 Inhaltsverzeichnis
- 6 FHR im Profil
- 10 Ansprechpartner im FHR
- 12 Das Kuratorium

14 KEYNOTE

- 14 Sicherheit im Weltraum –
Weltraumlageerfassung mit Radar
- 18 Counter-IED – Radarsysteme helfen

22 RADAR ZUR WELTRAUMBEOBACHTUNG

- 24 Demonstration von SSA-Funktionen im
TIRA-GRAVES Sensorverbund
- 26 Fokussierung von ISAR-Bildern mittels
Autofokus-Verfahren
- 28 Europäische Weltraumüberwachung mittels
Phased-Array-Sensorik

30 BODEN- UND LUFTRAUMAUFKLÄRUNG

- 32 Von der Detektion zur Spur:
Verfolgung von Bodenfahrzeugen
- 34 SUMATRA – Ein Millimeterwellen-SAR
für UAV-Einsatz
- 36 Neue Perspektiven: Simultane Radar-
Bildgebung aus mehreren Richtungen
- 38 Einfügen von Objekten in SAR-Szenen
mittels EOSAR

40 SICHERHEIT UND SCHUTZ

- 42 SARGATE – Der Personenscanner der nächsten Generation
- 44 Vorwärtsblickendes GPR zum Auffinden von in Straßen vergrabenen IED

46 HOCHFREQUENZSYSTEME FÜR INDUSTRIE UND LANDWIRTSCHAFT

- 48 Qualitätskontrolle mit bildgebendem Radar: SAMMI
- 50 Abstützung mobiler Baumaschinen mittels Georadar
- 52 Crop Sense: Radarverfahren zur Bestimmung der Ähren-Biomasse

54 VERKEHR, UMWELT UND GESUNDHEIT

- 56 Verkehrsüberwachung mit dem Satelliten RADARSAT-2
- 58 LAOTSE – Ein Beitrag zur Sicherheit auf Flughäfen
- 60 Schiffsradar mit elektronisch gesteuerter Antennengruppe
- 62 Millimeterwellenradar zur Beurteilung von Hautveränderungen

64 ANTENNEN UND ELEKTROMAGNETISCHE MODELLIERUNG

- 66 Elektromagnetische Untersuchung von Antennen auf Plattformen
- 68 Metamaterialien: Ein neuer Freiheitsgrad in der Hochfrequenztechnik
- 70 Modellierung von Vierarm-Spiralantennen für breitbandige Peilaufgaben

72 ÜBERGREIFENDE ARBEITEN

- 72 Labrador – ein Radarsystem auf FPGA-Basis
- 74 Radar-EloKa für Militär- und Polizei-Einsätze

76 AUS DEM INSTITUT

- 80 Neuer Institutsteil im Gewerbegebiet Wachtberg-Villip
- 82 Umrüstung und Upgrade der Großradaranlage TIRA

84 FRAUNHOFER-VERBÜNDE

- 84 Verbund Verteidigungs- und Sicherheitsforschung
- 85 Verbund Mikroelektronik

86 FRAUNHOFER-ALLIANZ

- 86 Allianz Vision

87 FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

88 ANHANG

- 88 Ausbildung und Lehre
- 92 Veröffentlichungen
- 100 Gremientätigkeiten
- 102 Auszeichnungen
- 103 Veranstaltungen
- 104 Pressespiegel

106 ANFAHRT

108 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.

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 ZESS 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.



*Foto von FHR-Gebäuden in
Wachtberg und der Großra-
danlage TIRA*

Arbeitsschwerpunkte

Aus den Kernkompetenzen ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten in allen Bereichen der Hochfrequenztechnik und Signalverarbeitung. Insbesondere in den folgenden sechs Geschäftsfeldern bietet das FHR seine Forschungsarbeiten für Kunden aus Bundeswehr und Industrie an.

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

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

Intelligente Radarsysteme, die sowohl im militärischen als auch im zivilen Kontext die Sicherheit erhöhen, werden im Geschäftsfeld **Sicherheit und Schutz** erforscht. 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.

Die Entwicklung innovativer Systeme, die die besonderen Eigenschaften von Radar für industrielle Anwendungen nutzen,

ist Aufgabe des Geschäftsfeldes **Hochfrequenzsysteme für Industrie und Landwirtschaft**. Dazu gehören die Fähigkeiten zur Durchdringung von optisch nicht transparenten Materialien sowie zur hochauflösenden Bildgebung.

Im Geschäftsfeld **Verkehr, Umwelt und Gesundheit** steht die Erforschung von Hochfrequenzsystemen im Fokus, die in diesen Bereichen neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen, vorhandene Sensoren ergänzen oder ersetzen können. Dazu gehören preisgünstige phasengesteuerte Gruppenantennen für den zukünftigen Einsatz auf Schiffen, Luftfahrzeugen und Landfahrzeugen, Multi-Input-Multi-Output-Radare (MIMO-Radare) für die Überwachung instabiler Gebäude oder Berghänge und Terahertz-Systeme für neue ergänzende Diagnoseverfahren.

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

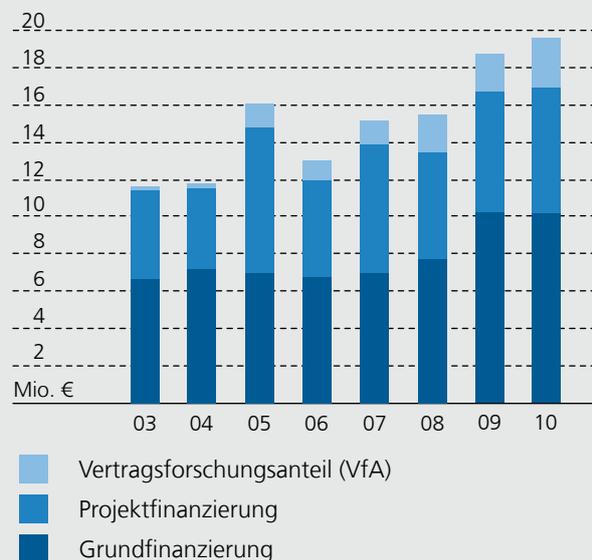
Personal- und Budgetentwicklung

Die Entwicklung der jährlichen Erträge des FHR verlief auch im ersten Jahr als Fraunhofer-Institut weiterhin sehr positiv. Der aufwärtsgerichtete Trend der letzten Jahre konnte beibehalten werden.

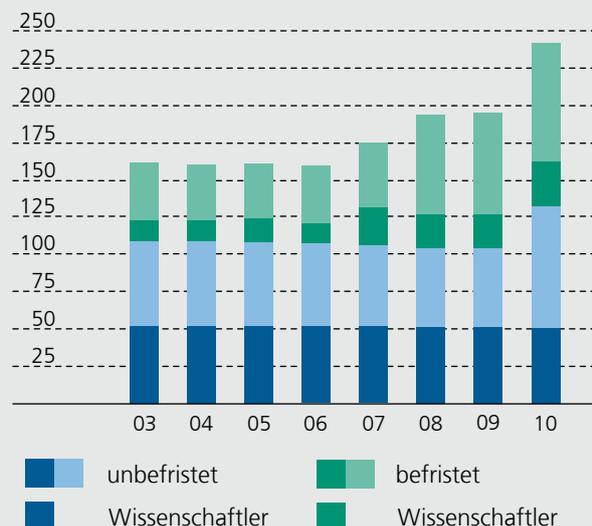
Das Budget des FHR rekrutiert sich aus drei Quellen: Der Grundfinanzierung durch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), der Projektfinanzierung aus Mitteln des Verteidigungshaushaltes und dem Vertragsforschungsbereich (VfA). Im Jahr 2010 erwirtschaftete das FHR im wehrtechnischen und im zivilen Institutsteil einen Gesamtertrag in Höhe von 19,7 Millionen Euro (Grundfinanzierung: 10,1 Mio. €; Projektfinanzierung: 6,6 Mio. €; VfA: 3,0 Mio. €). Damit konnte das Ergebnis des Jahres 2009 um 1,4 Millionen Euro übertroffen werden. Die Prognose für das Jahr 2011 bestätigt einen stabilisierten Aufwärtstrend.

Zum Jahresende 2010 waren am Fraunhofer FHR insgesamt 242 Mitarbeiter beschäftigt. Die Mitarbeiterentwicklung bleibt damit weiterhin positiv. Die Personalstruktur des Instituts zeigt einen stetig ansteigenden Anteil an Wissenschaftlern (aktuell 81). Diese werden von Diplomanden und wissenschaftlichen Hilfskräften bei der Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützt.

Budgetentwicklung 2003-2010



Mitarbeiterentwicklung 2003-2010



ANSPRECHPARTNER IM FHR

Institutsleiter

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



Antennentechnologie und elektromagn. Modellierung (AEM)

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

Elektromagnetische Modellierung

Antennen und Front-End-Technologie



Array-gestützte Radarbildung (ARB)

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

Multifunktionale HF-Sensorik

Sensornahе Digitaltechnologie

Mehrkanalige Signalprozessierung

Adaptive Array-Signalverarbeitung

MIMO-Radar und Multistatik

Bildgebende Radar-Verfahren



Millimeterwellenradar und Höchstfrequenzsensoren (MHS)

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

Millimeterwellen-Radar

Radiometrie

Signaturen

Millimeterwellen- und Terahertzsensoren

Sensorsysteme für Sicherheitsanwendungen

Algorithmik



Passive Sensorik und Klassifizierung (PSK)

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

Passive Sensorik und elektronische Gegenmaßnahmen

Passiver Sensorverbund

Nicht-kooperative Identifizierung

UWB-Radar



Radar zur Weltraumbeobachtung (RWB)

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

Verfahren zur Weltraumbeobachtung

TIRA – Radartechnik, Weiterentwicklung und Betrieb

TIRA – Antennensystem und Infrastruktur



Verwaltung

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

Finanzen

Personal

Technik

Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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



ÜBERBLICK



DAS KURATORIUM

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

Vorsitzender

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

TU Hamburg-Harburg

Hamburg

Stellv. Vorsitzender

Dipl.-Ing. Ralph Speck

CASSIDIAN

Friedrichshafen

Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling

RWTH Aachen

Aachen

Prof. Dr.-Ing. Lorenz-Peter Schmidt

Universität Erlangen-Nürnberg

Erlangen

Dr. Gerhard Kahl

CASSIDIAN

Unterschleißheim

Prof. Dr.-Ing. Klaus Solbach

Universität Duisburg-Essen

Duisburg

Dr.-Ing. Heiner Klinkrad

ESA / ESOC

Darmstadt

Dr.-Ing. Walter Stammer

LFK-Lenkflugkörpersysteme GmbH

Unterschleißheim

Prof. Dr.-Ing. habil. Otmar Loffeld

Universität Siegen

Siegen

LBDir Norbert Michael Weber

Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)

Bonn

Dipl.-Ing. Gunnar W. R. Pappert

Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG

Überlingen

Die Teilnehmer der Kuratoriumssitzung am 21.5.2010 auf dem Institutsgelände in Wachtberg:

Prof. Sohlbach, Prof. Schmidt, Prof. Loffeld, Dr. Klinkrad, Dr. Kahl, Dr. Speck, Herr Weber, Prof. Rohling,

Herr Pappert, Dr. Ender (FHR), Dr. Feldhütter (Hauptabteilungsleiter Fraunhofer Zentrale).

KEYNOTE



SICHERHEIT IM WELTRAUM – WELTRAUMLAGEERFASSUNG MIT RADAR

Das Bedrohungspotenzial im All durch Weltraummüll ist groß. Aktive Satelliten und Raumfahrzeuge können beschädigt oder zerstört werden.

Seit Beginn der Weltraumfahrt hat die Anzahl menschengemachter Objekte, die die Erde umkreisen, rasant zugenommen. In der Minderheit sind dabei die genutzten Objekte: Man zählt heute etwa 900 aktive Satelliten. Um ein Vielfaches höher ist die Anzahl der Weltraumtrümmer - wie ausgebrannte Raketenstufen und Bruchstücke von explodierten Raumfahrtobjekten. Man schätzt, dass sich derzeit etwa 20 000 Objekte mit einer Mindestgröße von zehn Zentimetern in der Erdumlaufbahn befinden, davon 15 000 im erdnahen Orbit in einer Höhe von 200 bis 2000 Kilometern. Mit bis zu rund 28 000 Kilometern pro Stunde rast der Müll um die Erde, selbst nur Zentimeter große Teilchen können durch ihre enorme Geschwindigkeit aktive Satelliten beschädigen oder sogar völlig zerstören.

Die sich rasant entwickelnde militärische und zivile Nutzung des Weltraums hat zu einer erheblichen Abhängigkeit von raumgestützten Systemen geführt – man denke nur an die Bereiche Navigation, Erdbeobachtung und Kommunikation, so dass bei Ausfall solcher Systeme weitreichende Konsequenzen zu erwarten wären. Auch im militärischen Bereich nehmen raumgestützte Systeme eine zunehmend wichtige Rolle ein: Die Bundeswehr verfügt bereits über sieben Satelliten – die fünf SAR-Lupe-Satelliten zur weltweiten Aufklärung und zwei SatComBw-Satelliten für die sichere Kommunikation. Die Systeme helfen bei der Krisenfrüherkennung und sind für den Auslandseinsatz der Bundeswehr unentbehrlich.

Aktuelle Aktivitäten zur Einrichtung von Weltraumlage-Systemen

Die Sicherheit im Weltall aufrecht zu erhalten, ist – national und international – als eine Aufgabe mit zunehmender Bedeutung erkannt worden (siehe „Raumfahrtstrategie der

Bundesregierung“ [1]) und soll durch die Etablierung neuer Einrichtungen gewährleistet werden: Auf europäischer Ebene startete die ESA Anfang 2009 ein Vorläuferprogramm zu einem *European Space Situational Awareness System* (ESSAS). Im gleichen Jahr wurde damit begonnen, in Uedem bei Kalkar ein Weltraumlagesystem (WRLageSys) der Bundeswehr einzurichten.

Aufgabe eines Weltraumlagesystems ist es in erster Linie, die aktuelle Gefährdungslage für eigene Objekte im Weltraum festzustellen und im Falle einer konkreten Gefahr alle notwendigen Informationen bereitzustellen, um einen Schaden nach Möglichkeit abzuwenden. Gefährdet sind die Satellitensysteme vor allem durch das Kollisionsrisiko mit anderen Weltraumobjekten – Weltraummüll oder andere Satelliten. Als Beispiel sei hier die Kollision eines US-amerikanischen Kommunikationssatelliten vom Typ Iridium mit dem russischen Satelliten Cosmos 2251 im Jahr 2009 genannt.

Satelliten als Ziele internationalen Terrorismus

In Zukunft muss aber auch damit gerechnet werden, dass der Weltraum zu einem Schauplatz feindlicher Angriffe durch „Killersatelliten“ oder andere aggressive Systeme werden könnte. Die Verwundbarkeit der Nationen durch Ausschaltung der weltraumgestützten Systeme könnte einen Anlass für aggressive Staaten oder terroristische Gruppen bieten, darauf hinzuwirken, Satelliten mechanisch zu zerstören oder ihre Elektronik unbrauchbar zu machen, Kommunikationswege zu unterbrechen oder raumgestützte Sensoren so intensiv zu stören, dass sie keine brauchbaren Daten mehr liefern können. Der Abschuss eines ausgedienten chinesischen Wettersatelliten vom Typ „Fengyun-1C“ durch eine chinesische Rakete in einer Höhe von 860 Kilometern im Januar 2007 und der Abschuss des außer Kontrolle geratenen amerikanischen Aufklärungssatelliten USA193 im Februar 2008 durch eine von einem amerikanischen Kriegsschiff aus gestartete Luftabwehr-Rakete zeigen, dass Satelliten-Zerstörungen von der Erde aus möglich sind. Als Nebenprodukt dieser Aktionen wurde zudem eine Vielzahl neuer Trümmerteile freigesetzt, die das Kollisionsrisiko, besonders im Falle des chinesischen Satellitenabschusses,



Mit leistungsstarken Radarsystemen können wenige Zentimeter kleine Schrottteile in 1000 Kilometern Entfernung entdeckt werden.



in ohnehin stark genutzten Bahnhöhenbereichen erheblich erhöhen. Nach [2] hat es im Jahr 2008 bereits 332 Annäherungen von Trümmerteilen an die SAR-Lupe Satelliten mit einem Abstand von 3 km oder weniger gegeben. Die internationale Raumstation ISS muss jährlich vier bis fünf Ausweichmanöver durchführen.

Fähigkeiten von Radarsystemen

Für die Weltraumlageerfassung spielen Radarsysteme eine herausragende Rolle. Nicht nur ihre Tageslicht- und Wetterunabhängigkeit sind hier wesentliche Eigenschaften, sondern auch die Leistungsfähigkeit der Detektion und Ortung auch kleiner Partikel in großen Entfernungen und die Möglichkeit, Radarbilder mit entfernungsunabhängiger Auflösung zu erstellen.

Bodengebundene Systeme ermöglichen den Betrieb großer Reflektorantennen und eine hinreichende Versorgung mit elektrischer Energie, so dass deren Leistungsfähigkeit den anspruchsvollen Aufgaben der Detektion von Weltraumtrümmern in großen Entfernungen und der verlangten hochgenauen Orbitvermessung gerecht wird. So kann das FHR-System TIRA (*Tracking and Imaging Radar*) mit seinem L-Band-Radar mit Leichtigkeit 10 Zentimeter große Partikel in über 7000 km Entfernung entdecken und verfolgen. Radarsysteme mit großen Reflektorantennen sind ebenfalls in der Lage, hochaufgelöste ISAR-Bilder von Weltraumobjekten zu erzeugen, wie das TIRA-System mit seinem Ku-Band Radar. Ein Handicap solcher Systeme besteht allerdings darin, dass ein Absuchen des Sichtbereiches nach neuen Weltraumobjekten wegen der mechanischen Trägheit der Antenne und der geringen Keulbreite nicht in angemessener Zeit möglich ist. Hierzu benötigt man Radarsysteme mit leistungsfähigen phasengesteuerten Gruppenantennen, die ein Absuchen großer Winkelbereiche mit elektronischer Strahlschwenkung ermöglichen. Diese sind

jedoch nicht in der Lage, hochaufgelöste Bilder zu erzeugen. Deshalb erscheint mit der heute verfügbaren Technologie ein duales gekoppeltes System die beste Lösung: Während Phased-Array Systeme den gesamten Halbraum überwachen und neu hinzukommende Objekte entdecken und deren Position bestimmen, dienen Systeme mit Reflektorantennen dazu, nach Einweisung durch die erstgenannten Systeme einzelne Objekte näher zu analysieren, zum Beispiel durch abbildende Verfahren. Ein Gesamtsystem müsste also über beide Typen von Radargeräten verfügen.

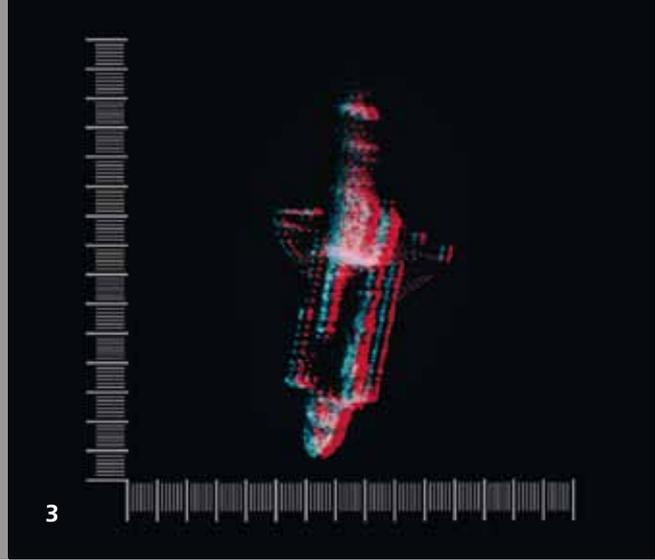
Dies wird sowohl für das Weltraumlagesystem der Bundeswehr als auch für das Europäische ESA-System als Ziel genannt. Während der erste Typ von Radarsystemen durch das in Europa einzigartige TIRA-System des FHR abgedeckt wird, gibt es in Europa im Bereich der *Phased-Array*-Systeme zurzeit nur das französische GRAVES (*Grande Réseau Adapté à la Veille Spatiale*)-Radar, das allerdings in seiner Leistungsfähigkeit nicht mehr den heutigen Anforderungen entspricht.

Kompetenzzentrum zur Weltraumlageerfassung

Im FHR arbeitet eine Gruppe von Wissenschaftlern an verschiedenen Fragestellungen der Weltraumlageerfassung. Ihre Kompetenz über die allgemeine Lage im Weltraum, die Weltraumtrümmersituation, die Funktion und Gestalt einzelner Satelliten usw. wird kontinuierlich ausgebaut. Basis bilden die Kenntnis über die Satelliten- und Bahndynamik, der Algorithmik zu deren Berechnung, die Kenntnis und der Zugang zu Katalogen der Weltraumobjekte, die notwendigen komplexen Messverfahren und die Einbindung in die internationale Raumfahrtcommunity. Als Messinstrument steht zum einen das weltweit zu den größten und leistungsfähigsten Radarsystemen zählende Instrument TIRA zur Verfügung. Seit nunmehr 40 Jahren werden nicht nur Weltraumtrümmer beobachtet und Risikovorhersagen gemacht, sondern auch Kenntnisse



2



3

über Weltraumobjekte aus verschiedenen Quellen zusammengetragen und mit den eigenen Messungen erweitert, so dass die Wissenschaftlergruppe um das Instrument TIRA wesentliche Beiträge zu zukünftigen Weltraumlagesystemen liefern kann. Umfangreiche Erneuerungs- und Modernisierungsmaßnahmen werden zurzeit mit finanzieller Unterstützung des Bundesministerium für Verteidigung durchgeführt, um die Leistung von TIRA für die Zukunft zu garantieren. In einer Kooperation mit Frankreich wurde mehrfach demonstriert, wie sich das GRAVES-System mit TIRA hervorragend ergänzt. In kürzlich durchgeführten Probereihen wurden die Parameter der von GRAVES erfassten Objekte an TIRA zur Voreinweisung weitergegeben und dort näher analysiert.

Entwicklung eines neuen Weltraumüberwachungs- Phased-Array-Systems

Neben den seit vielen Jahren durchgeführten Beobachtungen mit TIRA gibt es eine neue Entwicklung: Die ESA hat die spanische Firma Indra Espacio beauftragt, einen Radar-Demonstrator für ein Weltraumüberwachungs-*Phased-Array* zu entwerfen und aufzubauen. Im Unterauftrag entwickelt das FHR das Empfangssystem für dieses System. Das FHR hat im Bereich der Radarsysteme mit phasengesteuerter Gruppenantenne eine lange Tradition: Der erste Demonstrator für ein multifunktionales Luftüberwachungsradar basierend auf einem *Phased Array* entstand in den siebziger Jahren in Wachtberg. Diese Tradition wurde bis heute weiter ausgebaut, zum Beispiel mit dem luftgetragenen Radar PAMIR. Das neue Weltraumüberwachungs-*Phased-Array* wurde beim FHR in modernster *Digital-Beamforming*-Technik entworfen und befindet sich derzeit im Aufbau.

Sowohl für das geplante europäische System ESSAS als auch für das Weltraumlagesystem der Bundeswehr WRLageSys steht das FHR mit seiner Kompetenz zur Verfügung.

[1] <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/B/zukunftsfaehige-deutsche-raumfahrt,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>

[2] www.afcea.de/fileadmin/downloads/Mittagsforen/12.03.2010/Borst.pdf



Im Steuerraum laufen alle Informationen zur Weltraumlage zusammen um die Großradaranlage TIRA optimal auszurichten.



Die Erde wird bereits von einer Vielzahl von Weltraumobjekten umkreist, nur 900 davon sind aktive Satelliten.



Eine 3D-Radarabbildung eines Space Shuttles erstellt mit TIRA.

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

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

KEYNOTE



COUNTER-IED – RADARSYSTEME HELFEN

Improvised Explosive Devices

Bei einem *Improvised Explosive Device* (IED) handelt es sich grundsätzlich um einen mit Sprengstoff und eventuell weiteren Zusatzstoffen gefüllten Gegenstand, der aus den Materialien aufgebaut wurde, die der Hersteller zur Verfügung hatte, er „improvisierte“. Es ist also eine typische Waffe der „asymmetrischen Kriegsführung“, die als solche erstmals in Nordirland im Jahre 1970 gegen die britischen Truppen eingesetzt wurde. Im Irak-Krieg und inzwischen auch in Afghanistan ist sie für den Großteil der Verluste bei der Truppe und der Zivilbevölkerung verantwortlich.

Welche Arten von „IEDs“ gibt es?

IEDs können nahezu jede Gestalt haben und in vielen Ausführungen auftauchen, was ihre Erkennung und Bekämpfung dementsprechend schwierig macht. Sie können auf dem Boden ausgebracht, in den Untergrund (z. B. ein Straßenbett) eingegraben oder auch in Häuserwände eingemauert werden. Ein zunehmender Anteil von IEDs sind die sogenannten *Vehicle-Borne IEDs* (VBIEDs), die in Fahrzeugen transportiert und überwiegend von Selbstmordkommandos in der Nähe der Zielorte gezündet werden. Daneben gibt es die *Suicide-Bomb*-IEDs, die z. B. in Form von Sprengstoffgürteln getragen und durch den Selbstmordattentäter am vorgesehenen Ort gezündet werden. Besonders gefährlich sind die über längere Zeit vorbereiteten Sprengfallen, die erst lange nach erfolgter Einbringung in den Boden zur Zündung präpariert werden und somit keine frischen Spuren zeigen.

Bei der Zündung von IEDs unterscheidet man grob zwischen solchen, die durch einen Drucksensor beim Betreten bzw. Überfahren gezündet werden, solchen, die über Funksignale

(oder Mobiltelefone) initiiert werden und anderen, die über Zünddrähte (*Command Wires*) zur Explosion gebracht werden. Letztere werden auch als CWIED bezeichnet. Da für die Funkfernzündung Gegenmaßnahmen entwickelt wurden, wird aktuell in der Regel über einen Draht die Zündung eingeleitet.

Gegenmaßnahmen: Counter-IED

Maßnahmen gegen IEDs werden als *Counter-IED*-(C-IED)-Maßnahmen bezeichnet und sind Gegenstand intensiver Anstrengungen in vielen Nationen. Im FHR wird seit 2009 unter dem Aspekt der „Sicherheit der Bundeswehr im Einsatz“ gezielt die Frage von C-IED-Verfahren unter Nutzung des Radarsensors untersucht. Aufgebaut wird dabei auf Erfahrungen im Bereich der Entdeckung von unter Kleidung verborgenen Waffen und Sprengstoffen mittels Millimeterwellen- und Terahertzsensorik sowie der Entdeckung von vergrabenen Minen über GPR-Systeme (GPR = *Ground Penetrating Radar*). Auch die langjährigen Erfahrungen im Bereich Aufklärung und Zielklassifizierung kommen bei der Suche nach Lösungen der C-IED-Problematik zum Tragen.

Aufgrund der vielfältigen Erscheinungsformen von IEDs stellt ihre Entdeckung und Klassifizierung eine große Herausforderung dar, denn sie sind im Allgemeinen weder nach Form noch nach Aufbau klar als solche zu erkennen. Sie können z. B. aus Plastikkanistern, Holzkisten oder Metallboxen bestehen, so dass sie in entsprechender Umgebung durchaus als gewöhnliche Gegenstände wahrgenommen werden. Die Detektions- und Klassifizierungsaufgabe besteht also zunächst darin, herauszufinden, welche Merkmale denn eine Erkennung von IEDs erlauben oder wenigstens einen Hinweis auf ein solches gefährliches Objekt geben.

Das Fahrzeug wurde bei einer Patrouillenfahrt im Irak durch ein IED beschädigt.



Potentiale der Radartechnik zur C-IED

Der Radar-Sensor bietet mit seinen Möglichkeiten zur Durchdringung von Kleidung und von nichtmetallischen Gegenständen sowie seiner Fähigkeit zur dreidimensionalen, hochauflösenden Abbildung hervorragende Voraussetzungen, wertvolle Beiträge zur Lösung der komplexen C-IED-Aufgabe zu leisten. Dies kann z. B. im Fall des Feldlagerschutzes über kurze Reichweiten vom Boden aus erfolgen, im Fall des Konvoischutzes aber auch mit luftgetragenen abbildenden Radar (SAR). Hier kommt sowohl ein niedrig fliegendes taktisches UAV mit miniaturisiertem Millimeterwellen-SAR (vgl. S. 34 ff.) als auch ein höher fliegendes MALE (*Medium altitude long endurance*)-Aufklärungssystem mit weitreichendem SAR, z. B. im X-Band, in Frage. Insbesondere im letzteren Fall wird aber die Aufgabe im Allgemeinen wegen des Fehlens eindeutiger Merkmale nicht über eine direkte Entdeckung des IEDs gelöst werden können, sondern nur indirekt über die Entdeckung bestimmter Verdachtsmomente. Diese könnten z. B. ein ausgelegter Zünddraht, am Straßenrand neu platzierte Gegenstände (Zündbatterie), Grabungsspuren an oder in der Straße sein. Hier bestehen die Merkmale also zunächst einmal in der Feststellung einer Veränderung. Die hierzu eingesetzten Verfahren werden als *Change-Detection*-Verfahren bezeichnet und führen einen Vergleich zwischen zwei Messungen durch, die in einem gewissen Zeitabstand erfolgt sind. Auf Grund seiner Fähigkeit zur Vermessung der Signalphase und der polarimetrischen Eigenschaften des reflektierten Signals ist das Radar hierbei dem optischen Sensor nicht nur wegen seiner Schlechtwettereigenschaften und der Fähigkeit zur Durchdringung von Staub und Rauch überlegen.

In einigen Fällen sind aber auch eine direkte Entdeckung und Klassifizierung von Sprengfallen möglich. Dies trifft zu, bei am Körper getragenen Sprengstoffgürteln und bei der Entdeckung von großvolumigen Sprengstoffmengen im

Straßenuntergrund. Im ersten Fall ist eine klare Signatur zu erkennen, im zweiten Fall ein deutlicher Kontrast der eingebrachten Materialien zur umgebenden Bodensubstanz. Aber auch im letzten Fall können *Change-Detection*-Verfahren, die Veränderungen der Erdoberfläche erkennbar machen, die Entdeckungsrate von Gefährdungen erhöhen.

Die oben angesprochene, im Jahre 2009 begonnene abteilungsübergreifende Aktivität zur *Counter-IED* mittels Radar, fußt auf einem umfassenden Konzept mittels multimodaler Radarsensoren. Ziel der Arbeit ist die Nutzung von luftgetragenen, abbildenden Radarsystemen hoher Auflösungsfähigkeit zur Darstellung aller Objekte auf dem Boden und deren Merkmale sowie die Verwendung eines fahrzeuggebundenen, vorwärts schauenden GPR-Radarsystems zur Entdeckung von im Boden eingebrachten Sprengstoffen. Als Erweiterung ist langfristig eine UAV-getragene Variante des GPR-Systems vorgesehen.

Die luftgetragenen Systeme erzeugen in Realzeit hochauflösende, zweidimensionale Radar-Abbildungen des Geländes und sind in der Lage, die oben beschriebenen, auf dem Boden ausgebrachten IEDs oder zumindest wichtige Bestandteile wie Zündbatterie und Zünddraht zu detektieren. Um Veränderungen zu erkennen, wird man bei einem ersten Überflug über das Gelände Referenzbilder erstellen und später, direkt vor Befahrung des Konvoiweges, ein aktuelles Bild der gleichen Umgebung aufnehmen. Anschließend kann man unter Anwendung von *Change-Detection*-Verfahren die Veränderungen der Szene feststellen. Die so gefundenen Objekte werden dann einem Klassifizierer zugeführt, um möglichst genaue Aussagen über die Art des Gegenstandes zu gewinnen, z. B. ob es sich um eine Metallkiste, Granate, Batterie, einen Draht oder anderes handelt. Dabei werden auch polarimetrische Informationen herangezogen, aus denen sich insbesondere Hinweise auf von Menschen hergestellte Objekte (*man made*



targets), im Gegensatz zu natürlichen Reflektoren, ableiten lassen. Diese Verfahren sind aus der Zielsuchkopf-Algorithmik bekannt und erprobt.

Das Ground-Penetrating-Radar-System

Das vorwärts schauende GPR-System, welches z. B. zum Konvoi-Schutz eingesetzt werden kann und jederzeitige Verfügbarkeit erlaubt, erzeugt eine dreidimensionale Abbildung des Bodens. Hierzu ist kein anderer Sensor – wie etwa ein optischer (Laser- oder IR-Sensor) – in der Lage. Das GPR ermöglicht auch die Entdeckung nicht-metallischer Objekte wie z. B. von Sprengstoff, bei dem der üblicherweise im Bereich der Minensuche eingesetzte Metalldetektor versagt. Abbildung 2 zeigt den Entwurf eines GPR-Systems, welches auf einem Bodenfahrzeug aufgebaut ist. Dieses vorwärts blickende System soll im (Straßen-) Untergrund eingebrachte Sprengstoffe auf Entfernungen entdecken, die ein Bremsen des Fahrzeuges vor der Gefahrenstelle noch ermöglichen. Das GPR-System kann auch als Verifikationssensor auf Anforderung des UAV-getragenen Millimeterwellen-SARs gezielt in der Nähe des Konvoi-Weges eingesetzt werden, falls sich aus den Bildsignaturen Verdachtsmomente auf im Boden verbrachte Sprengstoffe ergeben haben (vgl. S. 44 ff.).

- 1 Vor der Zündung entdeckte IEDs, die für die kontrollierte Sprengung vorbereitet werden.
- 2 Entwurf eines Ground-Penetrating-Radar-Systems, welches auf einem Fahrzeug aufgebaut wurde.
- 3 Solche oder ähnliche unbemannte Flugobjekte ausgestattet mit Radarsensoren können bei der Entdeckung von IEDs helfen.

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

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

GESCHÄFTSFELD



RADAR ZUR WELTRAUMBEOBSCHTUNG

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 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 im Rahmen der gesamtstaatlichen Sicherheitsvorsorge. Mit Gründung des Weltraumlagezentrums in Uedem am Niederrhein wurde dazu in 2009 die Basis für eine entsprechende nationale Kernbefähigung geschaffen.

Dem Radarsensor kommt im Gesamtkomplex Weltraumlage eine besondere Bedeutung zu. Wichtige Teilbereiche können praktisch nur durch Radar sinnvoll abgedeckt werden: So erfordert die kontinuierliche Überwachung des Bereiches niedriger Erdumlaufbahnen (*low earth orbits*, LEO) ein (oder mehrere) bodengestützte Phased-Array-Hochleistungsradar(e). Hier beteiligt sich FHR im Rahmen des europäischen Vorbereitungsprogramms am Aufbau eines Demonstrators für ein monostatisches, gepulstes Phased-Array-Überwachungsradar (siehe auch S. 28). 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. Auch hier werden derzeit bereits grundlegende Fragestellungen, die im Sensorverbund von Überwachungs- und Verfolgungsradar auftreten, im

Rahmen der deutsch-französischen Weltraumlage-Kooperation untersucht (siehe S. 24).

Aktuelle Studien 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 liegen dabei u. a. auf den Gebieten Höchstleistungsradar zur Reichweitensteigerung bei gleichzeitiger Multifunktionalität (Detektion, Verfolgung, Abbildung), dreidimensionale Zielabbildung in Echtzeit mit sehr hohen Auflösungen (im Bereich ein bis drei Zentimeter), Verfahren zur hochpräzisen, autonomen Bahnverfolgung und -bestimmung sowie der Vermessung und Analyse der kleinteiligen Trümmerpopulation.

Im Geschäftsfeld Radar zur Weltraumbeobachtung werden deshalb die spezifischen Fragestellungen und Anforderungen an Radarsysteme und -verfahren zur Zielentdeckung, -verfolgung und hochauflösenden Zielabbildung von Objekten im erdnahen Weltraum und in der Atmosphäre untersucht. 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 aufbauend auf 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.

Durch die hohe Geschwindigkeit von Weltraumschrott können Satelliten bei einer Kollision vollständig zerstört werden.

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

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



DEMONSTRATION VON SSA-FUNKTIONEN IM TIRA-GRAVES SENSORVERBUND

Aufgrund der zunehmenden Gefährdung seiner Satelliten strebt Europa die Entwicklung eines autonomen *Space Situational Awareness* (SSA)-Systems an. Vor diesem Hintergrund wurden mit dem Sensorverbund aus GRAVES, dem einzigen operationellen Weltraumüberwachungsradar in Europa und TIRA, dem leistungsfähigsten Weltraumbeobachtungsradar, Schlüsselfähigkeiten für ein SSA-System demonstriert.

Schlüsselfähigkeiten im Bereich SSA in Deutschland und Frankreich

Die Grundaufgabe eines SSA-Systems besteht in der Erstellung eines stets aktuellen Katalogs identifizierter Objekte, die sich im erdnahen Weltraum bewegen und eine potentielle Gefahr für Satelliten darstellen. Dies erfordert zur Beschreibung und Voraussage der Umlaufbahn sowie zur Erfassung von Manövern, Neustarts und Abstürzen eine regelmäßige Zielverfolgung der Objekte. Eine ebenso wichtige Aufgabe ist die Erzeugung von Radarbildern, deren Qualität sich zur Typklassifikation und gegebenenfalls auch Identifikation der beobachteten Objekte eignet. Mit der in Europa einzigartigen Großradaranlage TIRA (*Tracking and Imaging Radar*) verfügt Deutschland über einen herausragenden Sensor und langjährige Erfahrung in der Weltraumaufklärung durch höchstauflösende Radarbilder und hochpräzise Zielverfolgung. In den Bereichen Weltraumaufklärung und SSA hat das Fraunhofer FHR die notwendige wissenschaftliche und technische Expertise entwickelt.

Jedoch ist Deutschland gegenwärtig abhängig von Bahnbeschreibungen in Form so genannter *Two Line Elements* (TLEs) des US-amerikanischen Katalogs und hat keinen Zugriff auf klassifizierte Bahnelemente. Operationelle Aspekte von SSA, wie die routinemäßige Erstellung und Pflege eines Objektkatalogs, sind in Deutschland nicht etabliert. Mit GRAVES (*Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale*) verfügt Frankreich gegenwärtig über das einzige operationelle Weltraumüberwachungsradar in Europa, verbunden mit mehrjähriger Erfahrung in diesem Bereich. Prozeduren zur Erzeugung und Pflege eines autarken Katalogs sind etabliert. Ebenso hat Frankreich einen guten Einblick in die militärischen Anforderungen von SSA. Gegenwärtig verfügt es aber nur über begrenzte Mittel zur Identifikation und Analyse von Objekten des GRAVES-Katalogs.



2



3

Kombination von TIRA und GRAVES

Bahndaten, die aus Messungen von GRAVES für nur eine Passage berechnet wurden, sind zwar qualitativ relativ grob, eignen sich aber in der Praxis hinreichend zur Einweisung anderer Zielverfolgungsradare. Im Unterschied zu TIRA, bei dem bereits die Beobachtung einer Passage zur Berechnung hochgenauer Bahndaten genügt, müssen mit GRAVES mehrere konsekutive Passagen vermessen werden. Die hohe Detektionsrate des empfindlichen GRAVES-Systems ist bei der Zuordnung neuer Messdaten durch Korrelation mit Katalogdaten mit einer entsprechend großen Verwechslungsgefahr verknüpft. Zusätzliche Probleme bereiten Objekte, die während der ersten beobachteten Passage nur knapp über der Detektionsschwelle liegen, so dass sie anschließend nicht wieder gefunden und in den Katalog aufgenommen werden können.

Um mögliche Lösungen zu untersuchen, wurden umfangreiche Messkampagnen durchgeführt, bei denen die Beobachtung eines Objektes während einer Passage zuerst durch GRAVES und danach durch TIRA erfolgte. Im Mittelpunkt stand die Fragestellung, ob die Qualität von Bahnelementen, die aus nur wenigen GRAVES-Messdaten eines kurzen Zeitraums zu Beginn einer Passage berechnet wurden (*on-the-fly-TLE*), bereits ausreicht, um das TIRA-Zielverfolgungsradar erfolgreich einzuweisen und das Objekt zwecks Erzeugung hochpräziser Bahnelemente bis zum Ende der Passage erfolgreich zu verfolgen. Die meisten dieser Experimente verliefen nicht nur erfolgreich, sondern in einigen Fällen gelang gleichzeitig sogar die Echtzeitabbildung der Objekte mittels des TIRA-Abbildungsradars.

Das Potenzial des Sensorverbunds TIRA-GRAVES

Die Ergebnisse der Kampagne zeigen, dass durch geeignete Kombination der beiden Radarsysteme direkt nach der Detektion eines Objekts durch GRAVES die Bahndaten mit Hilfe von TIRA noch während der verbleibenden Passage hochgenau erfasst werden können, so dass eine Aufnahme in den Katalog direkt nach nur einer Passage ermöglicht wird. Der Sensorverbund TIRA-GRAVES besitzt damit die für ein autonomes SSA-System notwendigen Schlüsselfähigkeiten.

Hinsichtlich einer europäischen Initiative zur Entwicklung eines *European Space Situational Awareness Systems* (ESSAS) nehmen Deutschland und Frankreich hiermit eine Vorreiterrolle ein. Im Rahmen der deutsch-französischen Zusammenarbeit im Bereich SSA sollen die Untersuchungen zur Optimierung der Koordination beider Hochleistungssysteme intensiviert werden.

Die deutsch-französische Sensorkombination TIRA-GRAVES:

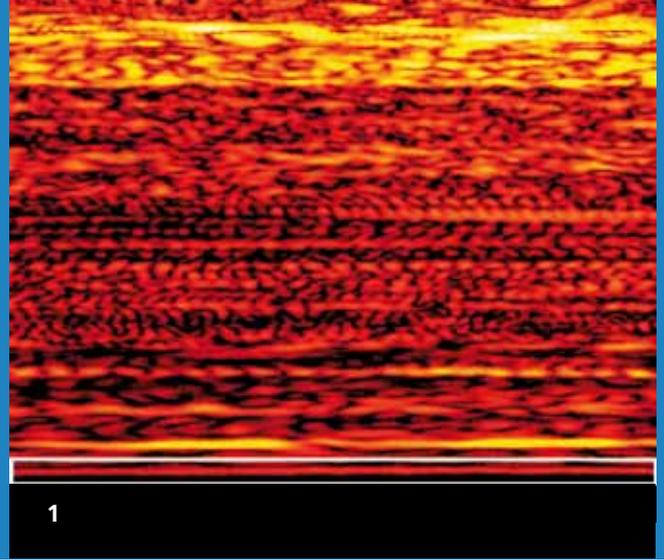


1 Blick auf den Spiegel der Großradaranlage TIRA des Fraunhofer FHR (Bildmontage).

2 Der Empfänger des GRAVES-Systems besteht aus einer kreisförmigen Anordnung von Dipolantennen und befindet sich 380 km südlich vom Sender in der Nähe von Apt (Frankreich).

3 Eine von vier Phased-Array-Antennen des GRAVES VHF-Senders in der Nähe von Dijon (Frankreich).

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



FOKUSSIERUNG VON ISAR-BILDERN MITTELS AUTOFOKUS-VERFAHREN

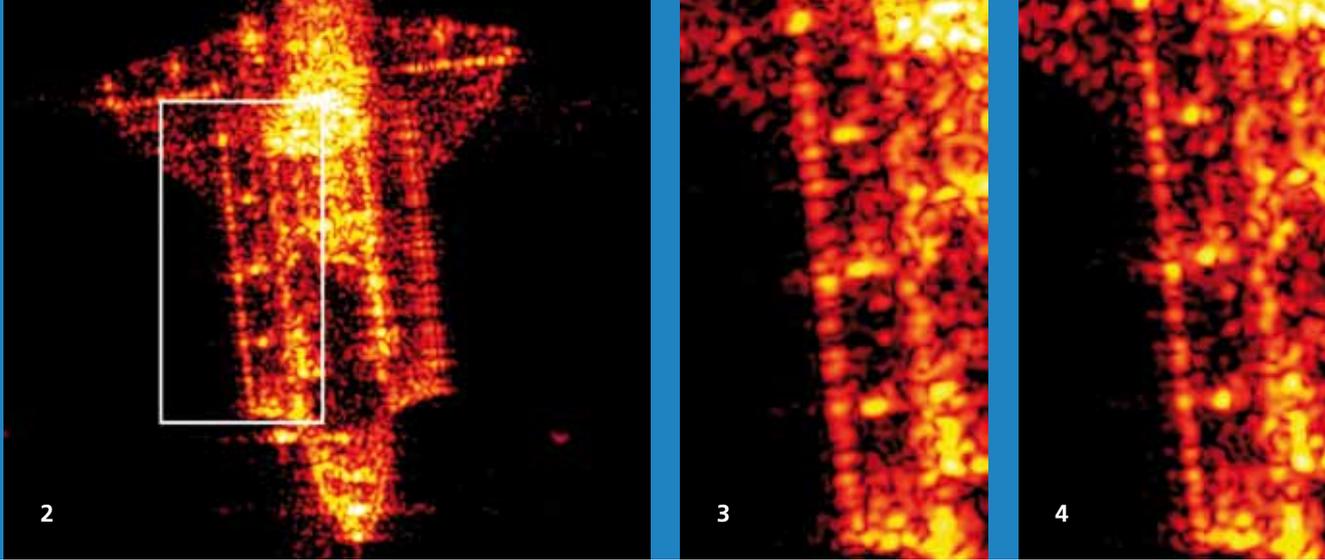
Bei Weltraumobjekten ist häufig die Bahn nicht genau genug bekannt, um allein mit deren Kenntnis aus Radarmessungen ein gut aufgelöstes Bild mit dem ISAR-Verfahren (*Inverse Synthetic Aperture Radar*) zu erzeugen. Daher ist neben der Ausrichtung der aus den Radarpulsen gewonnenen Entfernungsprofile auch eine automatische Feinjustage der Signalphase (Autofokus) erforderlich.

ISAR-Abbildungsverfahren

Mit TIRA, dem Tracking and Imaging Radar des FHR, werden Abbildungen von Weltraumobjekten nach dem ISAR-Verfahren erzeugt. Dabei wird ausgenutzt, dass ein starres Objekt, z. B. ein Satellit, auf seiner Flugbahn unter verschiedenen Aspektwinkeln gesehen wird. Zum Vergleich wird eine optische Abbildung betrachtet. Hier werden Strahlen vom Objekt zu verschiedenen Punkten auf der Apertur, die ebenfalls verschiedene Aspektwinkel relativ zum starren Objekt haben, durch die Optik gleichzeitig, ohne zeitliche Verzögerung zu einem Bild kombiniert. Der zweidimensionalen Apertur entspricht ein zweidimensionales Bild. Die Blickrichtungen vom Objekt zur Apertur einer Optik spannen ein Kegelvolumen gleichzeitig auf. Im Gegensatz dazu definieren beim ISAR zeitlich nacheinander auftretende Blickrichtungen nur eine eindimensionale Spur auf der Einheitskugel. Daher liefert das Prinzip der synthetischen Apertur nur eine Dimension der Abbildung. Beim Radar wird jedoch zusätzlich für jede Blickrichtung auch ein Entfernungsprofil der Streuer gemessen. Die Entfernung kommt als zweite Dimension hinzu und ermöglicht trotz der eindimensionalen synthetischen Apertur die Erzeugung eines zweidimensionalen Bildes. Die Blickrichtung liegt in der Bildebene und nicht senkrecht dazu, wie bei der optischen Abbildung.

Ausrichtung von Entfernungsprofilen

Für die Fokussierung von ISAR-Bildern ist es erforderlich, dass alle Entfernungen relativ zu einem ausgezeichneten Punkt des Objekts gemessen werden. Bei genauer Kenntnis der Bahn des Satelliten könnte dies der Schwerpunkt des Objektes sein. Der ausgezeichnete Objektpunkt muss bis auf Bruchteile einer Wellenlänge (maximal ein Achtel, beim Ku-Band-Radar des TIRA bedeutet das nur 2 Millimeter) genau bekannt sein. Dies ist genauer, als die Bahn mit Tracking-



Ergebnissen geschätzt werden kann. Um trotzdem gut fokussierte Bilder zu erhalten, richtet man zunächst die Folge der gemessenen Entfernungsprofile z. B. durch Korrelation so aus, dass ein vorher ausgewählter signifikanter Streuer immer in einer Entfernungs-Auflösungszelle bleibt (Abb. 1). Danach verbleibt ein Restfehler, der sich durch eine Phasenverschiebung des komplexen Signals einer Entfernungszone äußert, die im Wesentlichen durch das Produkt der Mittenfrequenz des gesendeten Radarsignalspektrums und der dem Restfehler entsprechenden Laufzeit bestimmt ist. Aufgabe eines Autofokusverfahrens ist es nun, diesen Restfehler zu korrigieren.

Autofokusverfahren

Das einfachste Autofokusverfahren, der so genannte Dominant-Scatterer-Algorithmus, besteht darin, einen einzelnen starken Streuer in einer Entfernungs-Auflösungszelle zu finden, die Phase des Signals dieser Auflösungszelle über die Pulse während der Akquisitionsdauer zu verfolgen und dann im gesamten Entfernungsprofil zu korrigieren. Gelingt es nicht, einen dominanten Streuer zu finden, kommen Verfahren zur Anwendung, die Informationen aus vielen Entfernungsprofilen kombinieren, wie zum Beispiel der Phasen-Gradienten-Algorithmus (PGA). Im Allgemeinen wird dabei vorausgesetzt, dass jeder Streuer während der für ein Bild erforderlichen Akquisitionsdauer in seiner Auflösungszelle verbleibt. Diese Bedingung wird jedoch für hoch aufgelöste Bilder, bei denen bei gleicher Auflösung in Querrichtung wie in Entfernungsrichtung ein größerer Aspektwinkelbereich überstrichen wird, nicht immer erfüllt.

Verbesserter Phasen-Gradienten-Algorithmus

Aus diesem Grund wird am FHR ein verbesserter PGA untersucht, der Autofokus basierend auf vielen Entfernungsprofilen auch bei großen überstrichenen Aperturwinkeln ermöglicht. Dazu werden im noch nicht optimal fokussierten Bild isolierte Streuer gesucht. Jedes Entfernungsprofil wird so verschoben und mit einem Phasenterm multipliziert, dass jeweils einer der isolierten Streuer in den Nullpunkt des Bildkoordinatensystems wandert. Der so verschobene Streuer und seine Umgebung bleiben dann über die gesamte Apertur, die für ein Bild ausgewertet wird, in derselben Auflösungszelle, so dass seine Phase in jedem Puls ausgewertet werden kann. Abb. 3 und 4 zeigen im Vergleich die verbesserte Fokussierung insbesondere in der linken Bildhälfte im Bereich der Ladebucht des Space Shuttle.

ISAR-Abbildung des Space Shuttle mit dem Polar-Reformat-Algorithmus bei einer Bandbreite von 800 MHz:

- 1** *Ausgerichtete Entfernungsprofile. Die horizontale Linie am unteren Rand der Reflexionen mit nahezu konstanter Amplitude entspricht der Spitze des Space Shuttle.*
- 2** *Fokussierung mit dem verbesserten PGA: Übersicht.*
- 3** *Fokussierung mit dem normalen PGA: Ausschnitt.*
- 4** *Fokussierung mit dem verbesserten PGA: Ausschnitt. Das Bild erscheint deutlich schärfer.*

*Dr.-Ing. Jens Rosebrock
Tel. +49 228 9435-245
Fax +49 228 9435-656
jens.rosebrock@
fhr.fraunhofer.de*



EUROPÄISCHE WELTRAUMÜBERWACHUNG MITTELS PHASED-ARRAY-SENSORIK

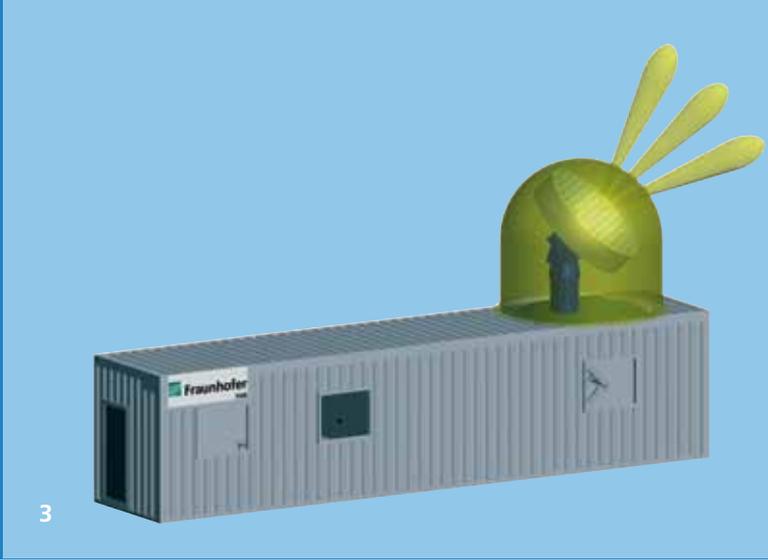
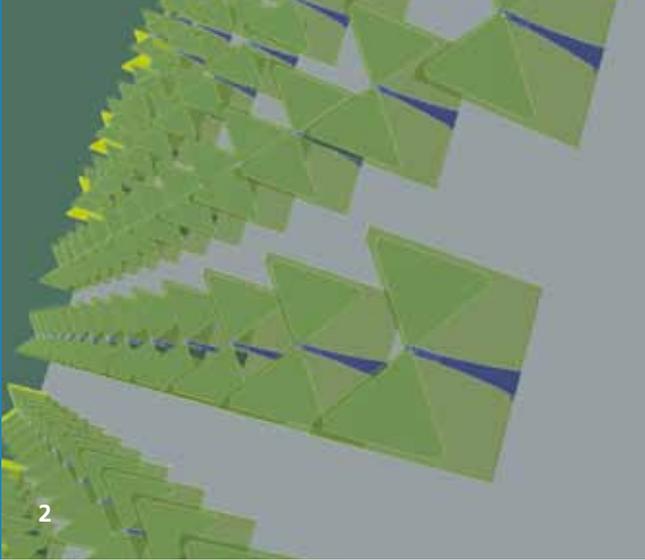
Ein neues europäisches Weltraumüberwachungssystem soll künftig vor Gefahren im Orbit schützen, indem Kollisionsgefahren frühzeitig detektiert und entsprechende Gegenmaßnahmen spontan eingeleitet werden können. Fraunhofer-Forscher entwickeln zusammen mit der spanischen Firma Indra Espacio, S.A. einen Demonstrator für das zukünftige *Phased-Array*-Radar zur Weltraumüberwachung.

Das geplante System zur Weltraumlage-Erfassung *European Space Situational Awareness System* (ESSAS) soll eine unabhängige Nutzung des Weltraums durch Europa sicherstellen – insbesondere um die europäische Infrastruktur im Raum (z. B. Galileo) zu sichern. Von 2009 bis Ende 2011 sollen die Grundlagen für das Überwachungssystem geschaffen werden. Hierzu gehört eine leistungsfähige Radaranlage mit phasengesteuerten Gruppenantennen zum vollständigen und regelmäßigen Erfassen der Satelliten und kleinen Schrottoobjekte.

Alternative Demonstratorentwicklungen

Mit Technologiedemonstratoren und ihren operationellen Versuchsphasen sollen auf Veranlassung seitens der ESA zunächst die Vor- und Nachteile der beiden Radar-Prinzipien bistatisches Dauerstrich-Radar und monostatisches Pulsradar vergleichend für den Einsatzfall der weitreichenden Überwachung der niedrigen Orbits (LEO) experimentell gegenübergestellt werden. Dem Vorteil des bistatischen Dauerstrich-Radars einer geringeren abgestrahlten Spitzenleistung, steht der Nachteil der fehlenden Entfernungsmessung gegenüber. Demgegenüber erlaubt das gepulste monostatische Radar eine genauere Bestimmung der Zielparameter bei gleichzeitig entsprechend höherer äquivalenter Spitzenabstrahlleistung.

Auf der Basis des operationellen *Phased Array*-Systems GRAVES (siehe S. 24) entwickelt die französische Forschungsgesellschaft ONERA zusammen mit der französischen Industrie einen Demonstrator für ein bistatisches Dauerstrich-Radar mit weit voneinander entfernten Phased Array Antennen für Senden und Empfang. Alternativ hierzu hat die ESA die spanische Radarfirma Indra Espacio beauftragt, einen monostatischen gepulsten Radar-Demonstrator auf Phased-Array-Basis zu designen und zu entwickeln. Das Unternehmen baut den Demonstrator allerdings nicht im Alleingang: Für ein Auftragsvolumen von 1,4 Millionen Euro hat Indra das



Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg ins Boot genommen. Die Spanier entwickeln das Sendearray und den Radarprozessor, die Ingenieure von Fraunhofer FHR das Empfangssystem. Bei beiden Überwachungssystemen handelt es sich um Such- und Verfolgungsradare mit elektronisch schwenkbarer Antenne, deren Hauptkeule sich trägeheitslos und schnell im Beobachtungsraum umschalten lässt (AESA: *actively electronic scanned array*). Somit können sehr viele Objekte quasi gleichzeitig beobachtet werden. Im Endausbau wird die Zielvorgabe verfolgt, 15 000 bis 20 000 Objekte einmal pro Tag für mindestens zehn Sekunden auf dem Radar zu haben.

Struktur des Empfangssystems mit digitalem Beamforming

Das Empfangssystem des gepulsten Demonstrator-Radars arbeitet mit modernster *digital-beamforming* (DBF) Technik. Die Empfangsapertur bildet eine planare Gruppenantenne mit einer repräsentativen Vielzahl von Einzelelementen (Abb. 2). Die hiermit empfangenen Signale werden am Elementausgang innerhalb eines optimierten digitalen Receive-Moduls extrem rauscharm verstärkt, gefiltert und mit hoher Dynamik analog/digital gewandelt. Die digitalen Empfangssignale werden nochmals digital gefiltert, mit variabler Bandbreite ins Basisband gemischt und optisch dem digitalen Beamformer für 8 Empfangskeulen mit variabler Keulenform zugeführt. Somit könnte man die reflektierten Signale von Zielen aus maximal 8 Richtungen gleichzeitig empfangen. Die Strukturierung des *Beamformer*-Netzwerkes erfolgt derart, dass sie als Beamformer-Basiszelle des finalen Gesamtempfangssystems dienen könnte. Der hohe Systemgewinn, welcher sich aus Pulskompressions-, *Beamforming*-Gewinn und weiteren Signalaufintegrationsbeiträgen zusammensetzt, erlaubt es, empfangene Rückstreusignale, die sich weit unter dem Eingangs-Rauschniveau befinden, zu detektieren und zu verfolgen.

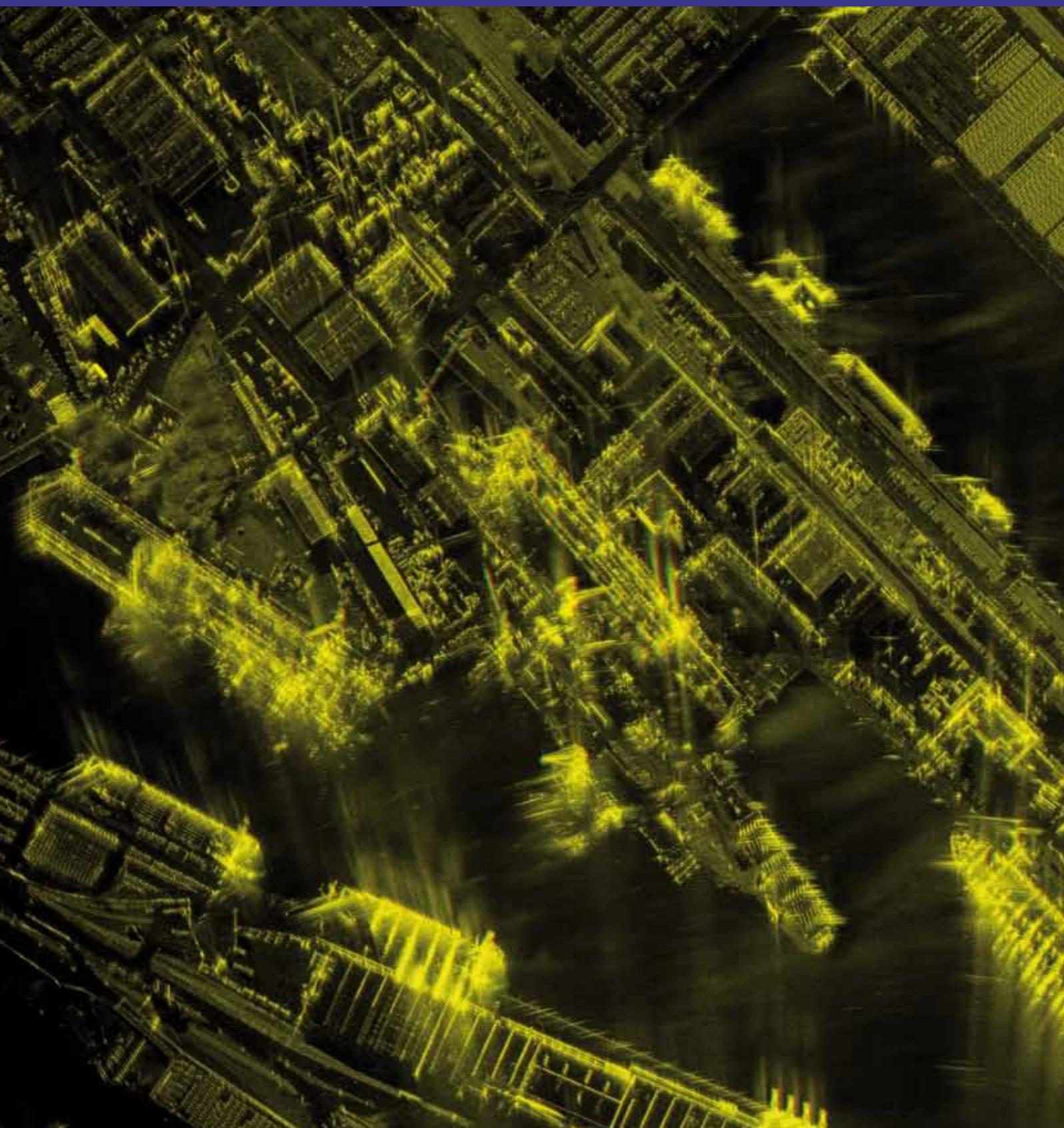
Zur Grundausrüstung des Blickfeldes wird die Antenne auf einen 3-Achsen-Drehstand montiert, welcher auch die mechanische Kompensation der Faraday-Rotation übernimmt. Dies ist ein temperatur- und richtungsabhängiges Wellenausbreitungsphänomen in der Ionosphäre, welches in bestimmten Entfernungsbereichen die Polarisierung der durchlaufenden Welle dreht. Ein für die Radarwellen nahezu transparentes Radom dient als Wetterschutz. Abbildung 3 zeigt ein Modell des Empfangssystems mit Radom und zugehörigem Shelter für den operationellen Betrieb.

Ende dieses Jahres soll der Demonstrator an die ESA übergeben werden. Im Anschluss folgt ein einjähriger Testbetrieb. Die hierbei gewonnenen Erfahrungen fließen in die Auslegung des finalen Systems ein.

- 1 Durch Weltraummüll zerstörter Navigations-satellit
- 2 Blick auf die planare Antennenapertur des Empfangssystems, bestehend aus Dipol-ähnlichen Einzelstrahlern
- 3 Modell des Empfangssystems des Phased-Array-Radar-Demonstrators von FHR, Blick auf Shelter und Radom

Dipl.-Ing. Helmut Wilden
 Tel. +49 228 9435-316
 Fax +49 228 9435-618
 helmut.wilden@
 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.



*Anaglyphische Darstellung
der Ergebnisse einer Radar-
aufnahme des Kaiserhafens
in Bremerhaven*

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*



VON DER DETEKTION ZUR SPUR: VERFOLGUNG VON BODENFAHRZEUGEN

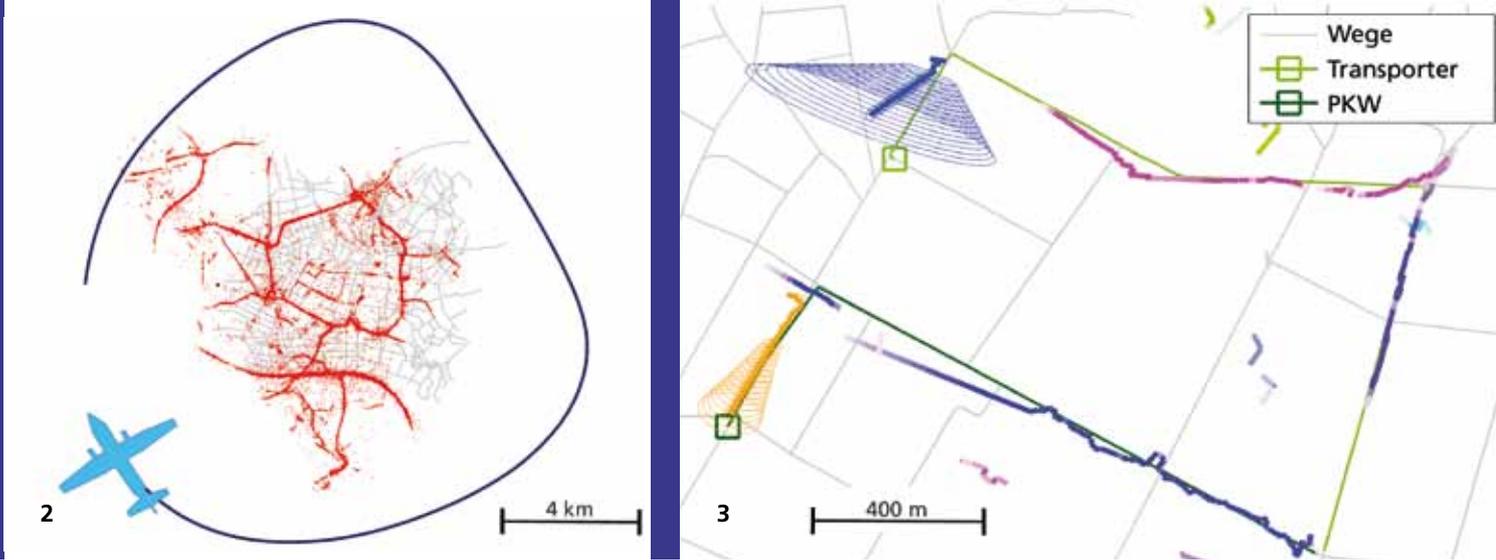
Die weiträumige, luftgestützte Aufklärung bewegter Objekte mittels Radar hat sowohl militärische Relevanz als auch eine zivile Anwendung in der Verkehrsüberwachung. Ihre Durchführung erfordert ein Zusammenspiel zwischen Signalverarbeitung und Zielverfolgung.

Ein luftgestütztes, mehrkanaliges Radarsystem ist ein idealer Sensor, um ein weiträumiges Gebiet witterungs- und tageszeitunabhängig zu beobachten. Als aktives System sendet es dazu Radarwellen aus und zeichnet die Rückstreuungen der Erdoberfläche sowie stehender und bewegter Objekte auf. Dabei werden große Mengen von Informationen gesammelt, die einer umfangreichen Signalverarbeitung bedürfen.

Eine Hauptaufgabenstellung ist dabei die Entdeckung von Bewegtzielen inmitten der viel stärkeren Rückstreuungen des Bodens. Zu diesem Zweck werden Methoden der Raum-Zeit-adaptiven Signalverarbeitung angewandt, die darauf basieren, dass sich bei mehrkanaligen Systemen die Empfangsdaten bewegter Objekte von denen des Bodens unterscheiden. Eine wichtige Herausforderung ist dabei, besonders langsame Fahrzeuge auch bei stark variierenden Eigenschaften der Erdoberfläche erkennen zu können.

Die mittels der Signalverarbeitung erfolgten Detektionen können auf einer Karte eingetragen werden und liefern somit wichtige Informationen über den Ort und Richtung von Fahrzeugbewegungen und Verkehrsströmen. Werden diese Zielentdeckungen über einen längeren Zeitraum dargestellt, kann jedoch nicht angezeigt werden, welche der zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgten Detektionen vom selben Fahrzeug hervorgerufen werden. Daher kann auch keine Aussage über die Fahrwege einzelner Ziele getroffen werden, insbesondere dann wenn die Fahrzeugdichte hoch ist.

Um diese Problemstellung zu lösen, werden Zielverfolgungsalgorithmen verwandt. Besondere Schwierigkeiten sind dabei: die fehlende Zuordnung zwischen Detektionen und Zielen, die Tatsache, dass langsame Fahrzeuge nicht detektiert werden, Detektionsausfälle aufgrund der Beobachtungsgeometrie sowie bei vielen Bewegtzielen die große Anzahl von Detektionen, die eine numerisch besonders effiziente Implementierung erforderlich machen.



Am Fraunhofer FHR werden diesbezüglich Methoden der Radarsignalverarbeitung und Experimentalsysteme wie das Multifunktionsradar PAMIR entwickelt (Abb. 1). In Kooperation mit Fraunhofer FKIE wird auch an der Weiterverarbeitung der Detektionen zu Zielspuren geforscht. Insbesondere gelang es, die Verfolgung von Bodenzielen mit PAMIR zu realisieren.

Zielverfolgung mit PAMIR

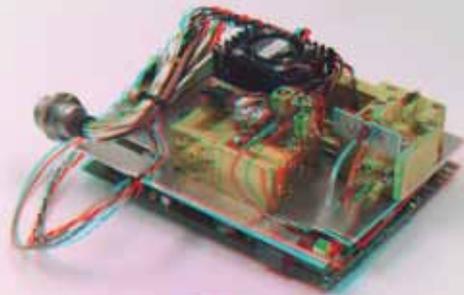
Die Zielverfolgung mit PAMIR erforderte die Durchführung eines eigens zu diesem Zweck ausgelegten Experimentes, in dem ein Zielgebiet mit einer Transall, der Trägerplattform des Radars, kreisförmig umflogen wurde. PAMIR scannte dabei periodisch das Zielgebiet ab, während am Boden zwei mit GPS ausgerüstete Fahrzeuge eingesetzt wurden, um Referenzdaten zu gewinnen. Abbildung 2 zeigt die Detektionen und die Flugbahn der Trägerplattform auf einer Karte. Um den Anforderungen der Bodenzielfolgung zu genügen, wurde ein neuartiger Algorithmus – das *Gaussian Mixture Probability Hypothesis Density Filter* – erweitert. Durch die Modellierung der Detektionsfähigkeit des Radarsystems kann dieser Algorithmus berücksichtigen, dass unter einer ungünstigen Beobachtungsgeometrie selbst schnelle Ziele kurzzeitig nicht detektierbar sind. Ohne diese Modellierung würden Spuren solcher Ziele fälschlicherweise gelöscht. Weiterhin wird die Messung der Zielradialgeschwindigkeit genutzt, um die Zuordnung der Detektionen zu Zielspuren zu verbessern.

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der Verfolgung für den Bereich, in dem sich während des Experimentes die mit GPS-Geräten ausgerüsteten Referenzfahrzeuge befanden. Zum Vergleich mit den Zielspuren stellt die Abbildung auch die GPS-Spuren der Referenzfahrzeuge (PKW und Transporter) dar. Einige besondere Herausforderungen dieses Szenarios – scharfe, nahezu rechtwinklige Kurven der Fahrzeuge, Detektionsausfälle aufgrund der Beobachtungsgeometrie und Abschattungen durch Vegetation – führen an einigen Orten zu Abweichungen zwischen den aufgefundenen Zielspuren und den Referenzdaten. An den Orten, bei denen die Beobachtung erfolgen konnte, stimmen die Spuren jedoch sehr gut mit den Referenzdaten überein. Außerhalb des hier dargestellten Gebiets konnten mit den aufgezeichneten Daten auch Spuren für Fahrzeuge des normalen Straßenverkehrs erstellt werden.

Diese Ergebnisse zeigen, dass mit dem Multifunktionsradar PAMIR eine Darstellung der Fahrzeugbewegungen erzeugt werden kann. Zur weiteren Verbesserung der Ergebnisse soll zukünftig untersucht werden, inwieweit Informationen über Straßenverläufe die Radarsignalverarbeitung und Zielverfolgung unterstützen können.

- 1 Die Trägerplattform Transall mit dem in der Springertür montierten Multifunktionsradar PAMIR.
- 2 Karte mit Zielentdeckungen (in Rot) und der Flugbahn der Trägerplattform. Die Straßeninformationen wurden nicht für die Positionierung genutzt. (Geodaten © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- 3 Referenzszenario mit GPS-Spuren der eingesetzten Fahrzeuge. Die von der Zielverfolgung erzeugten Spuren und Fehlerellipsen sind in variierenden Farbtönen dargestellt. Die Straßeninformationen wurden nicht für die Zielverfolgung genutzt. (Geodaten © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Dipl.-Ing. Robert Kohlleppe
 Tel. +49 228 9435-392
 Fax +49 228 9435-618
 robert.kohlleppe@
 fhr.fraunhofer.de



1

SUMATRA – MILLIMETERWELLEN-SAR FÜR UAV-EINSATZ

Der Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugen (*Unmanned Aerial Vehicles, UAVs*) für die Fernüberwachung wird heute sowohl für den militärischen als auch zivilen Bereich intensiv diskutiert. Abgesehen von reinen Abstandssensoren, wie sie für die Kollisionsvermeidung möglich sind, stehen insbesondere bildgebende Radarsysteme im Mittelpunkt des Interesses. Mit dem Verfahren der synthetischen Apertur (SAR) kann man hochaufgelöste Bilder der Erdoberfläche und von Objekten auf der Erde generieren. Zusätzlich möchte man damit Bilder in Realzeit erzeugen, um wie mit einer Videokamera instantan ein Lagebild von der Situation am Boden zu gewinnen; jedoch mit dem Vorteil, auch Nebel, Rauch und Staub zu durchdringen zu können. Die Stärken der luftgetragenen Überwachung können aber nur dann voll zum Tragen kommen, wenn für eine Allwetterfähigkeit und Sicherheit vor einer Kollision mit Hindernissen wie Bäumen, Hochspannungsleitungen und Felswänden gesorgt ist.

Millimeterwellen-UAV-SAR

Für den Einsatz auf taktischen UAVs eignen sich besonders Radare, die im Millimeterwellenbereich arbeiten. Dieser Frequenzbereich ermöglicht zum einen eine Miniaturisierung der Sende-Empfangseinheit, zum anderen können kleine Antennen verwendet werden, die dennoch eine ausreichende Bündelung aufweisen und zudem einfach am kleinen Fluggerät montiert werden können. Von ganz besonderer Bedeutung für diesen Frequenzbereich ist die Möglichkeit, mit großen Signalbandbreiten und damit sehr hohen Entfernungsauflösungen zu arbeiten, so dass selbst kleinskalige Effekte des Hintergrundes oder der Ziele aufzuspüren sind. Es ist intuitiv verständlich, dass mit kleinen Radar-Wellenlängen eben auch kleinste Strukturen oder Strukturänderungen nachgewiesen werden können. Beispiele sind die Entdeckung von Reifenspuren aus Entfernungen im Hundert-Meter-Bereich vom luftgetragenen Sensor aus, oder die Detektion von lokalen Änderungen des Pflanzenbewuchses als Wirkung von Düngung und Feuchte.

SUMATRA

Die Entwicklung eines miniaturisierten Millimeterwellen-SARs mit einer nominellen Arbeitsfrequenz von 94 GHz wurde in den vergangenen Jahren vorangetrieben. Das Grundkonzept



2



3

greift auf das Dauerstrich-Verfahren mit Frequenzmodulation (FM-CW) zurück, das nur relativ geringe Sendeleistungen erfordert, um operationelle Entfernungen bis über 1000 Meter zu erzielen. Die notwendige Linearität und Kohärenz des Sendesignals ist mit modernen Bauteilen beherrschbar. Die am Fraunhofer IAF entwickelten Empfängerbausteine weisen eine sehr hohe Empfindlichkeit bzw. geringes Eigenrauschen auf, so dass auch durch diese Systemparameter eine große Reichweite ermöglicht wird. Gegenüber früheren Entwicklungsstufen konnten durch Einbau eines neu entwickelten Verzwölfacher-Bausteins Abmessungen und Gewicht noch einmal auf weniger als die Hälfte reduziert werden. Dieser Baustein ermöglicht die Erzeugung aller relevanten Radarsignale im Bereich um sieben Gigahertz, so dass hier klassische, einfach zu beherrschende Hochfrequenz-Platinentechnik genutzt werden kann und nur die End- bzw. die Eingangsstufen Millimeterwellen-Technologie erfordern. Neu entwickelt und erheblich miniaturisiert wurde auch die Erzeugung der Wellenform. Im Gegensatz zu den Hochfrequenzbaugruppen stellt die Antenne im 94-GHz-Bereich die bandbreitenbegrenzende Komponente dar. Daher wurde eine neue Schlitzantenne mit asymmetrischer Antennenkeule entwickelt, die es erlaubt, eine Bandbreite von einem GHz zu erzielen. Die erzielbare Entfernungsauflösung beträgt 15 Zentimeter im Strip-Map-Modus. Die gesamte Front-End- und Signal-Erzeugungseinheit gemeinsam mit der Datenübertragungsplatine sind auf einer Platine (Abb. 1) untergebracht.

Neben dem Radar selbst ist das verwendete Inertialsystem an Bord des Fluggerätes entscheidend für die Genauigkeit der SAR-Prozessierung und damit für die erzielbare Bildqualität. Nachdem erste Experimente mit einer miniaturisierten Inertialeinheit basierend auf Mikro-Elektromechanischen Systemen (MEMS) gezeigt hatten, dass die Qualität der Inertialdaten nicht ausreichte, um eine adäquate Bildqualität zu erzielen, wurde ein neues Navigationssatelliten-System implementiert. Flüge wurden mit dem FHR-Ultraleichtflugzeug DELPHIN durchgeführt (Abb. 2). Die so gewonnen SAR-Bilder sind von ausgezeichneter Qualität und entsprechen der theoretisch im wesentlichen durch die Signalbandbreite bestimmten Bildauflösung (Abb. 3).

Nächste Entwicklungsschritte

Erste Flugversuche mit einem unbemannten Hubschrauber sind kurzfristig geplant. Um den Einsatzbereich insbesondere für Anwendungen zur Detektion von Sprengfallen (IEDs) und für landwirtschaftliche Einsätze zu erweitern, ist der Ausbau mit einem zweiten Empfängerkanal geplant. Dadurch können interferometrische und polarimetrische Signaturen gewonnen werden. Ein derartiges Einsatzspektrum mit realzeitlicher Datenprozessierung ist weltweit noch nicht verfügbar.



1 94-GHz-Front-End des SUMATRA-UAV-SAR.

2 SUMATRA an Bord des Ultraleichtflugzeuges DELPHIN

3 SAR-Bild aufgenommen bei 94 GHz mit SUMATRA

Dr. rer. nat. Helmut Essen
 Tel. +49 228 9435-249
 Fax +49 228 9435-608
 helmut.essen@
 fhr.fraunhofer.de



NEUE PERSPEKTIVEN: SIMULTANE RADAR-BILDGEBUNG AUS MEHREREN RICHTUNGEN

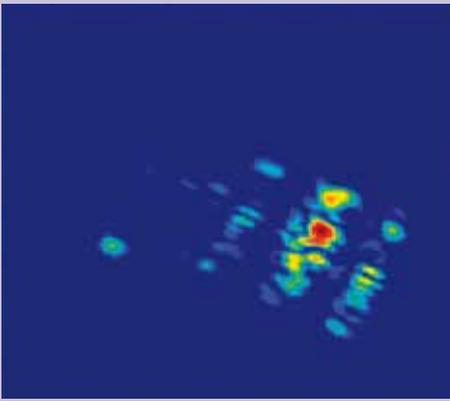
Räumlich getrennte Empfänger sollen bei der nicht-kooperativen Identifizierung von Boden-, Luft-, und Seezielen einen entscheidenden Vorteil bringen.

In den militärisch ausgetragenen Konflikten der letzten beiden Jahrzehnte gab es stets eine hohe Zahl von Opfern durch sogenanntes *Friendly Fire*, d. h. Beschuss durch eigene oder verbündete Truppen zu beklagen. Häufig ist die fehlerhafte oder einfach fehlende Identifizierung des Ziels die Ursache. Von daher gibt es ein hohes Interesse an Technologien, die in der Lage sind, Ziele zu identifizieren, die sich nicht selbständig zu erkennen geben, entweder weil sie es aufgrund nicht vorhandener oder fehlerhaft arbeitender Bordsysteme nicht können, oder aber sich z. B. wegen feindlicher Absichten nicht identifizieren wollen.

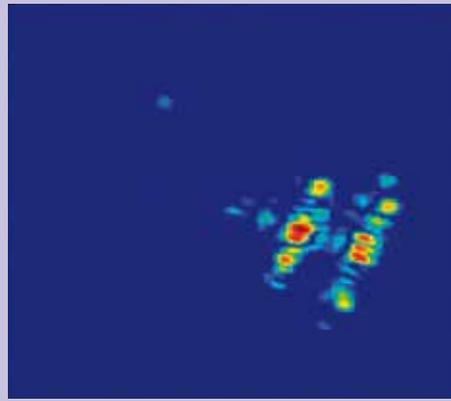
Der einzige wetterunabhängige und auf große Entfernungen für diesen Zweck einsetzbare Sensor ist Radar. International beschäftigt daher die nicht-kooperative Zielidentifizierung mittels Radar seit über 20 Jahren zahlreiche Wissenschaftler. Dennoch gibt es noch viele Probleme zu lösen.

Zielidentifizierung mittels 2D-ISAR-Bildern

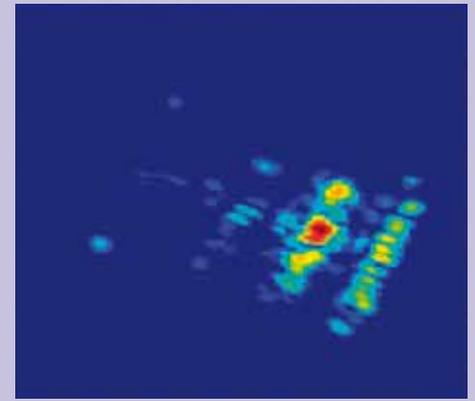
Ein vielversprechender Ansatz zur nicht-kooperativen Identifizierung ist der Vergleich von zwei-dimensionalen Radaraufnahmen eines Ziels mit Signaturen in einer Datenbank. Dazu muss zunächst ein aussagekräftiges Radarbild des Ziels erstellt werden. Dies geschieht nach dem Prinzip des Radars mit inverser synthetischer Apertur (ISAR). Ähnlich wie beim Radar mit synthetischer Apertur (SAR) wird beim ISAR die Radar-Apertur durch eine Relativbewegung zwischen Ziel und Radar aufgespannt. Während beim SAR die erforderliche Bewegung vom Radar ausgeführt wird, ist beim ISAR die rotatorische und translatorische Bewegung des Ziels für das Aufspannen der Apertur verantwortlich. Die Bewegung unterliegt damit nicht mehr der Kontrolle des Beobachters und muss deshalb ebenfalls aus den Radardaten geschätzt werden (Autofokus). Typische Beispiele für eine solche Bewegung liefern Schiffe, die im Wellengang schwanken, oder Flugzeuge, die eine Trajektorie abfliegen. Die erfolgreiche Nutzung dieser Methode wurde bislang allerdings dadurch erschwert, dass aus einem bestimmten Beobachtungswinkel immer



2



3



4

nur ein Bruchteil der Streuzentren auf einem Ziel beobachtbar ist. Die übrigen Streuzentren sind entweder abgeschattet oder streuen die eingestrahlte Energie nicht zurück ins Radar, sondern bevorzugt in andere Richtungen. Die darin enthaltene Information geht somit verloren. Mit Hilfe räumlich verteilter Empfänger kann diese Energie jedoch aufgefangen und zusätzlich zum herkömmlichen ISAR-Bild verwendet werden, um eine aussagekräftigere Darstellung des Ziels zu erhalten. Dies macht die Identifizierung unabhängiger vom Beobachtungswinkel.

Präzision ist gefragt

Der Betrieb solcher bistatischer Empfänger setzt jedoch eine nanosekundengenaue Synchronisation mit den Sendepulsen voraus. Dies kann entweder durch den Betrieb hochpräziser, GPS-disziplinierter Oszillatoren oder durch den direkten Empfang des Sendesignals erreicht werden. Weiterhin ist eine zentimetergenaue Kenntnis der Messgeometrie notwendig, um die Bilder aus den unterschiedlichen Empfängern korrekt zu überlagern.

Im Jahr 2010 wurde am FHR die Machbarkeit solcher simultanen Aufnahmen aus mehreren Betrachtungswinkeln gezeigt. In Experimenten mit einem flexiblen „Software Defined Radar“ als Sender und zwei zusätzlichen, räumlich entfernt positionierten Empfängern ohne Kabelverbindung konnten ISAR-Bilder von Fahrzeugen auf einer Drehplattform erfolgreich überlagert werden. Grundvoraussetzung dafür ist die Benutzung eines gemeinsamen, zielfixierten Koordinatensystems für alle Empfänger, das dafür sorgt, dass die einzelnen Bilder in Position und Orientierung übereinstimmen. Die Amplitudenwerte der so gewonnenen Bilder können dann inkohärent addiert werden.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die überlagerten Bilder einen höheren Informationsgehalt aufweisen als die herkömmlichen, mit einem einzelnen Radar erzeugten Bilder.

Herausforderung Tarnkappentechnologie

Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass der Gebrauch räumlich verteilter Empfänger gerade dann seinen vollen Nutzen entfaltet, wenn das Ziel darauf ausgelegt ist, möglichst wenig Energie in Richtung des Senders zurück zu streuen. Somit bietet die hier vorgestellte Methode eine vielversprechende Möglichkeit, Zielen zu begegnen, die mit sogenannter Tarnkappen- oder Stealth-Technologie ausgestattet sind. Ein zusätzlicher großer Vorteil ist, dass die räumlich verteilten Empfänger selbst keinerlei Strahlung emittieren und deshalb für gegnerische Radarwarnempfänger unsichtbar bleiben.



Foto des Ziels

2 Monostatisch erzeugtes ISAR-Bild

3 ISAR-Bild aus einem räumlich getrennten Empfänger

4 Kombination der beiden ISAR-Bilder zu einem einzigen Bild

Dipl.-Phys. Stefan Brisken

Tel. +49 228 9435-784

Fax +49 228 9435-627

stefan.brisken@

fhr.fraunhofer.de



EINFÜGEN VON OBJEKTEN IN SAR-SZENEN MITTELS EOSAR

Durch signaltheoretisch korrektes Einfügen von Objekten, die auf dem Drehstand mittels inverser synthetischer Apertur (ISAR) vermessen wurden, in SAR-Szenen aus luftgetragenen Messungen ist es möglich, eine große Vielfalt von Szenarien mit unterschiedlichen Zielen im Störhintergrund zu erzeugen.

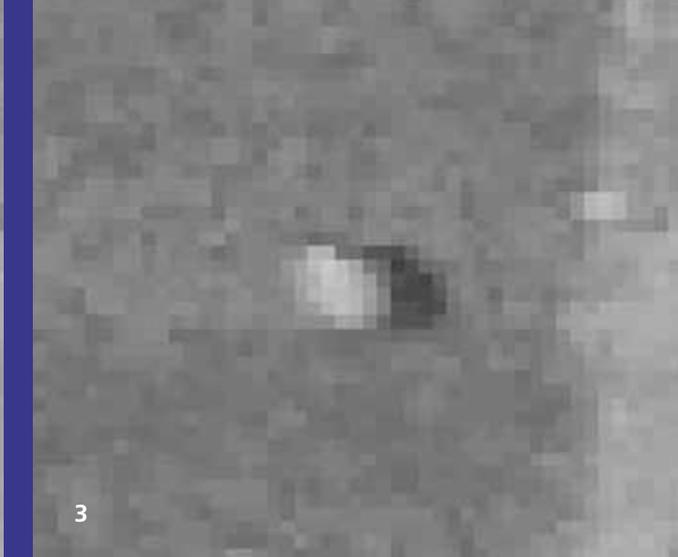
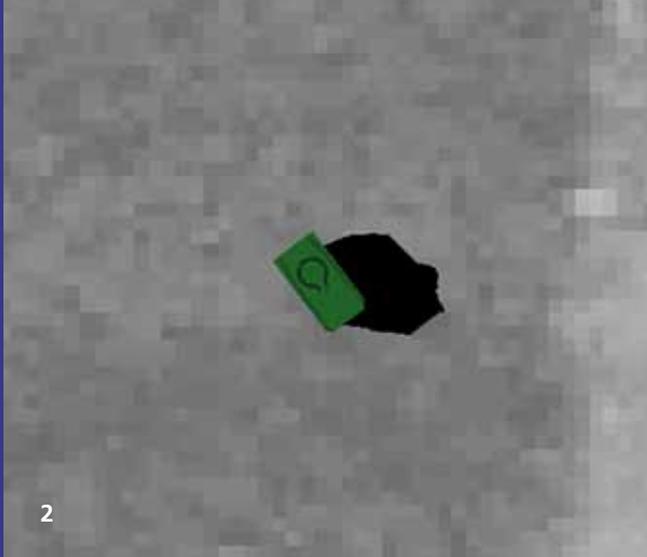
Beschreibung des Modells

Für das Training von Algorithmen zur automatischen Zielerkennung (*Automatic Target Recognition*, ATR) und für die Radarbilddauswertung mittels *Image Intelligence* (IMINT) ist es wichtig, über eine möglichst große Datenbasis von Szenen mit eingebetteten Zielen zu verfügen. Um aufwendige und kostspielige Messungen vieler verschiedener Zielobjekte und Zielkonfigurationen zu vermeiden, bietet sich als Alternative an, Ziele, die in einer Turm-/Drehstandanordnung unter allen möglichen Aspektwinkeln vermessen wurden (zwecks zweidimensionaler Abbildung mit ISAR), in unabhängig davon gemessene SAR-Szenen einzufügen. Dieses Einfügen muss derart geschehen, dass bei der SAR-Prozessierung ein Resultat entsteht, das dem entspricht, als hätte das Ziel sich beim SAR-Überflug tatsächlich am ausgewählten Platz befunden. Man erzeugt auf diese Weise operationelle Szenarien, die nicht nur für ATR und IMINT, sondern ebenso auch zur Missionsplanung wie zur Bestimmung der Aufklärungsgüte beim Einsatz von Tarn- und Täuschmaßnahmen eingesetzt werden können.

Damit auch Verdeckungseffekte und Schattenwurf korrekt berücksichtigt werden können, ist es wichtig, die dreidimensionale Struktur der überflogenen Szene zu kennen und mit ins Modell einzubeziehen. Dies geschieht durch Verwendung eines digitalen Geländemodells (DEM) inklusive Georeferenzierung der SAR-Szene. Da dies häufig nicht gegeben ist, wird als Ausgangsparameter ein ebenes Gelände angenommen.

Ablauf der Objekteinfügung

Zunächst erzeugt der Nutzer am Bildschirm die ursprüngliche SAR-Karte ohne eingefügtes Ziel. Mit ihrer Hilfe kann er die gewünschte Position eines oder mehrerer Ziele und deren Orientierung bestimmen. Alle dadurch betroffenen Entfernungsprofile des Rohdatenstromes



werden nun bestimmt in Abhängigkeit von der Antennencharakteristik und damit auch von der Schrägentfernung, denn der elliptische Leuchtfleck ist in der Mitte (*boresight*) breiter als im Nah- und Fernbereich. An dieser Stelle kommt also die Antennencharakteristik der SAR-Antenne ins Spiel. Im nächsten Schritt wird eine Entfernungs-/Dopplerkarte (*Range-Doppler-Map*, RDM) erzeugt, die das Zielgebiet enthält. Je nach Art der Prozessierung (volle Apertur oder Subapertur) kann es sich hierbei auch um eine Serie von aufeinanderfolgenden und sich dann teilweise überlappenden RDMs handeln. Die vom Ziel und seinem mittels CAD-Modell berechneten Schatten verdeckten Gebiete werden nun ausgeschnitten, die ursprünglich an der Zielposition vorhandene Umgebungsrückstreuung (*Clutter*) dadurch eliminiert, und zwar mit korrektem Dopplerverhalten. Danach werden die Daten rücktransformiert vom Entfernungs-Doppler-Bereich in den Entfernungs-Azimutzeit-Bereich. Man erhält dadurch erneut eine zeitliche Abfolge von Entfernungsprofilen, diesmal allerdings ohne den *Clutter*-Anteil des Zielbereiches. Die Turm-/Drehstand-Daten des einzufügenden Zieles werden zu Entfernungsprofilen mit gleicher Entfernungsauflösung wie in der SAR-Szene transformiert, wenn nötig interpoliert. Auch in ihrer zeitlichen Abfolge müssen die Drehstanddaten eventuell interpoliert werden, damit ihr Aspektwinkelschritt mit dem des SAR-Fluges übereinstimmt. Da das Ziel während des SAR-Überfluges durch die Antennenkeule wandert, bei den Drehstandmessungen hingegen fest in der Keule steht, muss vor dem Einfügen in die Szene auf die Zielprofile noch eine Gewichtungsfunktion angewendet werden, die die Keulenform der Antenne (*Beam Shape Loss*) berücksichtigt. Das Ziel wird nun durch kohärente Addition der Entfernungsprofile zu der SAR-Szene hinzugefügt. Eine erneute SAR-Prozessierung führt nun zur Entfernungs-Doppler-Karte mit korrekt eingefügtem Ziel und schließlich nach Projektion auf den Boden zur üblichen *Single-* oder *Multi-Look-SAR-Karte*.

Ausblick

In der gegenwärtigen Ausbaustufe wird nur ein Bildkanal betrachtet. Je nach verfügbaren Daten kann dieser mit linearer oder zirkularer Polarisation des Radars gewonnen werden. Häufig verwendete Kombinationen sind VV oder HH, d. h. gleiche Polarisation bei Senden und Empfang, entweder vertikal oder horizontal; aber auch LR (linkszirkular gesendet, rechtszirkular empfangen) oder RL. Eine grundlegende Änderung wäre der Übergang zu vollpolarimetrischen Daten mit drei über die Kovarianzmatrix miteinander verknüpften Kanälen. Eine andere denkbare Erweiterung ist das Einfügen generischer Objekte wie Gebäude und Brücken. Deren ISAR-Signaturen müssen dann allerdings mittels eines elektromagnetischen Simulationscodes aus CAD-Modellen erzeugt werden. Vor allem muss dabei die scheinbare Drehung während des Vorbeifluges durch die Simulation nachvollzogen werden.

1 SAR-Szene bei 94 GHz, in die ein leichtes Panzerfahrzeug eingefügt werden soll. Der in Abb. 2 und Abb. 3 gezeigte Ausschnitt ist rot markiert.

2 Das CAD-Modell des einzufügenden Objektes markiert dessen Position und Orientierung. Der Schatten wird mittels CAD-Modell und Geländere relief berechnet.

3 Szenen-Ausschnitt nach Einfügen des Zielobjektes. Das Schattengebiet ist mit realistischem Rauschen gefüllt.

Dr. Hartmut Schimpf
Tel. +49 228 9435-255
Fax +49 228 9435-608
hartmut.schimpf@
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.

Forschungsschwerpunkte am FHR sind seit langem die Millimeterwellentechnik und Radarsignalverarbeitung. Dieses Know-how wird gezielt auch für die Entwicklung zukünftiger Sicherheitssysteme eingesetzt, die eine Detektion und Klassifizierung von unter der Kleidung verborgenen Bedrohungsgegenständen ermöglichen. Dabei wird das Durchdringungsvermögen elektromagnetischer Wellen von unterschiedlichen Materialien vom Mikrowellen- bis hin zum Terahertzbereich erforscht und darauf aufbauend bildgebende, abtastende Radiometer und Miniaturradare entwickelt. Um die Entdeckung und Identifizierung von Flüssigkeiten und Sprengstoff zu ermöglichen, werden auch spektroskopische Untersuchungen bis 2.5 THz durchgeführt.

Im Fokus der Forschung steht aktuell die abstandswirksame Kontrolle von Menschen. Von besonderem Interesse sind hier Ansätze, bei denen Menschen sich möglichst frei bewegen können und die Sensorik nicht direkt sichtbar ist. Dadurch kann es langfristig möglich sein, Menschen innerhalb eines Kontrollbereiches so zu charakterisieren, dass nur ein kleinerer Teil, bei dem die Radarsensorik Verdachtskriterien ausgemacht hat, einer genaueren Kontrolle zugeführt wird.

Im Bereich des Feldlagerschutzes bei Frieden schaffenden militärischen Einsätzen ist die abstandswirksame Kontrolle wichtig. Um den Bedrohungen durch ferngezündete Sprengsätze, *Improvised Explosive Devices* (IEDs) oder von Selbstmordattentätern zu begegnen, werden für den Schutz militärischer Einrichtungen neue Sensorentwicklungen erarbeitet, bei denen besonders auf einen militärisch/zivilen Dual-Use geachtet wird.

Gegenwärtig werden technologische Anstrengungen unternommen, um Systemkonzepte und Sensorbauteile im

Millimeterwellen-, Submillimeterwellen- und Terahertzbereich für diese Anwendungen nutzbar zu machen. Denn mit zunehmender Frequenz lassen sich Sensoren kompakter aufbauen und verbesserte Auflösungen erzielen.

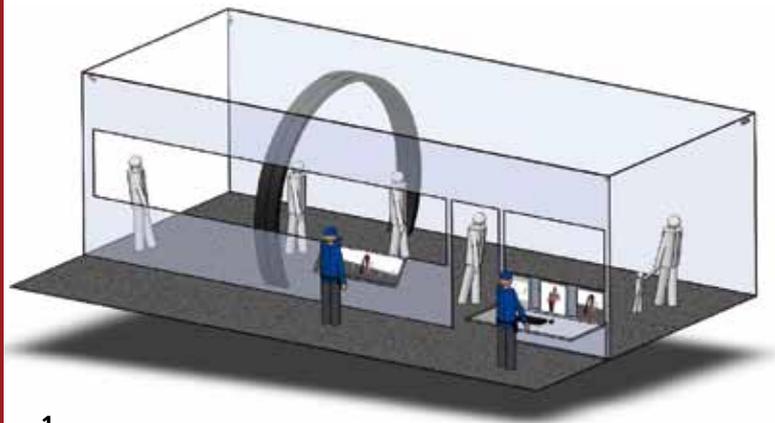
Ein weiteres, weltweit drängendes humanitäres aber auch militärisches Problem stellen vergrabene Minen mit geringem oder fehlendem Metallanteil dar. Es ist unmöglich, diese mit den bisher eingesetzten Metalldetektoren zu entdecken. Einen alternativen Sensor stellt ein Bodenradar dar, welches als einziger praktikabler Sensor in der Lage ist, eine 3D-Abbildung des Bodens zu erzeugen. Um auch kleine Minen wie Antipersonenminen erkennen zu können, müssen diese Radare eine Auflösung im Sub-Zentimeter Bereich ermöglichen. Dies wird durch das Konzept des „Ultrabreitbandradars“ ermöglicht. Untersuchungen an Minenfeldern bestätigen die grundsätzliche Wirkungsweise. Sie zeigen aber auch, dass letztendlich nur ein Sensor-Mix, bestehend aus Bodenradar, Metalldetektor und ggf. hochauflösendem Zentimeter- oder Millimeterwellen-Radar sowie Infrarot und optischen Detektoren, zu der geforderten Entdeckungssicherheit aller Minenarten führen kann. Mit dieser Technologie lassen sich auch direkt Konvois schützen, deren Fahrwege darüber hinaus präventiv durch UAV-getragene hochauflösende Radarsysteme auf *Improvised Explosive Devices* (IEDs) voruntersucht werden.

Neben den hier skizzierten Anwendungen sind die gleichen Technologien auch in vielen anderen Feldern direkt nutzbar. Hier sind besonders alle Aufgaben um das Katastrophenmanagement und humanitäre Einsätze zu nennen. Dort spielt die luftgetragene Erkundung von Katastrophengebieten auch bei widrigen Umweltbedingungen und das Aufspüren von Lebenszeichen Verschütteter eine entscheidende Rolle.

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

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

*Deutsche Truppen beim
IED-Training in Mazar-e
Sharif*



SARGATE – DER PERSONENSCANNER DER NÄCHSTEN GENERATION

Das Zielgebiet von Terroristen verschiebt sich zunehmend in den öffentlichen Raum, insbesondere in die Verkehrsinfrastruktur als neuralgischer Punkt des modernen Lebens. In absehbarer Zeit wird es daher nötig sein, zeitgleich mit Flughäfen auch die Sicherheitseinrichtungen an fragilen Punkten des öffentlichen Lebens, wie Bahnhöfe und Stadien, zu verstärken. Um einen weitgehenden Schutz gegen den Terrorismus zu gewährleisten, ist das Personenscanning nach wie vor eine der am meisten nachgefragten Sicherheitstechnologien.

Neue Anforderungen für Sicherheitssysteme

Systeme mit gesteigertem Durchsatzvermögen, sprich mit der Möglichkeit mehr Menschen in noch kürzeren Intervallen zu vermessen, werden für diesen Einsatzzweck nötig sein. Die persönliche Freiheit und Bewegung der Personen darf dabei nicht reduziert werden. Schließlich muss weiterhin die Privatsphäre des Menschen gewahrt bleiben. Im Team „Sensorsysteme für Sicherheitsanwendungen“ wird intensiv an solchen Technologien geforscht. Die neuen Sicherheitssysteme, die diese Anforderungen erfüllen, bezeichnen wir als „Personenscanner der nächsten Generation“.

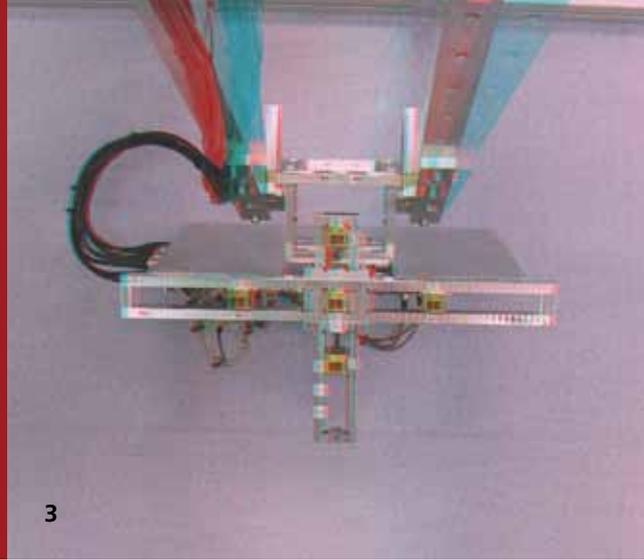
Konzeptstudie

Die eingesetzte Technologie wird zunehmend raffinierter, so dass die Wahrung der Privatsphäre bei einer gleichzeitigen Erhöhung des Durchsatzvermögens und einer ebenso stetig wachsenden Detektionswahrscheinlichkeit möglich wird. Der neuartige Konzeptansatz besteht darin, verschiedene Sensoren in unterschiedlichen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums zu nutzen und so zu fusionieren, dass die Einhaltung der anspruchsvollen Anforderungen gewährleistet wird.

Mehrere 3D-Optiken erfassen dazu die Person während ihrer gesamten Bewegung durch das Sicherheitsportal (Abb. 1) aus mehreren Perspektiven. Ein entsprechender Algorithmus fusioniert alle Teilperspektiven zu einer komplexen, dreidimensionalen Szene, in der die getesteten Personen als Avatare innerhalb einer virtuellen Umgebung erscheinen. Diese repräsentiert



2



3



4

sowohl das Sicherheitsportal als auch die hindurchtretenden Personen realitätsgetreu. Parallel wird die Person mit Hilfe von Millimeterwellen auf versteckte Waffen untersucht. Wird nun mit zwischengeschalteten Algorithmen eine Waffe detektiert, so wird diese auf den Avatar der getesteten Person projiziert und farblich markiert oder auf andere Weise hervorgehoben (wie z. B. in Abb. 2).

Forschung und Entwicklung

Das SARGATE ist eine Weiterentwicklung eines bestehenden Messsystems aus dem 7. Forschungsrahmenprogramm des von der EU geförderten „ATOM“-Projektes. Die kreisförmige Apertur wurde in die Vertikale verlagert und auf einen Durchmesser von 3 Meter erweitert. Auf diese Weise können Personen durch die Apertur hindurchtreten und werden währenddessen aus nahezu allen möglichen Raumwinkeln mit Millimeterwellen abgetastet.

Eine eigens dafür entwickelte Antennenanordnung (Abb. 3) ist auf dem in Abbildung 1 gezeigten Ring untergebracht und rotiert somit um die hindurchtretenden Personen. Bei dem aktuell verwendeten Frontend handelt es sich um ein mehrkanaliges FMCW-System bei 97 GHz mit einem zentralen Sender und mehreren räumlich verteilten Empfängern sowie einer Sendebandbreite von 3 GHz. Durch die Bewegung der Sensoren wird für jeden Empfangskanal eine synthetische Apertur aufgespannt, woraus eine hohe Detailauflösung des nach Waffensuchenden Systems resultiert (Abb. 4). Zusätzlich werden interferometrische und polarimetrische Ansätze verfolgt, um den Informationsgehalt über die rückstreuende Szene (Waffe) durch gezielte Phasenauswertung und Polarisationsmessungen weiter zu steigern.

Zudem wurde eine Methode entwickelt, mit dem gegenüber üblichen Standardverfahren eine wesentlich effektivere Fokussierung der Radardaten möglich ist. Aus der mit der 3D-Optik erzeugten virtuellen Umgebung wird die Oberflächenkontur der getesteten Person extrahiert. Die räumliche Position der Zieloberfläche ist nun zu jedem Zeitpunkt bekannt. Daraus resultiert direkt die Möglichkeit zur Fokussierung der Millimeterwellen-Daten an bewegten Personen. Diese Entwicklung wurde als Patent angemeldet, da sich daraus ein enormes Anwendungsspektrum auch außerhalb der Personenscanner-Thematik eröffnet.

Überall dort, wo viele Menschen innerhalb kurzer Zeit getestet werden müssen, kann dieses System zum Einsatz kommen, um den Sicherheitsstandard in Verbindung mit dem Schutz der Privatsphäre zu erhöhen.

1 *Illustration des Sicherheitsportals mit freiem Personenfluss. Dem Personal werden vielfältige Informationen auf den Monitoren eingeblendet, ein Zugriff ist jederzeit möglich.*

2 *Illustration der detektieren Handwaffe auf einer getesteten Person. Die Person erscheint dem Sicherheitspersonal in voller Kleidung, so dass der Schutz der Privatsphäre gewährleistet ist.*

3  *Fotografie der multistatischen Antennenanordnung mit zentralem Sender.*

4 *Rekonstruktion der SAR-Messung an einer Person mit verstecktem Gegenstand in Brusthöhe.*

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

VORWÄRTSBLICKENDES GPR ZUM AUFFINDEN VON IN STRASSEN VERGRABENEN IED

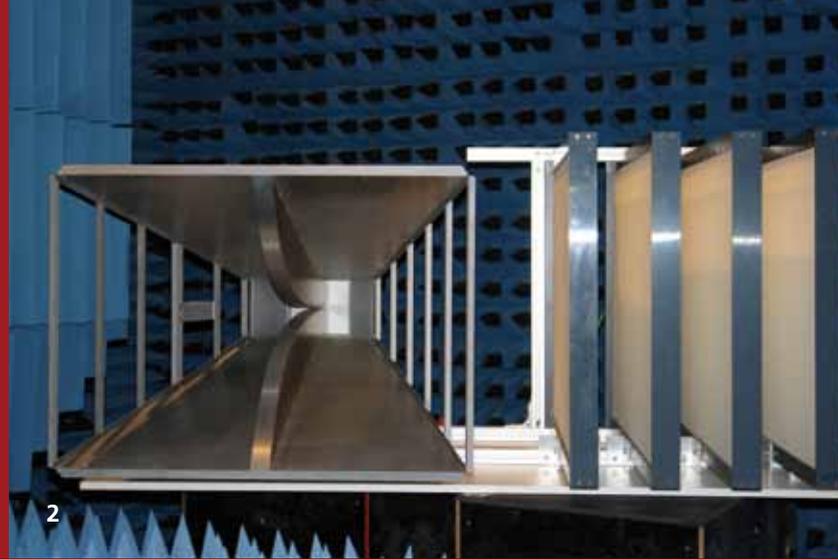
IED (*Improvised Explosive Devices*) stellen im Rahmen der asymmetrischen Kriegsführung eine erhebliche Bedrohung dar. GPR-Systeme eignen sich, in Straßen vergrabene IED zu orten und so einen wertvollen Beitrag zum Schutz der Soldaten zu liefern.

Die Bedrohung von Soldaten, die sich in Auslandseinsätzen befinden, hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Dabei haben sich unkonventionelle Sprengvorrichtungen zu einer der bevorzugten Waffen von Aufständischen in Operationsgebieten wie dem Irak oder Afghanistan entwickelt. Dies wird durch die signifikante Zunahme der Anzahl der Anschlagopfer in den letzten Jahren verdeutlicht. Die behelfsmäßigen Sprengvorrichtungen können aus vorhandenen Minen- oder Artilleriegranaten zusammengebaut sein oder es handelt sich um selbst entworfene Sprengsätze. Die Bauteile dafür sind meist frei verfügbar; Bauanleitungen können aus dem Internet heruntergeladen werden. Eine Abwehr dieser hoch effizienten Sprengfallen ist sehr schwierig, da diejenigen, die die IED für ihre Zwecke einsetzen, schnell und flexibel auf mögliche Gegenmaßnahmen reagieren. Um der Bedrohung angemessen zu begegnen, ist daher eine Strategie notwendig, die das gesamte IED-Netzwerk, beginnend bei der Finanzierung und Beschaffung der Komponenten für einen Sprengsatz bis hin zur Analyse von IED-Vorfällen, im Blickfeld hat. Teil dieser Strategie ist auch die Entwicklung innovativer Detektionstechnologien zur Ortung von in Straßen vergrabenen Sprengsätzen.

Eine bekannte Technologie zur Detektion vergrabener Objekte im Untergrund stellt das Bodendurchdringungsradar (*Ground Penetrating Radar*, GPR) dar, ein ultrabreitbandiges (*Ultra Wideband*, UWB) Radarkonzept, das dielektrische Unterschiede im Boden abbilden kann und es so ermöglicht, eingebrachte Gegenstände vom natürlichen Hintergrund zu unterscheiden. Der besondere Vorteil dieses Systems im Vergleich zu Metalldetektoren ist, dass auch nichtmetallische Elemente detektiert werden können. Dazu werden eine Sende- und Empfangsantenne so ausgerichtet, dass sie senkrecht in den Untergrund strahlen und somit Informationen über den direkt unter den Antennen liegenden Bereich liefern. Diese Vorgehensweise erlaubt aber nur einen geringen Sicherheitsabstand von der zu untersuchenden Stelle.



1



2

Am FHR wird daher an der Entwicklung eines vorwärtsschauenden Bodendurchdringungsradars geforscht, das mobil auf einem Fahrzeug montiert werden kann und vorwärtsgerichtet den Fahrweg beleuchtet, so dass es möglich wird, Gefahren durch vergrabene IED rechtzeitig zu erkennen. Für den im Aufbau befindlichen Demonstrator ist angestrebt, einen Bereich von 10 bis 50 Meter vor dem Fahrzeug abzudecken und Objekte von etwa der Größe eines Schuhkartons im Boden sicher zu detektieren. Eine möglichst hohe Fahrgeschwindigkeit ist natürlich aus Sicherheitsgründen wünschenswert; sie wird aber letztendlich durch die Geschwindigkeit der Signalverarbeitung und den Bremsweg bestimmt.

Der Unterschied im Vergleich zu herkömmlichen GPR-Anwendungen liegt primär in dem großen Abstand der Antennen vom Untergrund und in den aufgrund des schrägen Einfalls der elektromagnetischen Welle auf die Oberfläche deutlich komplexeren Reflexions- und Refraktionsverhältnissen. Dies muss beim Aufbau des Systems berücksichtigt werden, um eine ausreichende Eindringung der elektromagnetischen Wellen in den Boden zu erreichen. Insbesondere sollen eine Erhöhung der abgestrahlten Leistung und ein Empfangsarray, das aus eigens am FHR hergestellten, breitbandigen Vivaldi-Antennen konstruiert wurde, dabei helfen, die veränderten Anforderungen zu erfüllen.

Zur Verarbeitung der Daten des Systems wird daran gearbeitet, geeignete Algorithmen zu entwickeln. Aufgrund der geringeren Komplexität bei der EDV-Implementierung wird, auch mit Hinblick auf eine für später angestrebte Online-Datenauswertung, zunächst der Ansatz mit einem sogenannten *Delay-and-Sum-Algorithmus* (DAS) weiterverfolgt. Hierbei erfolgt eine Refokussierung durch eine kohärente Summation der zurückgestreuten Anteile der elektromagnetischen Welle mittels einer geeigneten Phasenkorrektur. Entscheidend für die Anwendung des DAS-Ansatzes ist die korrekte Berechnung der Laufzeiten des Signals von der Sendeantenne zum interessierenden Raumpunkt und von dort zur Empfangsantenne im Empfangsarray. Die Methode kann auf Punkte auf der Oberfläche und im Untergrund angewendet werden, so dass damit eine 3D-Abbildung erreicht wird.

Bewegt sich das Fahrzeug, kann zusätzlich ausgenutzt werden, dass ein fester Raumpunkt mehrfach unter verschiedenen Winkeln gemessen wird (*Multi-look*). Dies wird in die Datenverarbeitung miteinbezogen und trägt zu einem verbesserten Signal-zu-Rauschverhältnis bei.

1 *Modellansicht des Ground-Penetrating-Radar-Systems aufgebaut auf einem Fahrzeug.*

2 *Antennensystem für das vorwärtsblickende Bodendurchdringungsradar (Hornantenne als Sendeantenne und Empfangsarray aus vier Vivaldi-Antennen).*

*Dr. rer. nat.
Carsten Alteköster
Tel. +49 228 9435-340
Fax +49 228 9435-627
carsten.altekoester@
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.

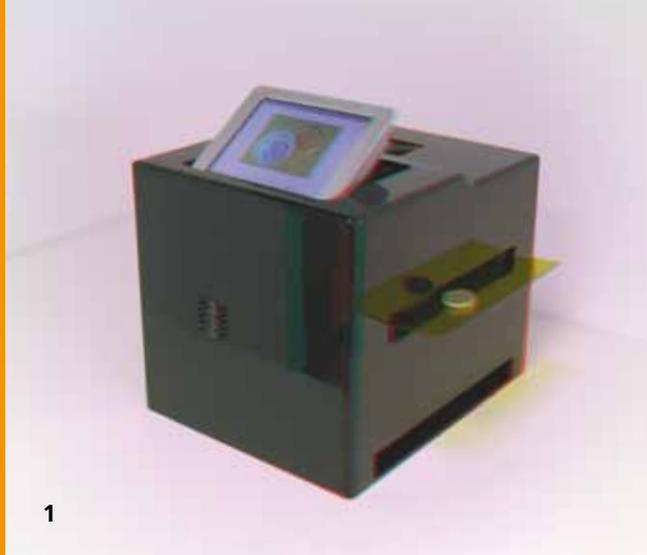
Ultrabreitbandige Radarsysteme mit einer Trägerfrequenz bis zwei Gigahertz sind in der Lage, Pflanzenmaterial und Böden zu durchdringen und stellen somit eine Möglichkeit dar, nicht-invasive Messungen von Volumina durchzuführen, beispielsweise eine Dichtemessung des Untergrundes oder der Wurzelstruktur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

Radarverfahren eignen sich auch für eine schnelle und berührungslose Prüfung von Lebensmitteln.

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

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



QUALITÄTSKONTROLLE MIT BILDGEBENDEM RADAR: SAMMI

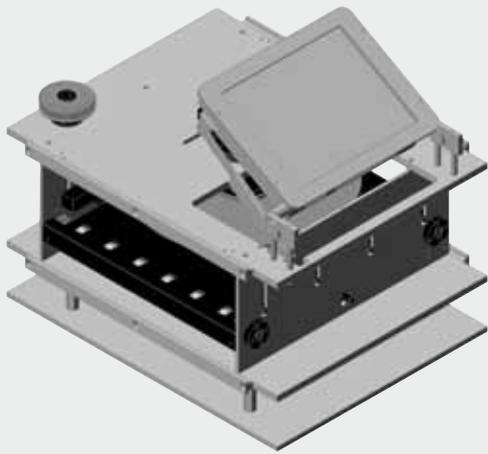
Durch die Verwendung der Hochfrequenztechnik kann eine Vielzahl von Stoffen durchleuchtet werden, die im optischen Bereich nicht transparent sind. Gleichzeitig werden selbst kleinste Unterschiede im Material sichtbar, die im Röntgenbereich verborgen bleiben. Das Experimentalsystem SAMMI demonstriert diese Eigenschaften des bildgebenden Radars und ermöglicht berührungslose Detektion von Materialunterschieden in nicht-metallischen Volumenkörpern.

Der Name SAMMI steht für *Stand Alone MilliMeter wave Imager*, und wie der Name schon ausdrückt, ist seine vorrangige Aufgabe das Durchleuchten und Abbilden von Proben, die im Millimeterwellenbereich (hier 78 GHz) transparent erscheinen. Dort bestimmen die dielektrischen Materialeigenschaften das Transmissionsverhalten der elektromagnetischen Wellen durch einen massiven Körper, und Zonen verschieden hoher Absorption oder Polarisierbarkeit werden im Durchleuchtungsbild differenziert dargestellt. Im Ergebnis zeigen so unterschiedliche Materialien oder Materialzusammensetzungen in einem Körper auch einen unterscheidbaren Kontrast, und selbst kleinste Fremdkörper und Inhomogenitäten können so in einem für den Menschen intransparenten Medium noch detektiert werden.

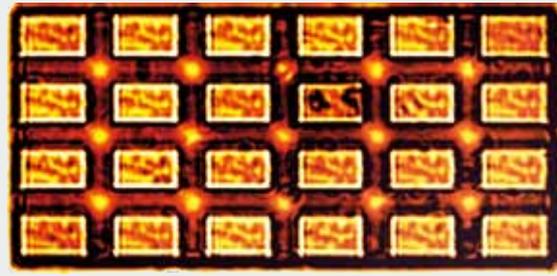
Auf Basis der Nutzung dieser physikalischen Effekte entwickelte sich die primäre Aufgabe, ein Verfahren zur Messung von Qualitätsabweichungen an schnell laufenden Produktionsstraßen zu generieren. Das so entstandene System stellt dabei gleichzeitig einen gelungenen Know-How-Transfer der fertigungsintegrierten Qualitätskontrolle durch orts aufgelöste Spektroskopie aus dem Labor heraus in eine anwendungsbezogene Umgebung dar.

Nun ist SAMMI offensichtlich keine Konstruktion, die ohne weiteres an ein Fertigungssystem montiert werden kann. Vielmehr repräsentiert er gegenwärtig einen Prototypen für ein innovatives marktfähiges Messverfahren und kann dabei als *Stand-Alone*-Variante nicht nur selbstständig in Briefen und kleinen Paketen Messer oder Sprengstoffe detektieren, auch findet er zum Beispiel unerwünschte Fremdkörper in Schokolade. SAMMI leistet so einen Beitrag:

- zum Schutz gefährdeter Personen und kritischer Infrastruktur
- zur stichpunktartigen industriellen Qualitätssicherung
- im Labor zur Materialanalyse



2



3

Die Intention hinter der recht minimalistischen Konstruktion von SAMMI war es, die üblicherweise recht kostenintensive Elektronik und Mechanik auf ein Minimum zu reduzieren. Ziel ist ein System, welches herkömmlichen Röntgendurchleuchtungsverfahren aufgrund eines guten Preis-/Leistungsverhältnisses und der Verwendung nicht ionisierender Strahlung durchaus überlegen ist.

Die Entwicklung von SAMMI belegt eindrucksvoll, dass ein fertigungsintegriertes Mess- und Prüfsystem auf Basis der Nutzung von Millimeterwellen machbar ist. Auch wenn er als Prototyp einen sehr breiten und kommerziell interessanten Aufgabenbereich abdecken kann, wird er in der industriellen Anwendung fokussiert auf eine spezielle Aufgabe arbeiten.

Systembeschreibung

In einem Gehäuse, nicht größer als ein kompakter Laserdrucker, befinden sich zwischen zwei rotierenden Scheiben zwei Antennenelemente in Transmissionsanordnung. Nun kann die Probe, z. B. ein kleineres Paket mit unbekanntem Inhalt, zwischen den zwei Antennen hindurch gefahren werden. Die Amplituden und die Phasenlagen der transmittierten elektromagnetischen Welle werden während des Durchlaufens der Probe aufgezeichnet und in Echtzeit auf einem Display angezeigt. Zusätzlich werden Datenpakete über verschiedene zur Verfügung stehende Schnittstellen (USB 2.0 und LAN) an eine Auswerteeinheit gesendet. Auswerteeinheiten können dabei Überwachungssysteme in der industriellen Qualitätssicherung sein oder Alarmzentralen zur Anzeige von Bedrohungen. Zur Erzeugung der Hochfrequenz wird eine Lokal-Oszillatoren-Frequenz von 13 GHz über eine Vervielfacher- und Verstärker-Kette auf 78 GHz versechsfacht. Die Ausgangsleistung beträgt etwa 10 dBm.

SAMMI Evolution

In der folgenden Evolutionsstufe soll SAMMI die dielektrischen Eigenschaften von Stoffen automatisiert erkennen können und anhand dieser einen Rückschluss auf die chemische Zusammensetzung der Messproben ermöglichen. Diese Funktion erlaubt ebenfalls die Klassifizierung von Verunreinigungen in z. B. Lebensmitteln und die Erkennung und Identifikation von gefährlichen Substanzen und Substanzgemischen. Auf Basis einer Cluster-Algorithmik werden die dielektrischen Eigenschaften der Proben dahingehend auf (Un)Ähnlichkeiten untersucht, dass Fremdkörper eindeutig detektiert und angezeigt werden können.



1 *Das Experimentalsystem SAMMI (Stand Alone Millimeter wave Imager).*

2 *CAD-Modell des Innenaufbaus von SAMMI.*

3 *Verunreinigungen in einer Tafel Schokolade können durch die Verpackung entdeckt werden.*

(Die dargestellte Verunreinigung wurden vom FHR zu Versuchszwecken eingebracht.)

Dr. rer. nat.

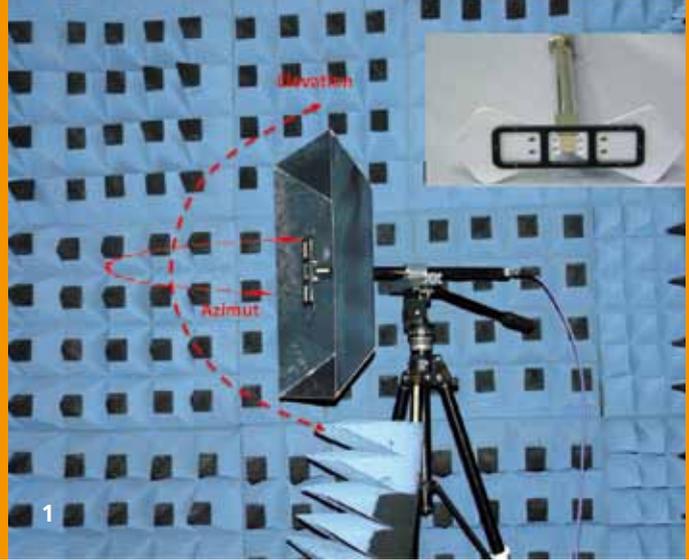
Alexander Hommes

Tel. +49 228 9435-877

Fax +49 228 9435-608

alexander.hommes@

fhr.fraunhofer.de



ABSTÜTZUNG MOBILER BAUMASCHINEN MITTELS GEORADAR

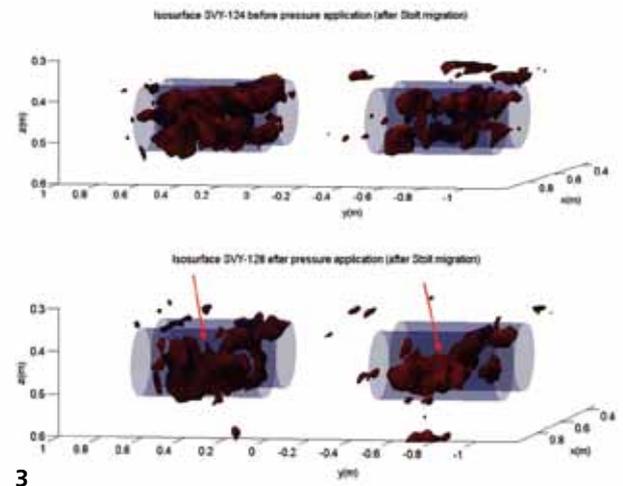
Bei der Abwicklung von Bauvorhaben kommen weltweit täglich mobile Baumaschinen wie Betonpumpen, LKW-Aufbaukrane und Hubarbeitsbühnen zum Einsatz. Um die Sicherheit der Arbeiter und einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten, ist die Auswahl eines standsicheren Platzes von zentraler Bedeutung. Das FHR entwickelt dafür ein Georadarverfahren, um möglichst automatisiert Hohlräume schon während der Aufstellphase zu erkennen.

Unvorhersehbare Gefahr durch Hohlräume

Die Standsicherheit der eingesetzten Maschinen am Einsatzort wird durch Stützbeine gewährleistet, welche die aus dem Arbeitsbetrieb resultierenden Momente aufnehmen und die zugehörigen Kräfte auf den Untergrund übertragen. Durch unvorhergesehenes Nachgeben des Untergrunds kommt es immer wieder dazu, dass Maschinen umstürzen, was erheblichen Sach- und Personenschaden zur Folge hat. Die Entwicklung eines leicht anwendbaren Überwachungssystems für mobile Baumaschinen zur automatischen Erfassung und Beurteilung der Bodentragfähigkeit liegt daher nahe, um Unfälle aufgrund eines Untergrundversagens zu verhindern.

Erkennung von Schichtgrenzen im Boden mittels Georadar

Das Georadar eignet sich hervorragend zur nicht-invasiven Detektion von Störungen im Boden wie z. B. Schichtgrenzen, Hohlräume oder auch gefährliche Objekte wie Landminen. Zu diesem Zweck bietet sich eine kleine und flache Ultrabreitband-Antenne wie der sogenannte *Bow-Tie-Dipol* an (Abb. 1), dessen hohe Bandbreite eine geringe Pulsdauer und damit eine hohe Auflösung auf kurzen Entfernungen ermöglicht. Um die bestmögliche Messkonfiguration zu bestimmen, wurden für diesen Antennentyp zunächst Berechnungen der Wellenausbreitung in einem Hohlraumszenario durchgeführt. Daraus resultierten Aussagen über die zu erwartenden Echo-Feldamplituden, bedingt durch die Wellenreflexion an Hohlräumen, in Abhängigkeit von der Tiefe des Hohlraums und der elektromagnetischen Bodenparameter. Damit können Vorhersagen getroffen werden, welche Leistung die ausgesendete Radarstrahlung haben muss und bis zu welcher Tiefe Hohlräume erkannt werden können.



3

Die durch Berechnungen gewonnenen Resultate wurden experimentell überprüft. Dazu stehen zwei Musterantennen zur Verfügung, deren wesentliche Antennenparameter, wie das winkelabhängige Abstrahl-Diagramm und die Impulsantwort, in einer echofreien Messkammer bestimmt wurden. Dabei zeigte sich, dass die Strahlungsleistung für Frequenzen von etwa 300 MHz bis zu 1,2 GHz und gleichzeitig über einen weiten Winkelbereich nahezu konstant bleibt. Die vorliegenden Antennenparameter ermöglichen eine Entfernungsauflösung, die für die Hohlräumeuche in realistischen Böden ausreicht.

Signalverarbeitungsverfahren

Die unterschiedlichen elektromagnetischen Eigenschaften verschiedener Materialien führen dazu, dass sich Radarwellen in den verschiedenen Bodenschichten unterschiedlich schnell ausbreiten und an Schichtgrenzen partiell reflektiert werden. Diese Tatsache lässt sich ausnutzen, um im Untergrund Gegenstände zu detektieren. Um von der Laufzeit eines Signals auf die Entfernung des Objektes zu schließen, benötigt man zunächst jedoch Kenntnisse über die Geschwindigkeit der Welle im Boden, welche durch die Materialeigenschaften des Untergrundes bestimmt wird. Kennt man schließlich die Entfernung, so ist die genaue Lage des Reflektors aber immer noch mehrdeutig, denn er kann sich in einem ganzen Winkelsegment um den Radarsensor herum befinden. Bewegt man den Sensor parallel zur Bodenoberfläche an einem punktförmigen reflektierenden Objekt im Boden vorbei, so ergibt sich für die potentielle Lage des Objektes im Untergrund eine Hyperbel. Das Ziel von sogenannten Migrationstechniken ist es, aus der gemessenen Zielreflexion die tatsächliche Position und physikalische Form des Reflektors im Untergrund zu erschließen.

Auf die Daten eines Laborversuchs wurde das Stolt-Migrationsverfahren angewandt. Für diesen Versuch wurden künstliche Hohlräume (Kunststoffrohre) in ein Testvolumen aus verdichtetem Bausand eingebracht (Abb. 2). Die Daten des Bodenradars wurden vor und nach der Applikation von 70 kN Druck über den Rohren aufgezeichnet. Abbildung 3 zeigt die Position der Rohre und gleichzeitig Flächen konstanter Reflexionsamplitude. Die Veränderungen der migrierten Radardaten vor und nach dem Abdrücken sind deutlich sichtbar und weisen auf eine Verformung der Rohre unter der Last hin. Solche Messungen könnten zur Qualitätssicherung vor und nach dem Aufstellen eines Fahrzeugs dienen.

Ein weiterer Gegenstand der aktuellen Untersuchungen ist die Suche nach charakteristischen Merkmalen der Rückstreuung von Hohlräumen, die es ermöglichen, ohne komplexe Auswertungsverfahren Hohlräume als solche automatisch identifizieren zu können.

1 Messaufbau mit Bow-Tie-Antenne und passendem Reflektor

2 Messaufbau mit Stützkraftsensor und Georadar sowie das ausgegrabene Rohr nach der Belastung (links unten)

3 ISO-Flächen der migrierten Reflexionsamplitude am Ort der zylindrischen Hohlräume vor (oben) und nach (unten) dem Abdrücken

Dipl.-Phys. Maria Antonia
Gonzalez Huici
Tel. +49 228 9435-708
Fax +49 228 9435-627
maria.gonzalez@
fhr.fraunhofer.de

CROP SENSE: RADARVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER ÄHREN-BIOMASSE

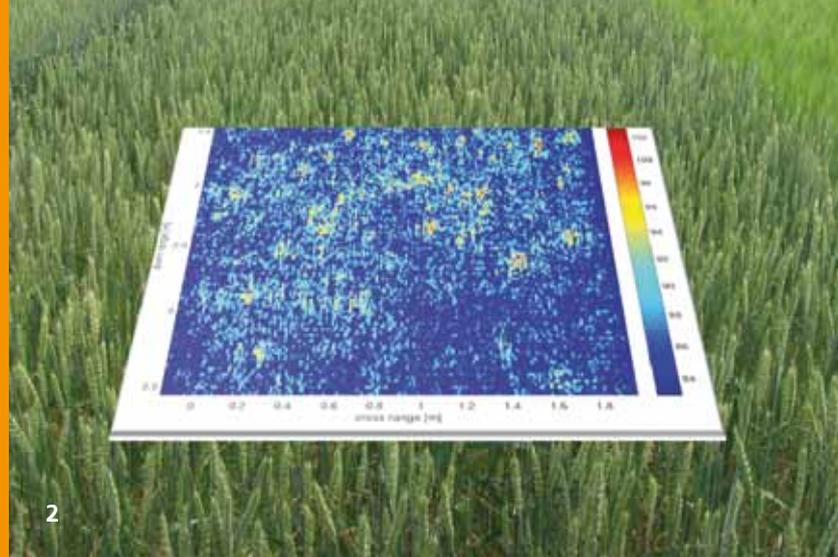
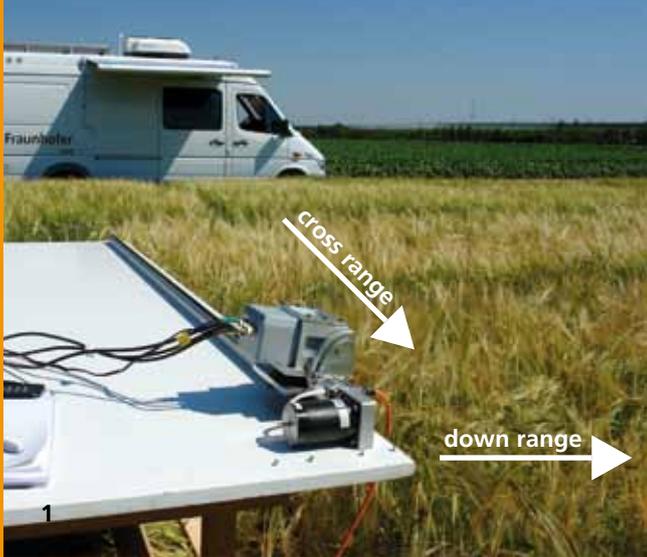
Aufgrund ökonomischer und umweltbedingter Randbedingungen werden in der Agrarwirtschaft verstärkt neue Sensoren entwickelt und so die Technisierung in der Landwirtschaft vorangetrieben. Weitbereichsensoren wie z. B. Radarsensoren bieten die Möglichkeit, den Zustand der Landwirtschaftsflächen und der Pflanzen weiträumig zu erfassen. Insbesondere das Potenzial der Mikrowellenmesstechnik zur Erfassung und Dokumentation von Bodenparametern und Pflanzenzuständen wird in letzter Zeit verstärkt wissenschaftlich untersucht. Die wissenschaftliche Forschung befasst sich mit den grundlegenden physikalischen Prinzipien, um die gewünschten Informationen aus den Messdaten abzuleiten und die optimalen Messbedingungen aufzuzeigen.

Bisherige Untersuchungen

Bislang wurden satellitengestützte und luftgetragene Radarsysteme genutzt, um die verschiedene Pflanzen unterscheiden und das jeweils aktuelle Wachstumsstadium erfassen zu können. Im Wesentlichen wurde hierbei die Bestimmung des Blattflächenindex (*Leaf Area Index*, LAI) und/oder des Pflanzenwassergehalts (*Plant Water Content*, PWC) zur Analyse herangezogen. Die gewonnenen Daten ermöglichen es auch, die Biomassen von Wäldern oder Feldern zu bestimmen, allerdings reicht das geringe räumliche Auflösungsvermögen nicht aus, um z. B. im Bereich der Untersuchung von Getreidefeldern Einzelpflanzen zu isolieren oder gar die Ähren gesondert auf ihren *Crop Index* (CI), das bedeutet die Fruchtmasse, hin zu analysieren.

Neuer Ansatz mit Nahbereichsradaren und höherer Auflösung

Daher wird im Rahmen einer vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten Studie die Eignung eines ultrabreitbandigen Nahbereichs-Radarsystems zur Bestimmung des *Crop Index* untersucht. Dieses Radarsystem wird eine Auflösung besitzen, die es erlaubt, die Radarechos der einzelnen Ähren zu erfassen und sie von den Echos des übrigen Pflanzenkörpers (Halm, Blätter) zu unterscheiden. Was die Rückstreuungseigenschaften der Ähren anbelangt, kann davon ausgegangen werden, dass neben der Größe der Ähre auch der innere Aufbau, insbesondere der Wassergehalt, eine wesentliche Rolle spielt. Um diesen inneren Aufbau erfassen zu können benötigt man Radarfrequenzen, die in die Ähre einzudringen



vermögen. Diese Fähigkeit ist unter anderem abhängig von der Wellenlänge dieser Signale. Im vorliegenden Anwendungsfall führten Voruntersuchungen zur Auswahl eines Frequenzbereichs von 6 bis 10 GHz, was Wellenlängen von 3 bis 5 Zentimetern entspricht. Höhere Frequenzen, die es erlauben würden mit geringerem technischen Aufwand die gewünschten Auflösungen zu erzielen, scheiden auf Grund ihrer geringeren Fähigkeit zum Eindringen in den Ährenkörper aus. Für die Wahl des genauen Frequenzbereichs von 6 bis 10 GHz war aber auch noch eine andere Randbedingung entscheidend: Die aktuelle UWB-Funkregulierung, die Sendefrequenzen bis 10,6 GHz erlaubt.

Im letzten Jahr wurden erste Messungen an Getreideähren auf einem Pflanzfeld der landwirtschaftlichen Versuchsanlage der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn in Klein-Altendorf durchgeführt. In Abbildung 1 sind das Messfahrzeug sowie die Messeinrichtung beim Einsatz dargestellt. Man erkennt das kleine Millimeterwellen-Radar, welches auf dem Messtisch angebracht ist und durch Bewegung in der angezeigten *Cross-Range*-Richtung die synthetische Apertur aufbaut. In Abbildung 2 ist exemplarisch ein Ergebnisbild für die Vermessung eines Weizenfeldes gezeigt, welches die gewonnene zweidimensionale Radarabbildung zeigt, wie sie beim leicht nach unten geneigten Signaleinfall auf das Feld entsteht.

Ein weiterer Anwendungsfall für ein ultrabreitbandiges Nahbereichsradar ergibt sich bei der Züchtung neuer Pflanzen mit Speicherwurzelbildung. Die Fähigkeit, tatsächlich die gewünschten Speicherwurzeln zu bilden, soll so früh wie möglich im Anzuchtgefäß erkannt werden. Hierzu wird die Wurzelbildung der Setzlinge untersucht, indem messtechnisch ein bodendurchdringender Radarscan durchgeführt wird und anschließend in einem Datenverarbeitungsprozess das Prinzip der inversen synthetischen Apertur (ISAR) angewendet wird. Diese Aktivität wird federführend an der Universität Bonn, Institut für Landtechnik, in enger Kooperation mit dem FHR untersucht.

- 1 *Messanordnung im Feld*
- 2 *SAR-Bild nach der Vermessung eines Weizenfeldes mit einem ultrabreitbandigem Nahbereichsradar*

*Dr.-Ing. Udo Uschkerat
Tel. +49 228 9435-517
Fax +49 228 9435-627
udo.uschkerat@
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 Bergbaugelände weiträumig 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 Anomalien 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.

Die zivile Schifffahrt wird künftig stark von preiswerten und leistungsfähigen Phased-Array-Radaren profitieren.

*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*

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



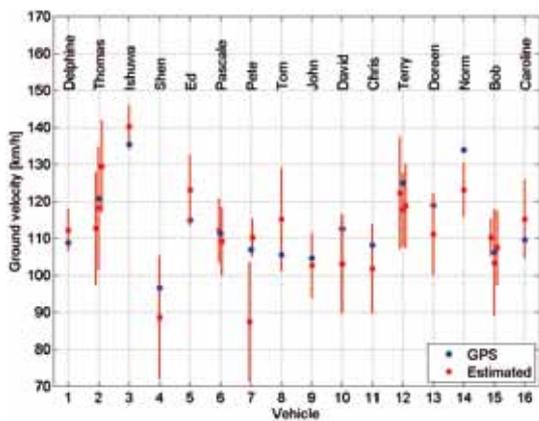
VERKEHRSÜBERWACHUNG MIT DEM SATELLITEN RADARSAT-2

Zusammen mit DRDC Ottawa, Kanada, entwickelt Fraunhofer FHR derzeit neue Betriebsmodi und Signalprozessierungsmethoden, um die Fähigkeit des Satelliten RADARSAT-2 zur Verkehrsüberwachung zu steigern und zu optimieren.

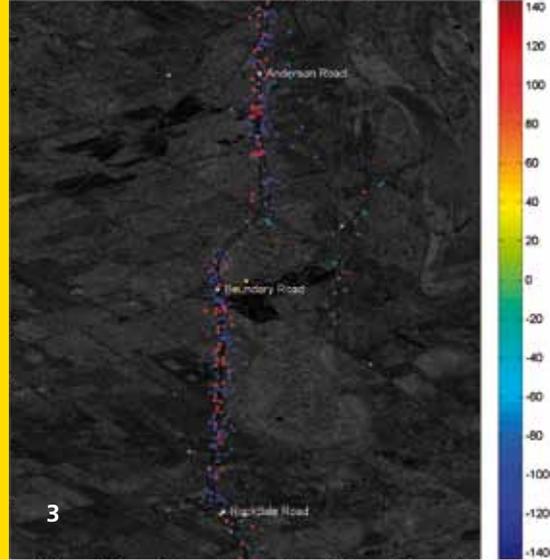
Mit zunehmender Anzahl von Fahrzeugen auf den Straßen kommt der Verkehr immer häufiger ins Stocken. Um problematische Verkehrszonen zu untersuchen und Straßenführung und Straßenbau besser planen zu können, haben raumgestützte Radarsysteme besondere Vorteile. Diese Systeme arbeiten Tag und Nacht, bei jedem Wetter und sind nach Hochladen des Aufnahmeprogramms autonom. Darüber hinaus ermöglichen diese Systeme eine globale und großflächige Überwachung der Erde im Vergleich zu stationären Einrichtungen, die nur punktuell arbeiten.

Allerdings ist die Verkehrsüberwachung aus dem All eine große Herausforderung. Dies liegt zum einen an der großen Entfernung und zum anderen an dem hohen Geschwindigkeitsunterschied zwischen dem Satelliten und den Fahrzeugen auf der Erdoberfläche. Ein Satellit bewegt sich in niedriger Erdumlaufbahn mit einer Geschwindigkeit von ca. 27 000 km/h, welches die Entdeckung von Fahrzeugen mit z. B. 80 km/h erschwert. Darüber hinaus ist das Signal-zu-Rauschverhältnis von kleinen Fahrzeugen wegen der weiten Entfernung von ca. 1000 km sehr niedrig. Der limitierende Faktor wird aber durch die Signale der stationären Objekte – den sogenannten *Clutter* – (wie z. B. Gebäude, Straßen und Vegetation) verursacht, da diese die Signale der Bewegtoobjekte verdecken. Um sie überhaupt entdecken zu können, müssen die Beiträge der stationären Objekte unterdrückt werden. Dies geschieht mit Radarsystemen, die mit mehreren Empfangsantennen ausgestattet sind, in Kombination mit speziellen Raum-Zeit-Prozessierungsmethoden, die die Raum-Zeit-Korrelation der Festzielechos ausnutzen.

Um eine effiziente Verkehrsüberwachung aus dem All durchführen zu können, sind deshalb Radarsysteme mit mehreren Empfangskanälen und langen Integrationszeiten zur Erhöhung des Signal-zu-Rauschverhältnisses, wie sie bei abbildenden Radarverfahren (*Synthetic Aperture Radar*, SAR) üblich sind, erforderlich. Bislang erfolgte die Bewegtzielentdeckung (*Ground Moving Target Indication*, GMTI) für raumgestützte Plattformen üblicherweise in Kombination mit einer



2



3

Radarabbildung, so etwa bei der *Along-Track Interferometry* (ATI), oder mit dem bekannten Verfahren der *Displaced Phase Centre Antenna* (DPCA). In den vergangenen Jahren wurden in Zusammenarbeit mit DRDC Ottawa, Kanada, neue Verfahren zur Bewegtzientdeckung für raumgestützte Plattformen entwickelt, darunter die abbildenden Raum-Zeit-Signalverarbeitungsverfahren ISTAP (*Imaging Space-Time Adaptive Processing*) und EDPCA (*Extended Displaced Phase Centre Antenna*), die eine längere kohärente Integration der Bewegtzientesignale und damit eine viel bessere Entdeckung und genauere Repositionierung ermöglichen. Diese Verfahren wurden anhand realer Daten, die mit dem kanadischen mehrkanaligen Radarsatelliten RADARSAT-2 (Abb. 1) aufgenommen worden sind, erfolgreich getestet und demonstriert.

RADARSAT-2 wurde im Dezember 2007 gestartet und verfügt über eine 15 m lange Antenne mit zwei parallelen Empfangskanälen. Die Satellitenprogrammierung ist dabei besonders flexibel und die Konfiguration der Sende- und/oder der Empfangsantenne kann von Puls zu Puls geändert werden. Diese Antennenumschaltung kann die Anzahl der Empfangskanäle virtuell erhöhen, mit dem Potential, die Fähigkeit, Bewegtoobjekte zu entdecken, zu verbessern. Darüber hinaus wurden von Fraunhofer FHR und DRDC Ottawa optimierte auf Antennenumschaltung basierende Modi für RADARSAT-2 entwickelt und in RADARSAT-2 implementiert.

Zur Überprüfung der entwickelten Signalprozessierungsmethoden und zum Vergleich der unterschiedlichen Modi wurde 2009 ein ausführliches Benchmark-Experiment durchgeführt. Während der Radaraufnahmen fuhren 16 kooperative Fahrzeuge von unterschiedlicher Größe (Mini Cooper bis Pick-up-Truck) nach einem vorgegebenen Szenario auf der Autobahn 417 zwischen Ottawa und Montreal. Die Fahrzeuge wurden mit GPS ausgestattet, um ihre Positionen und Geschwindigkeiten aufzunehmen und diese mit den ausgewerteten Radardaten zu vergleichen. Abbildung 2 zeigt die GPS-Geschwindigkeiten der Fahrzeuge (blaue Punkte) und die geschätzten Geschwindigkeiten nach Auswertung der Radarechos (rote Quadrate mit Fehlerbalken). Hierbei zeigt sich eine exzellente Übereinstimmung beider Messungen.

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse eines optimierten GMTI-Modus nach ISTAP-Auswertung. Die Farbe kodiert dabei die geschätzte Geschwindigkeit der Fahrzeuge. Die Positionen der Fahrzeuge wurden ausschließlich aus den Phasenunterschieden zwischen den Kanälen geschätzt. Es wurden keine Straßeninformationen verwendet. Mit solchen Geschwindigkeitskarten kann die Verkehrslage auf Straßen (wie z. B. Auslastung und mittlere Geschwindigkeit) untersucht werden.

1 Der Satellit RADAR-SAT-2. Bei den neu entwickelten Betriebsmodi wird die Konfiguration der Sende- und/oder der Empfangsantenne von Puls zu Puls geändert.

2 Geschätzte Geschwindigkeit der kooperativen Fahrzeuge.

3 Detektierte Fahrzeuge auf der Autobahn 417 zwischen Ottawa und Montreal, Kanada. Die Farbe kodiert die geschätzte Geschwindigkeit [km/h] der Fahrzeuge auf einer Fläche von ca. 10 x 8 Kilometern.

Dr.-Ing.

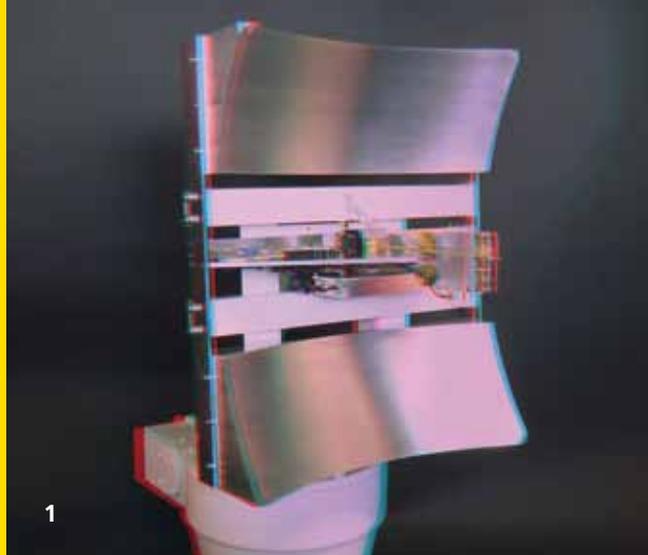
Delphine Cerutti-Maori

Tel. +49 228 9435-290

Fax. +49 228 9435-618

delphine.cerutti-maori@fhr.

fraunhofer.de



LAOTSE – EIN BEITRAG ZUR SICHERHEIT AUF FLUGHÄFEN

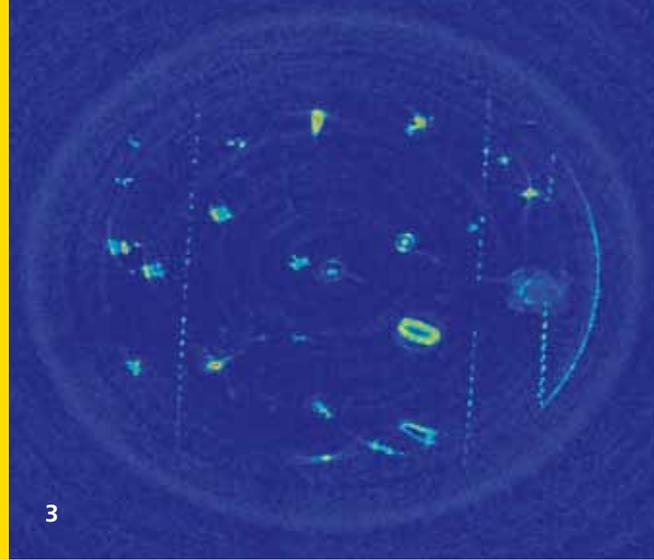
Der reibungslose Ablauf des Luftverkehrs ist heute unabdingbar für viele Bereiche des öffentlichen und privaten Lebens. Bei steigender Frequenz von Starts und Landungen muss kompromisslos für die Sicherheit gesorgt werden. Es ist daher wichtig, die technischen Möglichkeiten zu ihrer Verbesserung auszuschöpfen.

Die Entdeckung und Klassifizierung von Fremdgegenständen auf der Landebahn ist für den Flughafenbetrieb von großer Bedeutung. Da im Falle von Unfällen durch Fremdkörper Beschädigungen an Flugzeugen, teure Reparaturen und Verzögerungen im Ablauf des Luftverkehrs entstehen. Insbesondere durch die starke Zunahme der Start-Landebewegungen wird sich dieses Problem verschärfen und die derzeitige ICAO-Regel, nach der eine periodische Sichtkontrolle mit einer Frequenz von sechs Stunden vorgesehen ist, nicht mehr hinreichend sein. Die Qualität dieser Art der Kontrolle ist unzureichend, da bei schlechtem Wetter oder bei Dunkelheit kleine Gegenstände auf den Verkehrswegen nicht oder nicht ausreichend sicher zu erkennen sind. Menschliches Versagen ist hier höchst wahrscheinlich. Einige Flughäfen weltweit erproben Assistenzsysteme, die eine kontinuierliche Überwachung ermöglichen. Getestet werden Radarsysteme und videobasierte Systeme, die aber nicht allwetterfähig sind. Da darüber hinaus im Bereich des Flugfeldes möglichst keine großen Geräte aufgestellt werden dürfen, wurde eine Möglichkeit gesucht, mit möglichst geringer Antennenapertur, also mit einem miniaturisierten Radar, ein Überwachungssystem zu konzipieren.

Mit Förderung des Landes Nordrhein-Westfalen unter dem EU ZIEL2-Programm wird gemeinsam mit Fraunhofer FKIE, dem Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) der Universität Siegen, der Firma PMD-Tech und Wilhelm Winter Maschinenbau das Projekt LAOTSE (Flughafen Start- und Landebahnüberwachung durch multimodale, vernetzte Sensorik) bearbeitet.

LAOTSE-Konzept

Das LAOTSE-Konzept basiert auf einem Sensornetz von miniaturisierten 220-GHz-Radaren, die entlang der Verkehrsbereiche eines Flughafens positioniert sind, da die Reichweite eines einzelnen 220-GHz-Radars nicht für die komplette Start-Landebahn ausreicht. Die Zieldetektion wird mit den Radaren generiert, während zusätzliche vernetzte 3D-PMD(*Photonic Mixer*



Devices)-IR-Kameras für eine Identifizierung herangezogen werden. Letzteres ist allerdings nur bei ausreichend guter Sicht möglich.

Abbildung 1 zeigt ein Foto des FM-CW-Radars auf einem Antennendrehstand. Die meisten Hochfrequenzbauteile wurden beim Fraunhofer IAF entwickelt und entsprechen dem neuesten Stand der Technik. Das Schaltungsprinzip beruht auf einer Verdopplung von W-Band-Frequenzen. Lediglich die Endstufen- bzw. Eingangsstufen-Verstärker arbeiten im 220-GHz-Bereich.

Experimentelle Arbeiten mit dem Radarsensor

Um den Nachweis zu führen, dass auch jede Art relevanter Gegenstände entdeckt werden, wurden Messungen bei 220 GHz an einer repräsentativen Sammlung verschiedener kleiner Gegenstände aus unterschiedlichem Material auf der Drehplattform des FHR bei einer Messentfernung von 135 Meter durchgeführt. Die Auswertung der Daten erfolgte nach dem Verfahren der Inversen Synthetischen Apertur (ISAR).

Sämtliche Gegenstände waren eindeutig zu detektieren und konnten teilweise auch in ihrer Form erkannt werden. Dabei ist es jeweils nur notwendig, sie über einen gewissen, kleinen Aspektwinkelbereich zu sehen. Abbildung 2 zeigt ein Foto der Anordnung und Abbildung 3 ein Radarbild der Gegenstände auf dem Drehteller.

Radar und PMD Technik

Das LAOTSE-Konzept sieht eine Verknüpfung der Information von verteilten Radargeräten mit Überlappbereichen vor, aber darüber hinaus auch noch ein zweites Netzwerk mit verteilten PMD-Kameras. Exemplarisch wurde die Signatur von Gegenständen mit einer solchen Kamera untersucht. Bei der Datenauswertung kam das Prinzip der Veränderungsdetektion (Change Detection) zum Einsatz, welches auch für die Radardaten angewendet werden soll.

Ergebnis

Im Rahmen des LAOTSE-Projektes wurden die Einzelsensoren und die für die Datengewinnung herangezogenen Auswertemethoden implementiert und getestet. Es zeigte sich, dass sowohl die zu erzielende Datenqualität als auch die angestrebte Reichweite geeignet sind, das System so wie geplant in Betrieb zu nehmen. Messungen in realistischem Umfeld werden kurzfristig auf dem Flughafen Köln-Bonn durchgeführt.

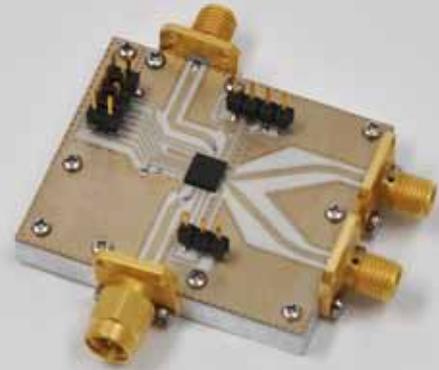


1  Einzelnes LAOTSE Radar bei 220 GHz auf einem Antennendrehstand

2 Verschiedene Gegenstände auf der Drehplattform des FHR

3 ISAR-Abbildung dieser Gegenstände

Dr. rer. nat. Helmut Essen
Tel. +49 228 9435-249
Fax +49 228 9435-608
helmut.essen@
fhr.fraunhofer.de

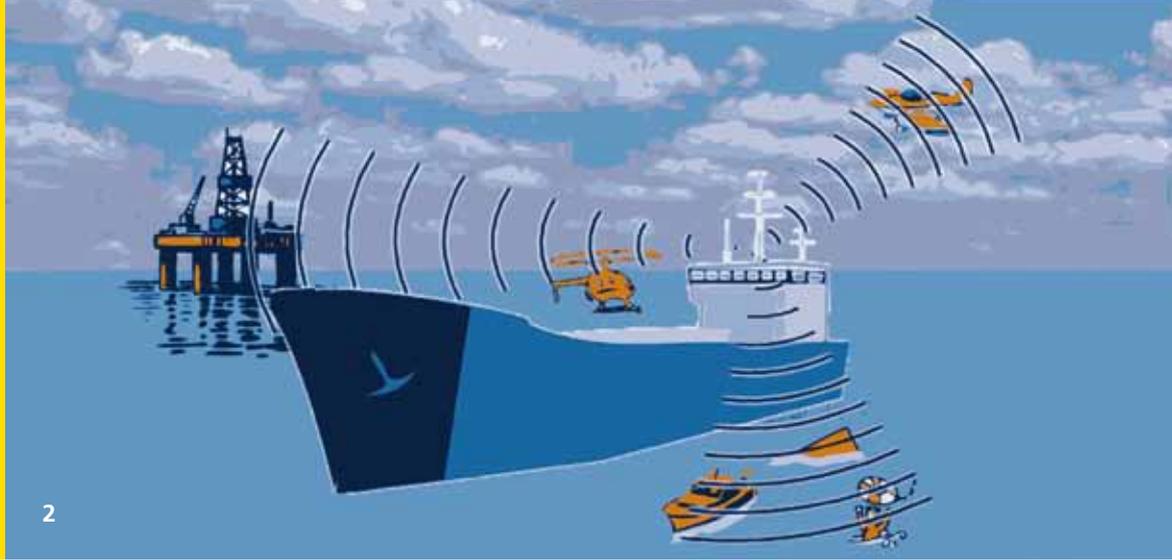


SCHIFFSRADAR MIT ELEKTRONISCH GESTEUERTER ANTENNENGRUPPE

Seit Jahrzehnten gehören Radargeräte mit rotierender Antenne zur maritimen Standardausrüstung und prägen das typische Erscheinungsbild von Schiffen. Diese Technik ist weit verbreitet, ausgereift und preisgünstig. Änderungen der gesetzlichen Vorschriften und aktuelle Entwicklungen des Fraunhofer FHR könnten jedoch dazu beitragen, dass in diesem Bereich eine Trendwende stattfindet und eine neue Generation von Geräten Einzug hält, die verbesserte Fähigkeiten und erhöhte Sicherheit bietet.

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

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



2

neben den üblichen Navigationsaufgaben weitere Anwendungsfelder, z. B. die Überwachung von Hafenanlagen, Küsten- und Flussabschnitten, die Suche nach Schiffbrüchigen oder die Warnung vor schwer erkennbaren, treibenden Hindernissen wie Eisbergen oder verlorengegangenen Containern.

Eine besondere Gefahr für die zivile Schifffahrt ergibt sich vor dem Hintergrund der aktuellen und ständig steigenden Bedrohung durch Piraten in vielen Gewässern der Erde. In den bedrohten Regionen haben die Piraten leichtes Spiel: Mit kleinen, wendigen Schnellbooten nähern sie sich den unbewaffneten Frachtschiffen, entern diese und bringen sie unter Einsatz von Waffen in ihre Gewalt. Das *International Maritime Bureau* (IMB) verzeichnet in seinem Bericht für das Jahr 2008 mit 293 weltweit gemeldeten Vorfällen von Piraterie die bisher höchste Zahl. Die Folgen sind neben hohen Kosten für die betroffenen Reedereien und Versicherungen eine ständig wachsende Gefahr für Leib und Leben der Besatzungen. Hier könnte eine neue Klasse von Radarsystemen helfen, die eine erhöhte Auflösung und Genauigkeit besitzen, um auch kleine Objekte (z. B. Schlauchboote) rechtzeitig erkennen zu können. Durch die verlängerte Vorwarnzeit würden Hilfs- und Rettungsmaßnahmen möglich, wie z. B. Entsendung eines Hubschraubers von patrouillierenden Kriegsschiffen aus. Der Einsatz des Radarsystems ist auch denkbar, um nicht-letale Wirkmittel wie Wasserwerfer oder Schalldruck-Kanonen besser steuern und genauer positionieren zu können.

Im Auftrag eines in Deutschland ansässigen Unternehmens wurde eine Studie durchgeführt, in der ein neues Konzept für ein Schiffsradarsystem zu akzeptablen Herstellungskosten vorgestellt wird. Dies gab den Anstoß, in der Abteilung AEM einen Demonstrator für das neue Konzept aufzubauen und zu erproben. Einen nicht unerheblichen Teil bei der Umsetzung der Studie leistet das Institut für integrierte Anlogschaltungen (IAS) der RWTH Aachen, welches für die Entwicklung hochintegrierter *Mixed-Signal*-Schaltungen auf Basis von Silizium-Germanium (SiGe) verantwortlich ist, welche in den Sendempfangsmodulen der aktiven Antenne eingesetzt werden sollen (Abb. 1). Weitere Innovationen in diesem Projekt sind ein verlustloses seriellles Speisernetzwerk und eine spezielle Kalibrierstrategie für das Front-End.

Wesentliche Bestandteile des Radardemonstrators wurden bereits aufgebaut und erfolgreich getestet. Noch im laufenden Jahr 2011 sollen Teile des Systems unter realen Bedingungen erprobt und die Leistungsfähigkeit des Array-Konzepts unter Beweis gestellt werden. Bis ein elektronisches Radar jedoch auf Schiffen eingesetzt werden kann, sind noch viele Arbeitsschritte erforderlich und einige Detailaufgaben zu lösen.

1 *Testschaltung mit hochintegrierter Mixed-Signal-Schaltungen auf Silizium-Germanium (SiGe) Basis für die Sendempfangsmodule der aktiven Gruppenantenne.*

2 *Konzept eines „elektronischen Schutzschirms“: Das Radarsystem erkennt auch kleine Objekte und übernimmt zusätzliche Aufgaben.*

*Dr.-Ing. Thomas Bertuch
Tel. +49 228 9435-560
Fax +49 228 9435-521
thomas.bertuch@
fhr.fraunhofer.de*

MILLIMETERWELLENRADAR ZUR BEURTEILUNG VON HAUTVERÄNDERUNGEN

Die menschliche Haut ist die zentrale Schnittstelle zwischen uns und unserer Umgebung. Sie ist Schutz und Sinnesorgan gleichzeitig. Sie ist unser Aushängeschild und das größte und eines der komplexesten Organe, über das wir verfügen.

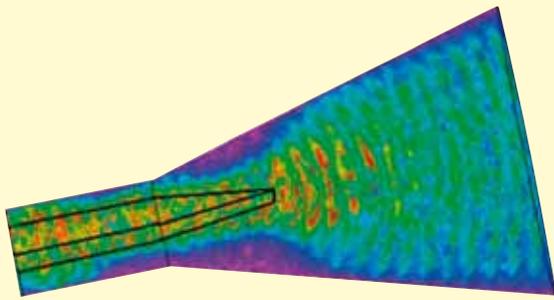
Gleichzeitig ist sie das Organ, für welches die meisten medizinischen und kosmetischen Produkte entwickelt werden. Während der Aufbau der Haut umfassend untersucht ist, sind viele Abläufe innerhalb der Haut schwierig zu erfassen. Die genaue Kenntnis der Abläufe innerhalb der Haut ist jedoch der zentrale Schlüssel für medizinische sowie kosmetische Behandlung und der Entwicklung geeigneter Produkte. Eine exakte Hautbestimmung schafft die Grundlage für eine hautspezifische Behandlung und fördert die Effektivität und Wirksamkeit von dermal zu applizierenden medizinischen oder kosmetischen Produkten.

Aufgrund ihres vielschichtigen Aufbaus sowie der komplexen Abläufe innerhalb der Schichten ist die zeitliche Beobachtung von biologischen Abläufen der Haut zeitaufwendig bzw. mit den bestehenden Verfahren nicht in ausreichendem Maße möglich. Für die Entwicklung vieler medizinischer und kosmetischer Produkte ist die genaue Kenntnis der zeitlichen Abläufe ein Schlüsselkriterium bei der Optimierung.

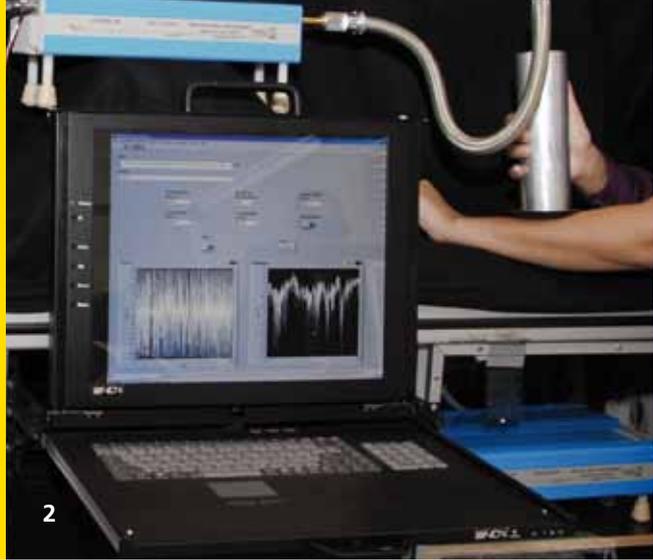
Das FHR untersucht neue Messverfahren mit dem Ziel, diese zeitlichen Abläufe sichtbar zu machen. Eines der erfolgversprechendsten Verfahren beruht dabei auf den veränderten Reflexionseigenschaften der Haut im Millimeterwellenbereich. Folgende Punkte wurden dabei untersucht:

- Die Veränderung des Reflexionsverhaltens der Haut unter dem Einfluss von medizinischen Produkten wie Feuchtigkeitscremes oder kosmetischen Präparaten.
- Die Dauer, die das Präparat zum Einziehen in die Haut benötigt.
- Der Einfluss von Cremes auf unterschiedliche Hauttypen.
- Die Datenerfassung für mehrere Versuchspersonen und deren Vergleich.

Die Untersuchungen wurden im oberen Millimeterwellenbereich durchgeführt, da die durch den Aufbau der Haut hervorgerufenen Interferenzen bereits kleinste Schwankungen der



1



2

Hautfeuchtigkeit anzeigen können. Auf der Basis von Hautmodellen können in den nächsten Schritten die Veränderungen auf die einzelnen Hautschichten zurückgeführt werden. Es handelt sich hierbei um ein diagnostisches Verfahren, das keine Strahlenbelastung oder andere Schädigungen des Organismus hervorruft, und das zudem schmerzlos und nichtinvasiv ist.

1 *Feldsimulation der verwendeten Messsonde.*

2 *Messaufbau mit Steuerungsrechner.*

Es zeigte sich, dass sich die verwendete Methode sehr gut eignet, um Veränderungen der Haut zu erkennen. Anhand der durchgeführten Messungen konnten die Wirkung sowie die zeitlichen Abläufe während der Anwendung und die Abklingprozesse an unterschiedlichen Probanden und Hautpartien nachvollzogen werden. Aus den Ergebnissen lassen sich sowohl Aussagen zu den Eigenschaften der Haut als auch über die Einzugszeit der verwendeten Cremes treffen.

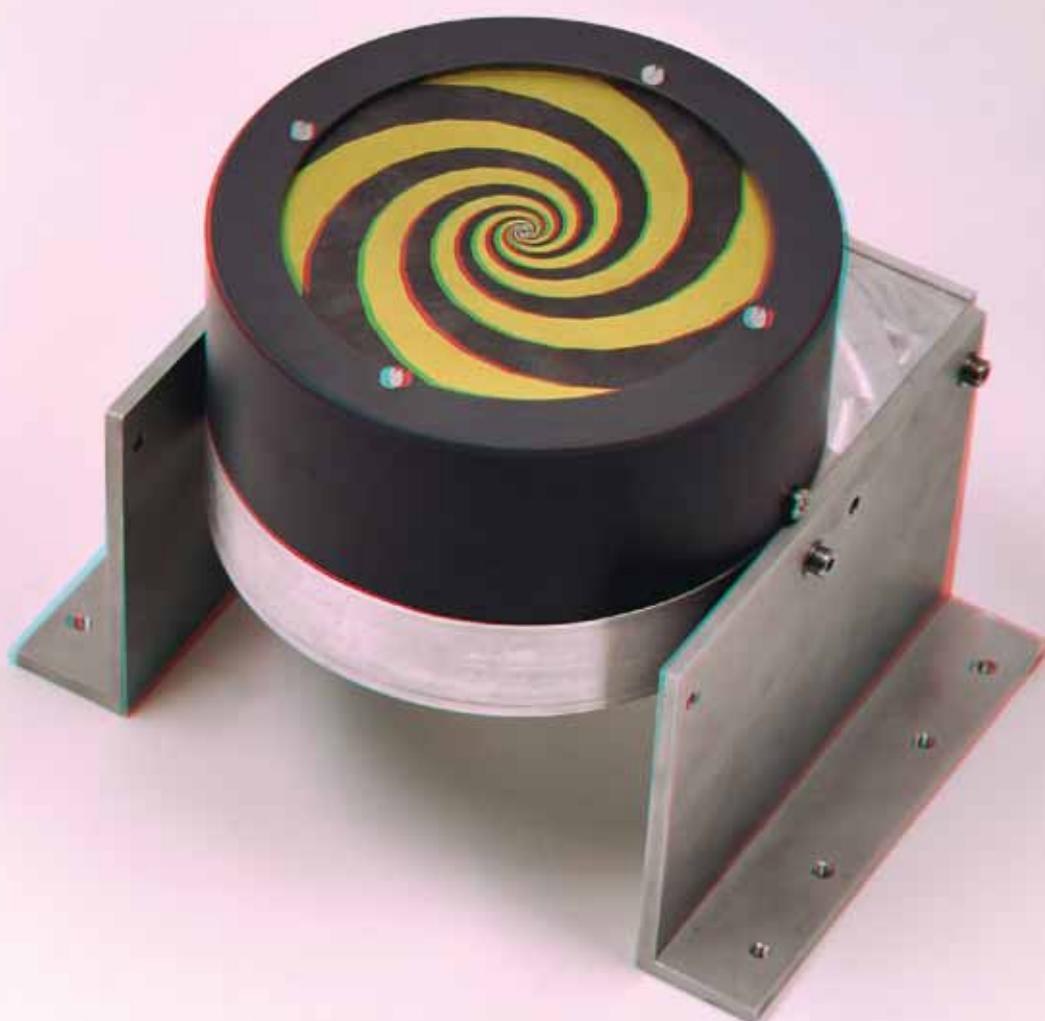
Es ist möglich, über den Reflexionskoeffizienten auf die Feuchtigkeit der unterschiedlichen Hautpartie zu schließen. Ebenso können Cremes und Salben nach ihren Einzugszeiten und ihrer Feuchtigkeitsgebung beurteilt werden.

Im Rahmen der ersten Projektphase konnte anhand des am FHR entwickelten Messverfahrens der erfolgreiche Nachweis für die Eignung von Hochfrequenzsystemen zur medizinischen Hautdiagnostik erbracht werden. Weitere Untersuchungen bis in den unteren Terahertz-Bereich sind geplant. Ziel der weiterführenden Arbeiten ist die Entwicklung kostengünstiger Diagnosegeräte, die Kliniken und kosmetischen Einrichtungen eine schnelle Diagnose der Haut erlauben. Dabei wird die Veränderung der Haut mittels eines Multisensorkonzepts erfasst. Die Ergänzung der Hochfrequenzsensoren um optische Sensoren erlaubt eine bessere Diagnostik. Dabei hängt die Zusammensetzung der Sensorsuite stark von den jeweiligen Anwendungen ab: Eine medizinische Diagnose zur Detektion von Hautkrebs in einem sehr frühen Stadium fordert eine andere Ausrichtung als kosmetische Anwendungen. Beiden Anwendungen gemeinsam ist, dass die zeitliche Veränderung ein wesentlicher Parameter für die Optimierung von Hautcremes bzw. die Diagnostik von Melanomen ist. Das FHR bringt dabei seine Systemkompetenz beim Aufbau hochintegrierter Messsysteme ein.

Die Arbeiten erfolgten im Wesentlichen im Rahmen einer Diplomarbeit am RheinAhrCampus in Remagen, wofür Frau Safae Abbad als Mitarbeiterin des FHR den Förderpreis der Kreissparkasse Ahrweiler als beste Diplomarbeit des Jahres mit regionalem Bezug erhielt.

*Dipl.-Ing. Dirk Nüßler
Tel. +49 228 9435-550
Fax +49 228 9435-608
dirk.nuessler@
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 sowie 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 genutzten 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 Hochfrequenzbereich – 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

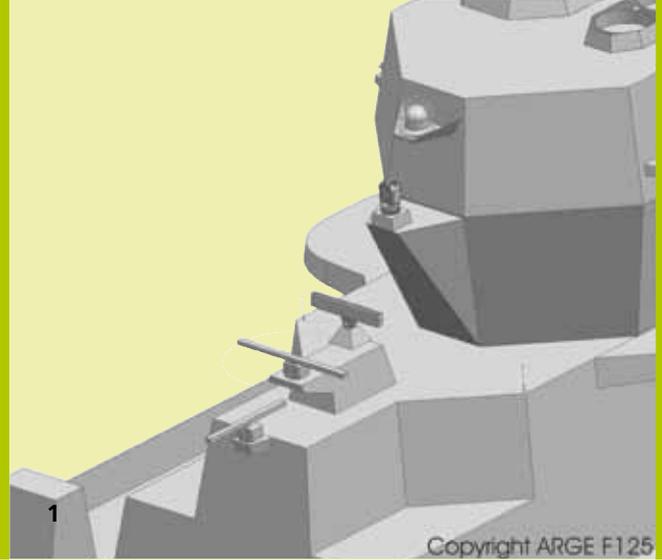
unterschiedliche Einsatzgebiete und Frequenzbänder zur Verfügung. Dazu gehört die Entwicklung besonders breitbandiger Antennenelemente und -gruppen wie mehrarmige Spiralantennen für Aufklärungs- und Peilaufgaben. Das Institut verfügt über umfangreiches Know-How auf dem Gebiet konformer Antennengruppen und bei der Integration von Antennen in Fahrzeuge. Die Leistungsfähigkeit der entwickelten Verfahren konnte in verschiedenen militärischen und zivilen Projekten praktisch demonstriert werden, z. B. bei der Entwicklung eines Antennensystems für eine Aufklärungsdrohne oder bei der Ausrüstung von Segelflugzeugen.

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 kommerzielle Anwendungen interessant sind. Anstelle diskret aufgebaute elektronischer Module werden hochintegrierte Schaltungen auf Basis von Silizium-Germanium (SiGe) 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.



Mehrrarmige Spiralantennen, die sehr breitbandig und trotzdem kompakt aufgebaut sind, eignen sich für viele Anwendungen.

*Dr.-Ing. Peter Knott
Tel. +49 228 9435-560
Fax +49 228 9435-521
peter.knott@
fhr.fraunhofer.de*



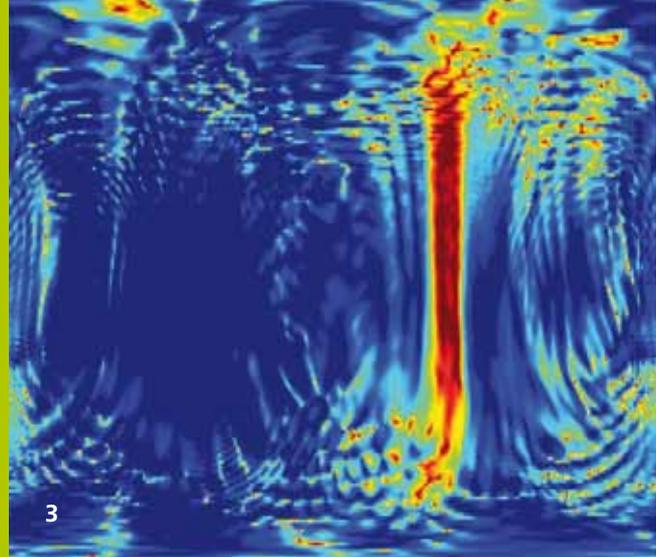
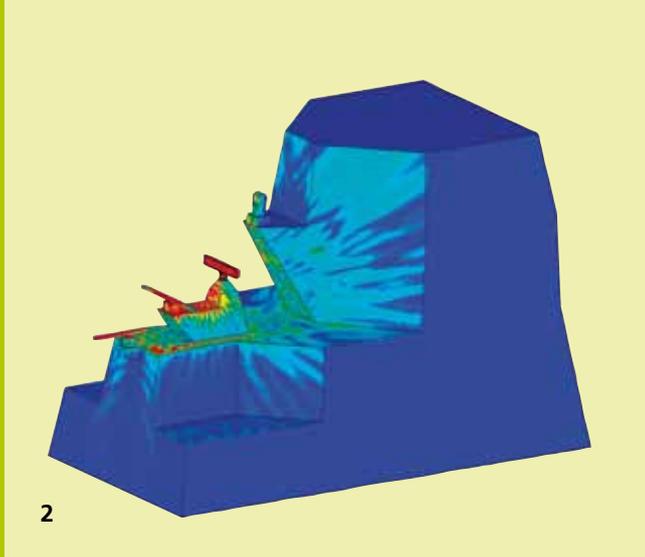
ELEKTROMAGNETISCHE UNTERSUCHUNG VON ANTENNEN AUF PLATTFORMEN

Bereits in der Planungsphase von Marineschiffen müssen viele Parameter berücksichtigt werden, damit die vorgesehenen Systeme für Funk, Radar und Navigation sich im Betrieb nicht stören. Die am FHR entwickelten Simulationswerkzeuge liefern wichtige Beiträge, um die korrekte Funktion jedes Antennensystems im Vorwege zu untersuchen und gegenseitige Beeinflussungen möglichst auszuschließen.

Moderne Fahrzeuge, Flugzeuge und Schiffe verfügen über eine ständig zunehmende Anzahl von Antennen und Sensoren für die verschiedensten Aufgaben von Navigation, Ortung und Kommunikation. Die Planung von Antennenpositionen auf einem Marineschiff gestaltet sich als besonders schwierig, da hier eine Vielzahl von Antennensystemen um die vorteilhaftesten Positionen (je höher, desto besser) konkurrieren und ungeachtet dessen dem beschränkten Platzangebot auf den Schiffen gerecht werden müssen. Die Positionierung einer Antenne an einem bestimmten Ort kann jedoch wiederum einen Einfluss auf die Schiffskonstruktion haben.

Ein aktuelles Beispiel für eine solche Thematik ist die Fregatte F125 der Bundesmarine, die sich zur Zeit in der Konstruktionsphase befindet und voraussichtlich ab 2016 in Dienst gestellt wird. Aufgrund der veränderten Einsatzbedingungen wird ein neuartiges Schiffskonzept realisiert, das auf die speziellen Erfordernisse bei friedensstabilisierenden Einsätzen optimiert ist. Eine Besonderheit ist auch die Verwendung von zwei IFF-Teilsystemen (Identification-Friend-Foe) mit drehenden Antennen, die sich am vorderen Mast und auf einem der hinteren Decks befinden. Für die Funktion dieser IFF-Antennen ist es von großer Bedeutung, dass die Antennendiagramme in den operationell zugeordneten Bereichen durch die Schiffsaufbauten nicht zu sehr beeinflusst werden, da sonst beispielsweise detektierten Zielen falsche Positionen zugeordnet werden könnten. Daher müssen bereits in der Planungsphase mögliche Einflüsse der Schiffsgometrie auf die Antennendiagramme untersucht und ggf. die Antennenpositionen optimiert werden.

Im Rahmen der Konzeptphase eines Beschaffungsvorhabens wurde von der Industrie eine Untersuchung beim FHR beauftragt. Dazu wurden ein vereinfachtes Geometriemodell der Fregatte (Abb. 1) sowie vom Hersteller gemessene IFF-Antennendiagramme zur Verfügung gestellt. Für die Simulation mit einem sogenannten numerisch exakten Verfahren wurde ein aus 84 Dipolen bestehendes äquivalentes Antennenmodell erzeugt. Da die Anregungskoeffizienten dieser



Dipole vom Hersteller nicht erhältlich waren, wurden diese ersatzweise durch ein spezielles Optimierungsverfahren so bestimmt, dass im Freiraum die gemessenen Antennendiagramme möglichst genau nachgebildet werden. Dieses Geometriemodell wurde anschließend in das CAD-Modell der Fregatte integriert. Die gegenseitige Beeinflussung von Antenne und Schiffsgeometrie ist in den berechneten Oberflächenströmen (Abb. 2) deutlich sichtbar.

Zur Klärung der Frage, inwiefern die Antennendiagramme von den Schiffsaufbauten beeinflusst werden, muss berücksichtigt werden, dass es sich um ein System mit zum Teil sich drehenden Komponenten handelt. Um die erforderlichen Rechenzeiten in einem vertretbaren Rahmen zu halten, wurde in Absprache mit dem Projektteam F125 eine aussagekräftige Auswahl von zu untersuchenden Antennenstellungen für das vordere und das achtere IFF-System getroffen. Für jede dieser Antennenstellungen wurden die abgestrahlten Antennendiagramme unter Berücksichtigung der Schiffsgeometrie simuliert und die Ergebnisse im dreidimensionalen Raum ausgewertet (Abb. 3). Um eine ordnungsgemäße Funktion der Antenne zu gewährleisten, ist es erforderlich, dass die Differenz zwischen den beiden von der IFF-Antenne ausgestrahlten Antennendiagrammen (Summen- und Side-Lobe-Suppression-Diagramm) mit Ausnahme der Hauptkeule (in Abb. 3 beim Azimutwinkel 240°) kleiner als Null ist, d. h. außerhalb der Hauptkeule muss das Summendigramm unterhalb des SLS-Diagramms liegen. Einzelne Winkel, bei denen diese Forderung nicht erfüllt ist, können eventuell toleriert werden. Des Weiteren ist zu beachten, dass bei der Auswertung nur ein bestimmter Elevationsbereich relevant ist, da bei kleinen (negativen) Elevationswinkeln die Wasseroberfläche getroffen wird, und bei großen Elevationswinkeln mögliche Ziele erwartungsgemäß schon vorher, d. h. im Verlauf ihrer Annäherung auf größere Distanz erkannt und identifiziert werden.

Im Rahmen der Studie wurden Auswertungen wie in Abbildung 3 systematisch sowohl für das vordere als auch das achtere IFF-System durchgeführt. Mit Hilfe dieser Daten konnte wegen der hierfür ermittelten Systemunverträglichkeiten insbesondere die achtere Antennenposition so optimiert werden, dass Störbeeinflussungen mit anderen Systemen weitestgehend unterdrückt werden. Außerdem können aus der Studie Winkelbereiche abgeleitet bzw. verifiziert werden, in denen auch die übergeordneten IFF-Systemanforderungen gemäß relevanter STANAGs erfüllt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass derartige Untersuchungen sinnvolle und zweckmäßige Maßnahmen beim Design von Fahrzeugen und der Integration von Antennen darstellen und insbesondere bei der Beurteilung von schwierigen Integrationsaspekten herangezogen werden können.

- 1 CAD-Modell mit IFF-Antenne (Bildmitte) und Antennen für Navigationsradar
- 2 Simulierte Oberflächenströme auf der Schiffsgeometrie
- 3 Räumliche Auswertung der Simulationsergebnisse (Differenz von Summen- und SLS-Diagramm in dB über Azimut und Elevation)

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

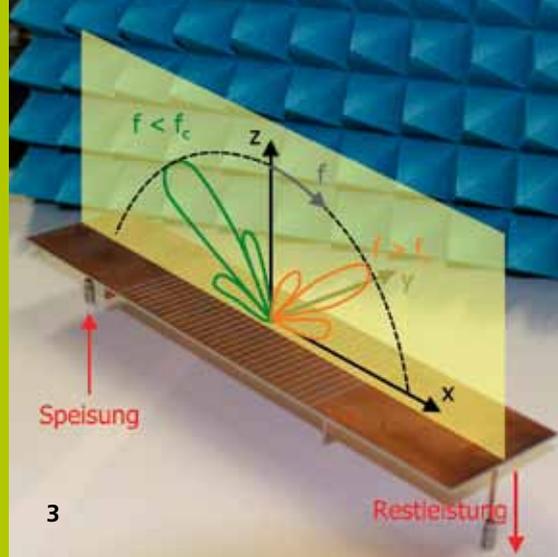
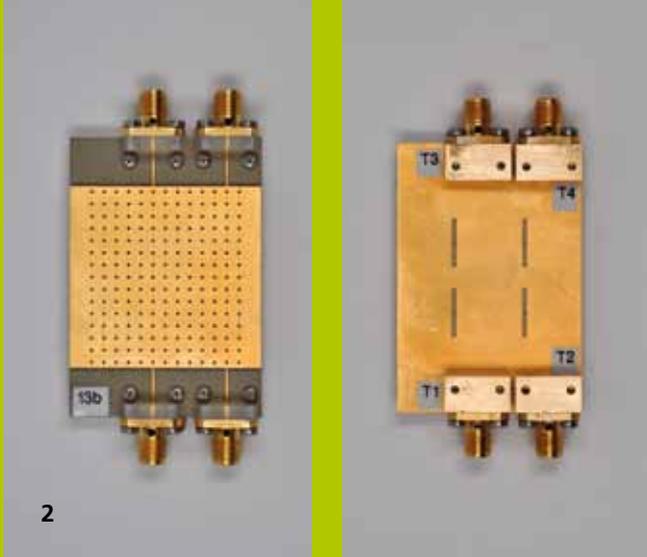
METAMATERIALIEN: EIN NEUER FREIHEITS- GRAD IN DER HOCHFREQUENZTECHNIK

Die Benutzung technischer Geräte, die zumindest teilweise aus hochfrequenztechnischen Komponenten bestehen, ist zum festen Bestandteil unseres Alltags geworden. In Zukunft werden diese Geräte immer kompakter und effizienter, während sie zugleich immer mehr Funktionen bereitstellen. Zur Bewältigung der sich aus diesem Trend ergebenden Herausforderungen stellen elektromagnetische Metamaterialien dem Entwickler einen neuen Freiheitsgrad zur Verfügung.

Bei den elektromagnetischen Metamaterialien handelt es sich um künstliche Materialien, die so entworfen werden können, dass sie in bestimmten Frequenzbereichen auf die jeweilige Anwendung maßgeschneiderte effektive elektromagnetische Eigenschaften aufweisen. Die Vielfalt der erzielbaren Eigenschaften schließt auch solche ein, die in der Natur normalerweise nicht vorkommen. Diese makroskopischen Materialeigenschaften werden durch mikroskopische, in der Regel periodische Schaltungsstrukturen erzeugt und lassen sich durch kostengünstige Standardverfahren der Leiterplattenherstellung realisieren. Einige der so erzielbaren Effekte sind Brechungsindizes mit negativen Vorzeichen in sogenannten linkshändigen Medien oder Frequenzbänder, in denen keine Wellenausbreitung stattfinden kann (Bandlücken). Diese ermöglichen die Miniaturisierung von Hochfrequenzschaltungen und Antennen. Durch geschickte Wahl der effektiven Materialeigenschaften ist es sogar möglich, Objekte, die in eine Metamaterialhülle eingeschlossen sind, bei bestimmten Frequenzen unsichtbar zu machen (cloaking). Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten am FHR liegt auf der Anwendung dieser neuartigen künstlichen Materialien zur Verbesserung technologischer Schlüsselkomponenten. Dazu ist es einerseits notwendig, theoretische Grundlagen zu schaffen und effiziente Entwurfsverfahren zu entwickeln, andererseits müssen Anwendungsgebiete identifiziert und innovative Lösungen technologisch umgesetzt werden.

Unterdrückung parasitärer Wellen

Um mehr Funktionen in zugleich immer kleiner werdenden Geräten unterzubringen, müssen auch die verwendeten Hochfrequenzkomponenten immer kompakter werden bzw. näher zusammenrücken. Dabei tritt automatisch eine stärkere parasitäre Verkopplung auf, welche sich negativ auf die Funktion der Komponenten auswirken kann. Durch den gezielten Einsatz von



Metamaterialien können die elektromagnetischen Feldanteile, welche für diese Verkopplung verantwortlich sind, signifikant unterdrückt werden. Die dafür am häufigsten verwendete Metamaterialstruktur ist die sogenannte Pilzstruktur, mit der eine Oberfläche realisiert werden kann, die in einem bestimmten Frequenzbereich keine elektromagnetischen Wellen führt.

Das FHR hat diese Struktur bereits erfolgreich für die Entkopplung von nahe beieinander angebrachten Antennen eingesetzt (Abb. 1) und parasitäre Parallelplattenwellen in mehrlagigen Hochfrequenzschaltungen breitbandig unterdrückt (Abb. 2). Die letztere Anwendung eignet sich auch hervorragend zur Reduktion von sogenannten *Simultaneous Switching Noise* (SSN), auch bekannt als Power/Ground Noise oder Ground Bounce, in hochgetakteten Digitalschaltungen auf mehrlagigen Leiterplatten. Auch wurden künstliche magnetische Reflektoren realisiert, welche für die Miniaturisierung von Antennen bzw. Antennengruppen verwendet wurden. Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Reduzierung der durch Mehrwegeausbreitung bedingten Störempfindlichkeit hochpräziser GPS-Empfänger durch den Einsatz kostengünstiger und massearmer Pilzoberflächen.

Im Rahmen eines durch die *European Defence Agency* (EDA) finanzierten Forschungsvorhabens, das sich mit der Verbesserung der Eigenschaften moderner, elektronisch gesteuerter Gruppenantennen befasst, sollen Metamaterialien zur Verminderung der parasitären seitlichen und rückwärtigen Abstrahlung eingesetzt werden.

Neuartige Hochfrequenzleitungen und Antennen

Dasselbe Forschungsvorhaben sieht die Entwicklung eines kompakten und kostengünstigen Hochfrequenzverteils- und Zusammenfassungsvernetzwerks für Gruppenantennen vor. Dabei soll ausgenutzt werden, dass mit Metamaterialstrukturen Hochfrequenzleitungen mit verschwindenden oder sogar negativen Phasengeschwindigkeiten erzeugt werden können. Ein vergleichbarer Ansatz wurde im FHR bereits für die Entwicklung neuartiger Leckwellenantennen verwendet (Abb. 3). Leckwellenantennen sind interessante Kandidaten, wenn es um eine kostengünstige Möglichkeit zur elektronischen Strahlschwenkung geht. Ihre Hauptstrahlrichtung kann nämlich in einer Ebene über einen Winkelbereich von bis zu 180° durch Frequenzvariation eingestellt werden. Konventionelle Leckwellenantennen weisen allerdings in der Mitte dieses Schwenkbereichs einen lokalen Leistungseinbruch auf, welcher durch den Einsatz von Metamaterialien vermieden werden kann.

- 1 *Gedruckte Metamaterial-Pilzoberfläche mit elektromagnetischer Bandlücke (EBG)*
- 2 *Unidirektionale Schlitzantennengruppe mit rückseitiger, parallelplattenwellenfreier Metamaterial-Abschirmung (links Oberseite, rechts Unterseite)*
- 3 *Neuartige Metamaterial-Leckwellenantenne mit einem elektronischen Schwenkbereich von 180°*

*Dr.-Ing. Thomas Bertuch
Tel. +49 228 9435-560
Fax +49 228 9435-521
thomas.bertuch@
fhr.fraunhofer.de*



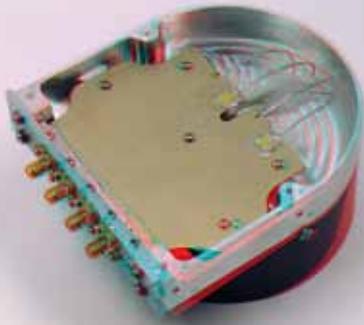
MODELLIERUNG VON VIERARM-SPIRALANTENNEN FÜR BREITBANDIGE PEILAUFGABEN

Die Peilung von Radarsystemen, deren Frequenz unbekannt ist, ist besonders im militärischen Bereich von großer Bedeutung, sowohl bei der Voreinweisung als auch zur erfolgreichen Abwehr z. B. anfliegender radargeführter Flugkörper. Als besonders geeignet erscheinen hierfür Mehrarm-Spiralantennen.

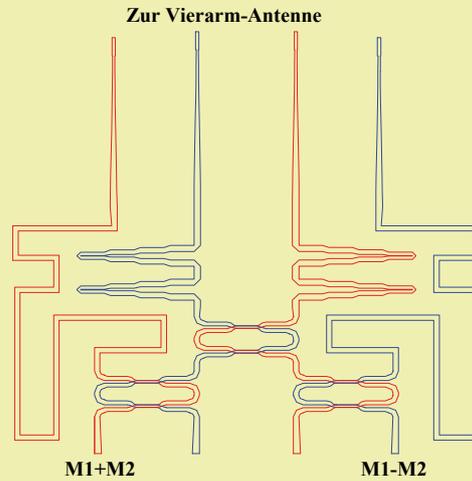
Flugkörper für den Angriff auf Schiffe können mit Radarsystemen zur Zielverfolgung ausgestattet sein, deren Sendefrequenz z. B. im C-Band aber auch im Ku-Band liegen kann. Die Abstrahlung der Radarsysteme kann im Gegenzug zur Identifikation und Abwehr solcher Flugkörper genutzt werden. Empfangs- und Ortungssysteme zur Detektion und Richtungsschätzung solcher Radarsysteme sowie insbesondere die verwendete Antenne der Systeme sollten eine möglichst große Bandbreite besitzen. Die Ortungssysteme können z. B. stationär auf einem Schiff positioniert werden, um eine weiträumige Überwachung des Luftraumes durchzuführen oder auch direkt in Abwehrflugkörper eingebaut werden.

Für solche Peilaufgaben erscheinen insbesondere Vierarm-Spiralantennen als sehr geeignet, da sie in mindestens zwei verschiedenen Anregungsarten (sogenannte Moden) mit sehr unterschiedlichen Strahlungscharakteristiken betrieben werden können. Durch besondere Formgebung können die Antenneneigenschaften über eine große Bandbreite prinzipiell frequenzunabhängig eingestellt werden, z. B. 2 bis 18 GHz. Nach einer breitbandigen Anpassung erfolgt die Weiterverarbeitung der Signale zunächst analog in einem sogenannten Modenformungsnetzwerk (*Mode-Forming Network*), welches für größtmögliche Bandbreite in mehrlagiger Streifenleitungstechnik gefertigt wird.

Obwohl die Eigenschaften solcher frequenzunabhängiger Antennengeometrien bereits seit langem untersucht werden, stellt die Modellierung und Realisierung von Mehrarmspiralantennen und der nachgeschalteten Netzwerke eine große Herausforderung dar, da hierüber kaum frei zugängliche Literatur verfügbar ist. Die Entwicklung des Antennensystems und des Modenformungsnetzwerkes wurden in Zusammenarbeit mit der Industrie durchgeführt, während die Auswertung und Weiterverarbeitung der Messergebnisse ebenfalls im FHR erfolgte.



2



3

M1+M2

M1-M2

Entwurf der Antennen und Anpasstrukturen und des Modenformungsnetzwerkes

Nach der numerischen Untersuchung verschiedener Antennengeometrien sowohl mit kommerzieller als auch mit im Hause entwickelter Software (Integralgleichungsverfahren) wurde schließlich eine selbstkomplementäre logarithmische Spiralgeometrie ausgewählt. Für eine hohe obere Grenzfrequenz ist insbesondere das Design der zentralen Speisezone von besonderer Bedeutung, während der Durchmesser der Antenne (ca. zehn Zentimeter) im Wesentlichen die untere Grenzfrequenz bestimmt. Im praktischen Aufbau werden die Spiralstrukturen auf einen dielektrischen Träger aufgebracht und mit Abstandshaltern auf einen mehrschichtigen Absorber montiert. Durch sorgfältige Auslegung dieser Schichtumgebung konnte das Impedanzverhalten so eingestellt werden, dass simultan eine ausreichend gute Anpassung beider Moden an handelsübliche Koaxialkabel ermöglicht und ein maximaler Strahlungswirkungsgrad erreicht wird. Eine spezielle Transformationsstruktur erlaubt eine breitbandige Anpassung an die nachfolgenden Anschlüsse zur Elektronik. Abbildung 1 zeigt das Empfangssystem von oben mit der gut zu erkennenden Spiralstruktur.

Das nachgeschaltete Modenformungsnetzwerk hat die Aufgabe, die Informationen aus den einzelnen Moden zu extrahieren, welche für eine genaue Peilung der Strahlungsquelle erforderlich sind. Bei dem realisierten Netzwerk wird hierbei die Summe und die Differenz aus den beiden Moden gebildet, da sie eine Richtungsbestimmung mit dem Monopulsverfahren ermöglichen und das Netzwerk symmetrisch konzipiert werden kann. Die zur Platzersparnis mäandrierend angelegten Umwegleitungen müssen in ihrer Länge sehr sorgfältig eingestellt werden, um die erforderlichen Phasenbeziehungen über die große Bandbreite einzuhalten. Abbildung 2 zeigt das Empfangssystem von unten mit der Platine des Modenformers. Zusätzlich erkennbar sind die Mikrokoaxialkabel, die zur Antenne führen. Die Gesamtstruktur des Modenformers zeigt Abbildung 3, die Zugehörigkeit der Leiterbahnen zu den beiden Metallisierungsebenen ist mit den Farben Rot und Blau gekennzeichnet.

Messungen des Gesamtsystems in der Messkammer konnten die Ergebnisse der Simulationsverfahren im Wesentlichen bestätigen, mit den Daten konnten bereits erfolgreiche Peilungen durchgeführt werden. Die weiteren Untersuchungen umfassen u.a. mögliche Modifikationen, um die Leistungsfähigkeit des Systems im oberen Frequenzbereich zu erhöhen.

1

Empfangssystem mit Spiralantenne von oben

2

Empfangssystem mit Modenformer-Platine von unten

3 Anordnung der Leiterbahnen beim Modenformungs-Netzwerk

Dr.-Ing. Thomas Vaupel
Tel. +49 228 9435-225
Fax +49 228 9435-521
thomas.vaupel@
fhr.fraunhofer.de



LABRADOR – EIN RADARSYSTEM AUF FPGA-BASIS

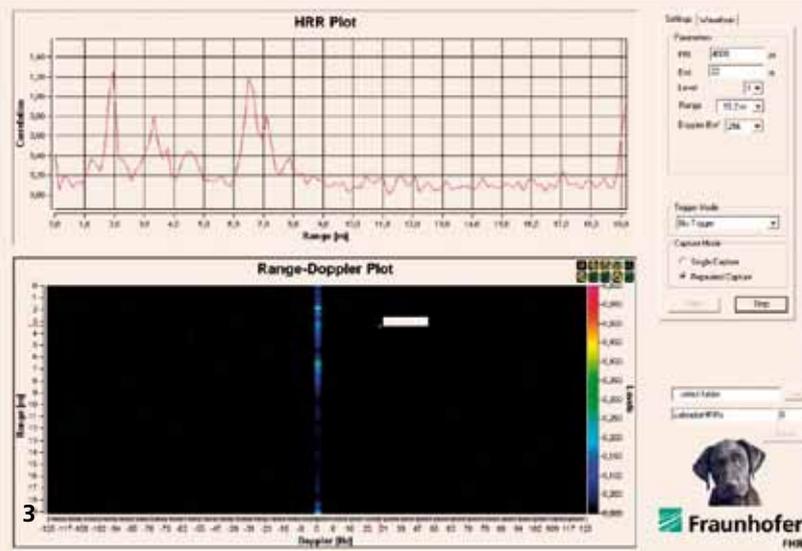
Programmierbare integrierte Schaltkreise wie FPGAs sind unverzichtbare Hardwarekomponenten der modernen Signalverarbeitung. Der Einsatz in der Radartechnik ermöglicht ein kompaktes, leistungsstarkes und flexibles Software Defined Radar: das System Labrador.

Der Übergang von Software Defined zur Hardware

Der Begriff Software Defined im Zusammenhang mit FPGAs bezieht sich auf die Definition von digitalen Strukturen innerhalb dieser Bauelemente mittels Softwarewerkzeugen. Dahinter verbirgt sich hauptsächlich eine sogenannte Hardwarebeschreibungssprache, auf deren Grundlage in Verbindung mit einem Syntheseprogramm Hardware-Schaltungen im FPGA erzeugt werden. Aus der Software-Definition ergibt sich damit eine Verknüpfung FPGA-interner Grundelemente von einfacher bis hin zu komplexerer digitaler Logik. Auf diese Weise lassen sich vielfältige Anwendungen der digitalen Signalverarbeitung in Echtzeit gleichzeitig realisieren, wie z. B. digitale Filter und schnelle Fourier-Transformationen oder die Einbindung von Schnittstellenprotokollen und das Codieren von Signalen in einem einzigen FPGA-Chip. Da FPGAs rekonfigurierbar sind, erfordern eventuell notwendige Modifikationen der erstellten Applikationen lediglich eine Abänderung der dazugehörigen Hardwarebeschreibung. Die peripheren Elemente müssen – einmal aufgebaut – dazu nicht geändert werden. Daraus folgt der entscheidende Vorteil, dass ein und derselbe elektronische Gesamtaufbau unterschiedliche Aufgaben wahrnehmen kann. Denn die eigentliche Funktion wird im Wesentlichen nur durch die leicht austauschbare Umsetzung im FPGA bestimmt. Die relativ kurze Entwicklungszeit von Hardwaresynthesen ist nicht zuletzt der Möglichkeit von vollständigen Simulationen einer vorangegangenen Hardwarebeschreibung oder gar der Verknüpfung des Entwicklungsprozesses mit gängigen numerischen, mathematischen Hilfsprogrammen zu verdanken.

Labrador – ein bildgebendes Radar

Als Herzstück des Systems Labrador (Laboratory Radar Operating in Real-time) dient ein FPGA auf einer handelsüblichen elektronischen Baugruppe mit integrierten Analog-/Digitalwandlern, Digital-/Analogumsetzern, Speichermedien und Hochgeschwindigkeitsschnittstellen. Zu der im



FPGA synthetisierten Radarfunktion gehören neben der Signalverarbeitung auch die Signalzeugung, das Speichermanagement und die Übertragungseinheiten zur Echtzeitvisualisierung an einem herkömmlichen Rechner. Das FPGA organisiert dabei völlig parallel zu den anderen Aufgaben die Ausführung der Radarfunktion in einer wiederkehrenden Sequenz. Sie startet nach dem Aussenden eines vorher festgelegten beliebigen Signals und dem digitalisierten Empfang von Zielechos mit einer schnellen Korrelation. Nach anschließender Dopplerverarbeitung wird das Prozessierungsergebnis in einer grafischen Benutzeroberfläche in Form von Entfernungprofilen und Entfernung-/Dopplermatrizen echtzeitlich dargestellt und gespeichert. Die Wahl des Hochfrequenz-Frontends ist dabei unabhängig und erlaubt so einen flexiblen Betrieb in beliebigen Frequenzbereichen.

In diesem Ausbaustand, zusammen mit einem Hochfrequenz-Frontend im X-Band und positionierbaren Sende- und Empfangsantennen, konnte das System Labrador bereits erfolgreich zur Vermessung der Radarsignaturen von Bodenzielen auf Drehplattformen eingesetzt werden. Dazu wurde der fernsteuerbare Gesamtaufbau in einem Scherenhubwagen untergebracht, der durch seine variable Höhe Messungen unter verschiedenen Depressionswinkeln gestattet.

Labrador, mit seinem FPGA als zentralem und funktionsgebendem Element, bietet vielfältige Möglichkeiten und Einsatzgebiete. Sowohl die Radarfunktion als auch die Wellenformen sind schnell erweiterbar und lassen sich gegebenenfalls durch andere Verfahren austauschen. Der Anwender wird dadurch in die Lage versetzt, in kurzer Zeit diverse Algorithmen, Modifikationen und rasche Anpassungen an die Messaufgaben zu implementieren. Somit ist Labrador ein ideales Testinstrument im Labor, eignet sich aber auch gerade durch seine kompakte Bauform und seine Flexibilität für Messungen im Außeneinsatz unter realen Bedingungen. Weiterhin führt das einfache Duplizieren einer einzelnen vorhandenen Baugruppe zum mehrkanaligen System. Bei gleich bleibender Hardware sind ferner gänzlich andere Funktionen denkbar, die den Aufbau zu einem multifunktionalen Hochfrequenz-System macht. Zusätzlich zu der Radarfunktion in Labrador entsteht dann durch einfaches entsprechendes Anpassen und Austauschen der FPGA-Konfiguration zum Beispiel ein reines Empfangs- und Aufzeichnungssystem.

- 1 *Das FPGA-System Labrador in Verbindung mit HF-Frontend und Aufzeichnungseinheit.*
- 2 *Labrador montiert auf einem Scherenhubwagen zusammen mit HF-Frontend und positionierbaren Sende- und Empfangsantennen.*
- 3 *Grafische Benutzeroberfläche des Systems Labrador. Neben diversen Einstellmöglichkeiten werden hochauflösende Entfernungprofile und Entfernung-/Dopplermatrizen in Echtzeit angezeigt.*

Dipl. Ing. Torsten Mathy
 Tel. +49 228 9435-237
 Fax +49 228 9435-633
 torsten.mathy@
 fhr.fraunhofer.de



1

RADAR-ELOKA FÜR MILITÄR- UND POLIZEI-EINSÄTZE

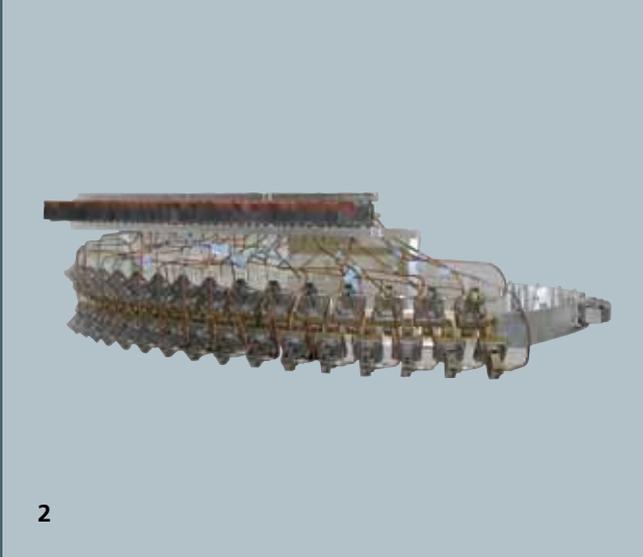
Die mit dem Radarsensor gewonnenen Informationen bilden einen wesentlichen Grundpfeiler der Nachrichtengewinnung und Aufklärung im militärischen Kontext und im Sicherheitsbereich. Diese Informationen trotz gezielter Störung zu erhalten bzw. gegebenenfalls andere in der Informationsgewinnung zu behindern ist Aufgabe der Radar-EloKa (Elektronische Kampfführung).

Radars wird auch in den kommenden Jahren als allwettertauglicher Sensor zur Aufklärung und Nachrichtengewinnung unverzichtbar sein. Bei militärischen Anwendungen und im Sicherheitsbereich sind in vielen Fällen Gegenmaßnahmen gefragt, die es ermöglichen, die Aufklärung von z. B. eigenen Fahrzeugen oder Personen durch gegnerisches Radar zu verhindern. Eine mögliche Gegenmaßnahme nutzt Störsender aus, die den feindlichen Radarbetrieb erschweren. Neben Hochleistungsstörern, die die Signalentdeckung verhindern oder unter Ausnutzung von Schwachstellen sogar zur Zerstörung des feindlichen Radargeräts führen können, werden auch intelligente Störverfahren angewandt, die zur Erzeugung von Radarscheinzielen genutzt werden. Die Anwendung elektronischer Gegenmaßnahmen erfolgt in zwei Schritten, die unter dem Begriff Radar-EloKa zusammengefasst sind:

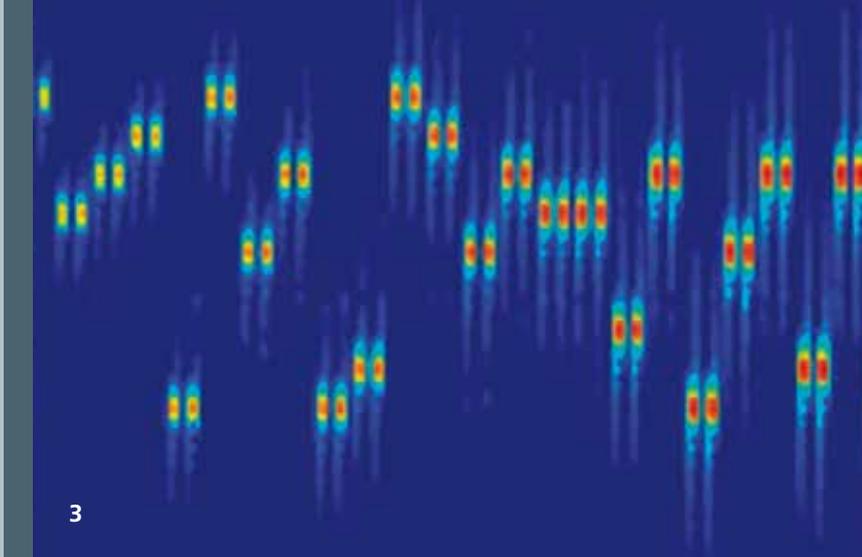
Im ersten Schritt der EloUM (Elektronische Unterstützungsmaßnahmen) wird das elektromagnetische Spektrum sowie der gesamte in Frage kommende Raumbereich mit einem passiven Sensor auf mögliche Radarsignale hin untersucht. Werden Radarsignale detektiert, so werden sich eventuell überlagernde Signale getrennt, der Radarsender lokalisiert und die Radarsignale analysiert. Anschließend werden die empfangenen Radarsignale klassifiziert und eine Bedrohungsanalyse durchgeführt. Im zweiten Schritt wird über mögliche elektronische Gegenmaßnahmen entschieden, die unter EloGM (Elektronische Gegenmaßnahmen) subsumiert sind.

Elektronische Unterstützungsmaßnahmen

Die Detektion und Schätzung der Parameter empfangener Radarsignale stellen immer höhere Anforderungen an die Sensoren und Empfänger der Radar-EloKa. Neue Technologien wie z. B. digitale Synthesizer erlauben eine hohe Agilität in fast allen Signalparametern. Die zukünftige Frequenzagilität der empfangenen Radarsignale, aber auch die geforderten hohen Bandbreiten bildgebender Radargeräte bedingen eine hohe Augenblicksbandbreite der EloUM-Empfänger.



2



3

Die Verwendung von Millimeterwellenradaren und Radaren im unteren Frequenzbereich machen eine Ausweitung des zu untersuchenden Spektralbereiches auf 0.1 GHz bis 200 GHz notwendig.

Bi- und multistatische Radarsensoren, deren Emitter während des Sendebetriebs zum Schutz im Verbund mit Täusch- und Rauschstörern arbeiten, erfordern eine mehrkanalige EloUM-Sensorik. Mehrkanalige, digitale Empfänger mit hohen Abtastraten und einer zusätzlich geforderten hohen Dynamik der Analog-Digitalwandler bilden hierzu die Grundlage und sind auch zur Erfassung, Lokalisierung und Identifizierung zukünftiger Radargeräte eine notwendige Voraussetzung. Realzeitliche Signalverarbeitungsverfahren, die es ermöglichen, Signale zu entdecken, die eine niedrige Augenblicksleistung besitzen und zusätzlich im Zeit- und Frequenzbereich gespreizt sein können, bilden im EloKa-Bereich einen momentanen Forschungsschwerpunkt. Weitere Herausforderungen sind die benötigten Breitbandantennen, die Nutzung konformer, trägerangepasster Antennen (z. B. bei unbemannten Flugobjekten) sowie die gewünschte Mehrfachnutzung einer Antenne für Radar und Radar-EloKa (*Shared-Aperture*).

Elektronische Gegenmaßnahmen

Um die Radaraufklärung eines potentiellen Gegners zu erschweren oder zu verhindern, können elektronische Gegenmaßnahmen durchgeführt werden. Eine der ältesten, elektronischen Gegenmaßnahmen bilden Rauschstörer. Durch Anhebung des Rauschniveaus im Radarempfänger wird bei gegebenem Radarrückstreuquerschnitt eines Zielobjekts die Entdeckungsreichweite dieses Ziels deutlich reduziert. Bei bildgebendem Radar kann ein Rauschstörer zu entdeckende Zielobjekte teilweise oder ganz verdecken. Rauschstörer lassen sich durch eine Anpassung der Empfangseigenschaften der Gruppenantenne eines Radars in Richtung des empfangenen Störsignals weitgehend unterdrücken. Bei einer gezielten Anpassung des Störsignals hinsichtlich Zeit und Modulation an das Signal des zu störenden Radars ist dies nur noch bedingt möglich. Dies gilt insbesondere für bildgebende Radare sowie für Radare, die keine gepulsten, sondern Signale nach dem Dauerstrichverfahren aussenden.

Genauere Kenntnisse der Radarbildverarbeitung ermöglichen es, mit Hilfe kohärenter Störverfahren in Radarbildern Scheinziele zu generieren. Gleichzeitig ergeben sich aus den Fähigkeiten neuer Radarverfahren höhere Anforderungen an die Technik der Stör- und Täuschsender, die sich unter anderem in besonderer Phasenreinheit, sehr guten Gleichlaufeigenschaften der verschiedenen aktiven Bauelemente und hohen Bandbreiten zeigen müssen.



1 *Das Experimentalsystem PALES – ein Systemdemonstrator für Shared-Aperture-Antennen*

2 *Wesentliche Komponenten von PALES: Rotman-Linse und lineare Gruppenantenne aus 32 Vivaldiantennenelementen zur optimalen Abdeckung eines breiten Frequenz- und Raumbereiches*

3 *Spektrogramm eines Radarsignals im Zeit/Frequenzbereich (Frequency Hopping)*

*Dipl.-Math. Josef Worms
Tel. +49 228 9435-216
Fax +49 228 9435-627
josef.worms@
fhr.fraunhofer.de*

AUS DEM INSTITUT



AUS DEM INSTITUT

Das erste Jahr in der Fraunhofer-Gesellschaft verlief für das FHR sowohl wissenschaftlich als auch wirtschaftlich sehr erfolgreich.

Trotz der zum Teil sehr aufwändigen organisatorischen Änderungen, die mit der Eingliederung in die Fraunhofer-Gesellschaft einher gingen, konnte der Wissenschaftsbetrieb in vollem Umfang weitergeführt und in Teilbereichen neu ausgerichtet werden. Die Verstärkung der Drittmittelaktivitäten sorgte dafür, dass das Gesamtbudget erfreulicher Weise eine positive Tendenz aufweist. Um das Innovationspotential des FHR zu halten und sogar zu steigern, wurden 2010 weitere Maßnahmen umgesetzt. So installierte der Institutsleiter zwei neue Stabsstellen:

Um gute Ideen im FHR für die Fraunhofer-Gesellschaft und die Erfinder zu sichern, wurde die Stelle eines Patent- und Schutzrechtsbeauftragten mit dem Patentingenieur Herrn Dipl.-Ing. Alexander Stuckert eingerichtet. Er dient einerseits als Berater und Unterstützer der Wissenschaftler im Institut und andererseits als Schnittstelle zu den Patentanwälten der Fraunhofer-Zentrale.

Eine weitere Stabsstelle *Business Development* wurde geschaffen und mit Herrn Dr. Frank Lorenz besetzt. Seine Aufgabe ist es, im Vertragsforschungsbereich die Markttauglichkeit von Erfindungen, Forschungsvorhaben und –resultaten des Institutes einzuschätzen und zu vermitteln, sowie bei der Weiterentwicklung des Institutes die zielgerichtete produktnahe Vorgehensweise der Teams zu fördern. Es wird hier unter anderem die Möglichkeit einer späteren Ausgründung untersucht. Das wirtschaftliche Potential des FHR wurde auch von der Fraunhofer-Zentrale erkannt. Sie unterstützt diese Überlegungen personell und finanziell im Rahmen des FFE-Programms (Fraunhofer fördert Existenzgründungen), um ein tragfähiges Geschäftskonzept zu erstellen. Im 1. Halbjahr 2011 ist das Projekt abgeschlossen und es wird über Ausgründungsmöglichkeiten entschieden.

Für die Filmaufnahmen des Fraunhofer-3D-Films wurde die „Kugel“ von außen beleuchtet.

Maßgeblich für den wirtschaftlichen Erfolg waren die vielen zusätzlich eingeworbenen Drittmittelprojekte, was sich auch bei der Personalentwicklung bemerkbar machte (siehe S. 9). Da die Raumknappheit kurzfristig nicht durch neue Gebäude oder Container gelöst werden konnte, mussten neue Büro- und Laborflächen im naheliegenden Gewerbegebiet Wachtberg-Villip angemietet werden. Hier arbeiten nun ca. 30 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an Zukunftsthemen vornehmlich im Bereich der Sicherheitstechnik und Materialanalyse (siehe S. 80 ff.).

Durch die Aufnahme der Wachtberger Institute in die Fraunhofer-Gesellschaft gibt es jetzt insgesamt sechs Institute in der Wissenschaftsregion Bonn. Um diese Fraunhofer-Institute in der Öffentlichkeit zu präsentieren wurde am 22. Mai in der Zeitung „General-Anzeiger Bonn“ eine gemeinsame Sonderveröffentlichung unter dem Titel „Fraunhofer in der Region Bonn“ veröffentlicht. Auf insgesamt acht Seiten stellten die Institute sich und ihre Forschungsaktivitäten vor.

Fraunhofer-3D-Imagefilm „Dimensionen der Forschung“

Ein besonders spektakuläres Ereignis gab es am Ende des Jahres: Zum Abschluss des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojekts PRIME (PProduktions- und Projektionstechniken für Immersive Medien) entschied die Fraunhofer-Zentrale, einen 3D-Imagefilm mit dem Titel „Dimensionen der Forschung“ zu erstellen. Das erste von den vier darin auftretenden Instituten war das FHR mit seinem Weltraumbeobachtungsradar. Unter großem technischem Aufwand fanden im Dezember die Dreharbeiten am Institut statt. Zum Beispiel wurde die Hülle nur für die Außenaufnahmen mit mehreren Hochleistungsstrahlern taghell beleuchtet (siehe Abb. links). Die Fotos im Keynote-Artikel „Sicherheit im Weltraum“ ab Seite 14 zeigen Szenen aus dem Film, wobei der 3D-Effekt bei den bewegten Bildern noch beeindruckender ist.



Besuche

Am 19. Februar besuchte der **Innovationsminister Nordrhein-Westfalens Prof. Dr. Andreas Pinkwart** die Wachtberger Fraunhofer-Institute, um sich über aktuelle Forschungsarbeiten, insbesondere über Projekte in der zivilen Sicherheitsforschung zu informieren. Das Fraunhofer FHR führte unter anderem den neuen passiven Personenscanner vor, der auf Entfernungen von bis zu 20 Metern gefährliche Objekte unter der Kleidung erkennen kann. Der Minister zeigte sich begeistert von den innovativen Technologien und der bereits fortgeschrittenen Vernetzung mit den umliegenden Universitäten und Forschungseinrichtungen im südlichen NRW. „Die wissenschaftliche Expertise hat mich beeindruckt. Die neuen Fraunhofer-Institute haben sich schon nach kurzer Zeit wirtschaftlich und personell positiv weiterentwickelt, so dass diese Wissenschaftsregion in Nordrhein-Westfalen nachhaltig gestärkt wird.“, sagte der Minister zum Abschluss.

Die Zusammenarbeit des FHR mit dem „Defence Research and Development Canada DRDC“ wurde auch 2010 weitergeführt. Aus diesem Grund besuchte **Dr. Robert Walker, stellvertretender Verteidigungsminister aus Kanada**, am 3. Mai die Institute in Wachtberg. Die FHR-Wissenschaftlerin Dr. Delphine Cerutti-Maori konnte dabei von ihrer Arbeit während dem gerade beendeten Aufenthalt beim DRDC berichten.

Auch 2010 veranstaltete das FHR häufig Führungen für interessierte Studentengruppen aus den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Bereichen. Unter anderem waren im Berichtsjahr Studentinnen und Studenten der RWTH Aachen, der Ruhr-Universität Bochum, der Fachhochschule Heidelberg und der Universität Erlangen im Institut zu Besuch.

Veranstaltungen und Messebeteiligungen

Beim DWT-Forum „Forschung und Technologie“, am 13. und 14. April in Bonn, beteiligte sich das FHR an einem Gemeinschaftsstand des Fraunhofer-Verbunds Verteidigung und Sicherheit. Das Institut präsentierte verschiedene Exponate zum Thema „Boden- und Luftraumaufklärung“.

Im Jahr 2010 empfing das FHR am Girls' Day zum 7. Mal 25 Mädchen. Sie erhielten die Möglichkeit, einen kleinen Einblick in die technischen Tätigkeiten im Institut zu bekommen.

Zum ersten Mal nahm das FHR an der Hannover Messe Industrie (HMI) vom 19. bis 23. April auf dem Gemeinschaftsstand der Wissenschaftsregion Bonn teil.

Die alle zwei Jahre stattfindende Europäische SAR-Konferenz (**EUSAR – European Conference on Synthetic Aperture Radar**) wurde im diesem Jahr durch das FHR (wissenschaftliche Organisation) und durch den VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (allgemeine Tagungsorganisation) vom 7. bis 10. Juni in Aachen durchgeführt. Über die neuesten Entwicklungen und Anwendungsfelder von SAR (*Synthetic Aperture Radar*) diskutierten 450 Experten aus 32 Ländern und allen fünf Kontinenten. Mit der EUSAR begleiten die Kooperationspartner Fraunhofer-Gesellschaft, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR und die Firma EADS seit 1996 im Zweijahresrhythmus die weltweite Entwicklung hochauflösender luft- und weltraumgestützter Radarbildtechniken. Das FHR präsentierte hier erstmals Radarabbildungen mit einer Auflösung von 5 x 5 Zentimetern, welche schon die Unterscheidung von Fahrzeugtypen möglich machen.

Auf dem Messestand des Landes Nordrhein-Westfalen auf der Internationalen Luft- und Raumfahrtausstellung (ILA), vom 8.



bis 13. Juni in Berlin, beteiligte sich das FHR mit den Projekten „Detektion und Verfolgung gefährlicher Materialien durch aktive und passive Sensoren (ATOM)“ und „Landbahnüberwachung durch multimodale vernetzte Sensorik (LaotSe)“.

Zum Abschluss des vom Wirtschaftsministerium NRW geförderten Projektes „Internationale Waldbrandbekämpfung (IWBB)“ zeigten die Konsortialteilnehmer bei der Abschlusspräsentation am 30. Juni im Zentrum für Sicherheits- und Katastrophenschutztechnik Hemer ihre Ergebnisse. Das FHR präsentierte ein Navigationsradar für Löschfahrzeuge und ein Radiometer zur Brandherdentdeckung aus der Luft, durch Rauch, Nebel und Staub hindurch.

Bereits zum zweiten Mal veranstaltete das FHR vom 17. bis 24. Juli 2010 eine internationale Sommerschule zum Thema Radar in Remagen-Rolandseck. 30 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt trafen sich zur **2nd International Summer School on Radar / SAR** für eine Woche am Rhein, um von international anerkannten Radarexperten zu lernen. Besonders beliebt waren wieder die Workshops, um das erlernte Wissen anzuwenden sowie das Rahmenprogramm, das einen Einblick die Kultur des Rheinlandes und der Region ermöglichte.

Zum vierten Mal stellte das FHR gemeinsam mit dem IAF auf der European Microwave Week aus, Europas größter Messe und Konferenz zum Thema Hochfrequenztechnik und Radar. Sie fand vom 26. September bis 1. Oktober in Paris statt.

Zur Anwerbung von qualifiziertem Personal beteiligte sich das Institut bei verschiedenen Jobmessen: der Absolventenmesse „Campus & Praxis“ der Fachhochschule Koblenz am 15. April in Remagen, dem Unternehmenstag der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg am 10. November in St. Augustin und der Firmenkontaktmesse Bonding am 1. Dezember 2010 in Aachen.

1 *Der Innovationsminister Nordrhein-Westfalens Prof. Dr. Andreas Pinkwart besuchte das FHR, um sich über aktuelle Forschungsarbeiten, insbesondere über Projekte in der zivilen Sicherheitsforschung zu informieren.*

2 *Prof. Rohling hält einen Vortrag über „Automotive Radar“ bei der vom FHR zum zweiten Mal veranstalteten International Summer School on Radar/SAR.*

3 *Bei der 8. europäischen Radarkonferenz EUSAR in Aachen gab es neben den Vorträgen international anerkannter Experten auch eine ausführliche Posterpräsentation.*

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



NEUER INSTITUTSTEIL IM GEWERBEGEBIET WACHTBERG-VILLIP

In den letzten Jahren entstanden durch die steigende Anzahl erfolgreich eingeworbener neuer Projekte auch neue Forschungsteams. Der dadurch resultierende Bedarf an zusätzlichen Büro- und Laborflächen konnte kurzfristig durch die Anmietung von Containern und durch den Aufbau kleiner neuer Gebäude bewältigt werden. Doch mittlerweile reichen diese Maßnahmen nicht aus, allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ein effektives Arbeitsumfeld zu bieten. Deshalb wurden Ende des Jahres 2010 zusätzliche Labore und Büros in der Nähe des Instituts, im Gewerbegebiet Wachtberg-Villip angemietet.

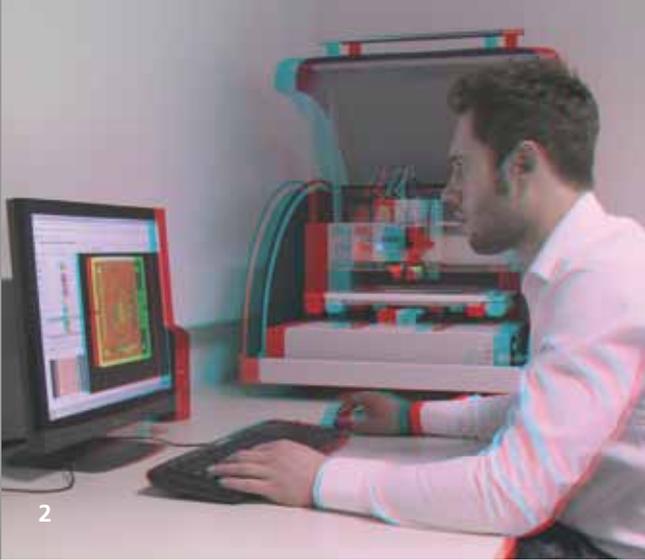
Die Ausstattung

Gleich zwei Teams aus der Abteilung „Millimeterwellen und Höchstfrequenzsensoren“ (MHS) erforschen hier Zukunft. Das Team „Sensorsysteme für Sicherheitsanwendungen“ entwickelt Sensoren, die die Sicherheit im Luft-, See- und Straßenverkehr erhöhen. „Millimeterwellen und Terahertzsensoren“ erarbeitet Methoden um die Höchstfrequenztechnologie zur Materialanalyse zu nutzen. Die Kunst, Unsichtbares sichtbar zu machen, ist das Ziel beider Gruppen und ihrer Projekte.

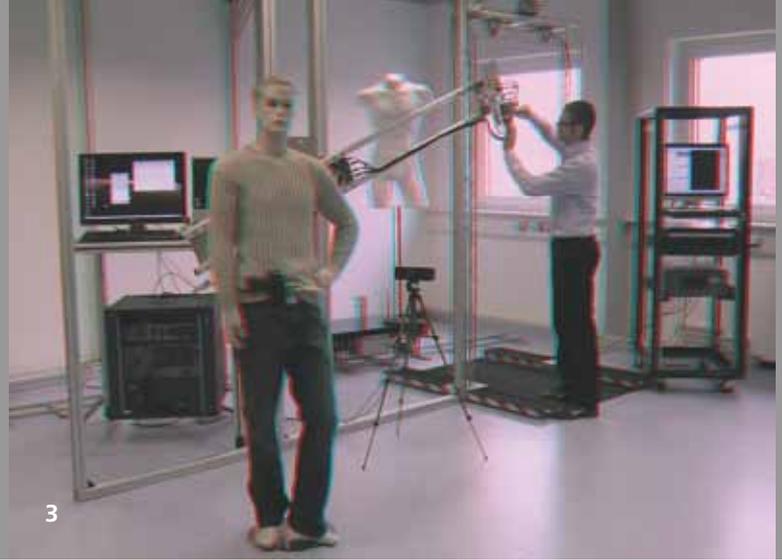
Im Bereich Sicherheit arbeiten die Wissenschaftler in Villip an dem Projekt SAR-Gate. Das bildgebende Radarsystem zur Personenkontrolle soll bisherige Sicherheitstechnologien ergänzen und potentielle Gefahren schon erkennen, bevor sie akut werden.

Hubschrauberpiloten fliegen beim Landeanflug sehr stark auf Sicht. In sehr sandigen oder trockenen Gebieten ist die Landung gefährlich, da die Sicht durch den aufgewirbelten Staub extrem eingeschränkt wird. Hindernisse wie Häuser, Bäume oder Felsen sowie Bodenunebenheiten werden nicht mehr wahrgenommen. Weil es bisher keine Technologien gab, die die Piloten effektiv in solchen Situationen unterstützen, entwickeln und verifizieren die Wissenschaftler und Ingenieure dort die sensorgestützte Hubschrauberlandehilfe SeLa.

Im neuen Institutsteil befindet sich zur Bearbeitung der wissenschaftlichen Projekte eine umfangreiche technologische Ausstattung: u. a. ein Laserlabor, ein Digitallabor und eine Klimakammer. Im Laserlabor werden drei Terahertz-Spektrometer betrieben, deren elektro-



2



3

magnetische Strahlung als Differenzfrequenz beim Mischen zweier optischer Signale (hier Multimoden-Laser) in einem Fotomischer entsteht. Primär werden hier grundlegende Versuche zur Materialklassifizierung anhand charakteristischer Absorptionslinien im Frequenzbereich von 80 Gigahertz bis zu 6 Terahertz durchgeführt.

In der Aufbautechnik können komplette elektronische Baugruppen teilautomatisiert hergestellt werden. Hierzu gehört die Platinenherstellung mittels Laserfräse oder einer Hochgeschwindigkeitsspindel und unterschiedlichsten Substraten. Hochfrequenzschaltungen in Mikrostreifenleitung und Koplanartechnik können ebenfalls auf diese Weise realisiert werden. Die benötigten Bauelemente können dann mit einem Bestückungsautomaten auf den erforderlichen Substraten platziert und danach dauerhaft in einem Kondensationslötofen elektrisch leitend mit den Substraten verbunden werden.

Kleinste integrierte Hochfrequenzschaltkreise werden mit den Wellenleitern unter Zuhilfenahme der „Bondtechnik“ verbunden. Hier werden Drähte zwischen IC (*Integrated Circuit*) und Wellenleiter eingesetzt, die dünner als menschliche Haare sind.

Für die Daten- und Signalverarbeitung werden im Digitallabor individuell auf die Anwendungen bezogene A/D-Wandler hergestellt. Um die (Post)-Prozessierung der Sensordaten zu übernehmen, finden Mikrocontroller, DSPs (digitaler Signalprozessor) und FPGAs (*Field Programmable Gate Array*) ihren Einsatz.

Durch die Bündelung der Projekte und der Teams an einem Ort können Wissenschaftler und Ingenieure Hand in Hand arbeiten und die so entstehenden Synergieeffekte nutzen: Elektronische Baugruppen können nach ihrer Entstehung ohne Umwege überprüft werden. Die zahlreichen Laborarbeitsplätze sind mit regelbaren Netzteilen, Oszilloskopen, Netzwerkanalysatoren und AWGs (*Arbitrary Waveform Generator*) ausgestattet. Hier besteht die Möglichkeit Komponenten von Gleichstrom bis zu einer Frequenz von 325 Gigahertz zu testen. In einer Klimakammer können Stresstests über Normprüfverfahren automatisiert durchgeführt werden. Um die Sensoren unter realen Bedingungen zu testen, wird ein Materialscanner durch eine Bandstraße ergänzt. Dieser Aufbau ist ein System zur Durchführung von Machbarkeitsstudien im Bereich der Materialanalyse. Die realen Bindungen, die die Bandstraße beschreiben, beinhalten auch die Geschwindigkeit des Bandes und somit auch die Geschwindigkeit der Datenerfassung, der Prozessierung und Einspeisung der Signalinformationen in ein Programm zur Prozess- und Anlagensteuerung.

1 

Die Mitarbeiter des Institutsteils Villip.

2 

Zur Erstellung der elektronischen Baugruppen steht u. a. eine Hochgeschwindigkeitsspindel zur Verfügung.

3 

Im Labor für Sicherheitstechnik werden verschiedene Verfahren zur Detektion von Gefahrstoffen untersucht.

Dr. rer. nat.

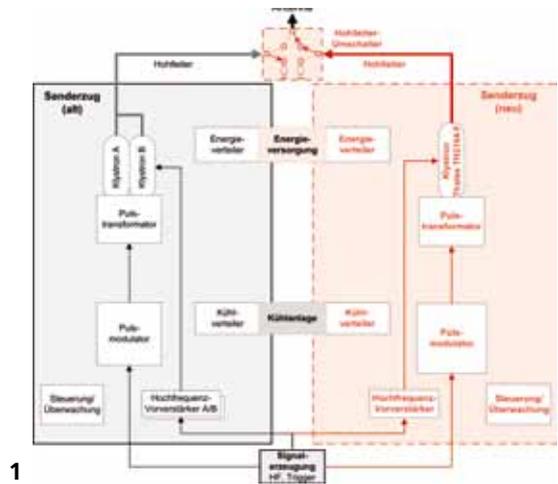
Alexander Hommes

Tel. +49 228 9435-877

Fax +49 228 9435-608

alexander.hommes@

fhr.fraunhofer.de



UMRÜSTUNG UND UPGRADE DER GROSSRADARANLAGE TIRA

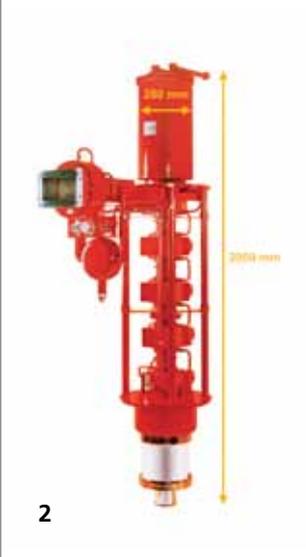
Die Großradaranlage TIRA, die seit 1976 zur radargestützten Beobachtung des Weltraums eingesetzt wird, muss gestiegenen Anforderungen auch aus technischer Sicht Rechnung tragen. Hierzu werden seit Anfang 2010 Umrüstmaßnahmen durchgeführt, die sich auf zwei Kernkomponenten, den Sender des Zielverfolgungsraders und die Antriebssteuerung der Antenne, konzentrieren.

Historie und aktuelle Situation

TIRA (*Tracking and Imaging Radar*) mit den Teilsystemen Zielverfolgungs-/Zielabbildungsradar und der Antenne ist seit fast 35 Jahren in Betrieb und wurde bislang fast ausschließlich als Experimentalträger im Forschungsbereich der radargestützten Weltraumbeobachtung eingesetzt. Die dadurch bedingte moderate Auslastung des Systems ermöglichte einen langjährigen, materialschonenden Betrieb. Aus den zukünftigen Forschungsschwerpunkten des FHR, aber auch der geplanten Rolle von TIRA innerhalb eines nationalen und europäischen Weltraum-lagesystems, ergeben sich jedoch Forderungen nach einer Steigerung der Leistungsfähigkeit des Systems, z. B. durch verbesserte Sendeverfahren, verbunden mit einer höheren Systemverfügbarkeit als Voraussetzung für einen künftig möglichen, stärker operationell ausgerichteten Betrieb. Parallel dazu zeigten sich in jüngster Zeit aber auch erste Anzeichen einer alters- und betriebsbedingten Abnutzung zentraler Systemkomponenten, so dass technische Umrüstmaßnahmen unumgänglich wurden.

Umrüstung des L-Band-Radarsenders

Im TIRA-Zielverfolgungsradar werden über zwei Hochleistungs-Senderrohren (sog. Klystrons) HF-Pulse mit einer Frequenz von 1333 MHz (L-Band) und einer Leistung von bis zu 1,5 Megawatt erzeugt (Abb. 1). Diese Röhren bilden eine zentrale Komponente des Senders und müssen aus den eingangs erwähnten Gründen baldmöglichst ausgetauscht werden, wobei jedoch kompatible, neuwertige Ersatzröhren nicht mehr verfügbar sind. Hinzu kommt, dass beim momentan verbauten Röhrentyp mit Modulationsanode die erreichbare Puls-zu-Puls-Stabilität mittlerweile nicht mehr ausreicht, um neue Verfahren, z. B. zur Erfassung und Verfolgung sehr kleiner Objekte, zu testen und zu verifizieren.



2



3

Geeignete, marktverfügbare Senderöhren, die vielfach in Beschleunigern (z. B. bei DESY) zum Einsatz kommen, sind aber weder elektrisch noch mechanisch kompatibel zum bestehenden System, was in Konsequenz die Umrüstung des gesamten L-Band-Radarsenders erforderlich macht.

Wie in Abbildung 1 erkennbar, wird hierzu parallel zum vorhandenen ein kompletter neuer Senderzug aufgebaut, der aus dem HF-Eingangssignal über Vorverstärker, Pulsmodulator, Pulstransformator und Klystron Pulse mit bis zu zwei Megawatt Leistung erzeugt, welche über einen Hohlleiter mit Umschalter zur Antenne geführt werden. Aufgrund des redundanten Aufbaus und der Möglichkeit (temporär) auf den alten Senderzug (Abb. 1, links) umzuschalten, kann so bereits während der Umbau- und Inbetriebnahmephase die Systemverfügbarkeit wieder hergestellt werden.

Für die Entwicklung und Fertigung aller wesentlichen Systemkomponenten (Abb. 1, rechts) einschließlich der Beschaffung des Klystrons (Abb. 2) wurde ein externer Projektpartner beauftragt, während die Realisierung der Anbindung an die bestehende Signalerzeugung, Energieversorgung und Kühlanlage in Eigenregie des FHR erfolgte. Der Aufbau und die Integration des Systems vor Ort inkl. der Endabnahme werden voraussichtlich bis Mitte 2011 abgeschlossen.

Upgrade der Antriebssteuerung der Antenne

Die jetzige Antriebssteuerung der TIRA-Parabolantenne ist seit 1996 in Betrieb und basiert auf einer Industrie-SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) und einem Regelungssystem der Fa. Siemens zur Ansteuerung der Gleichstrommotoren des Azimut- und Elevationsantriebs. Bedingt durch die kurzen Entwicklungszyklen für neue Gerätegenerationen werden die verwendeten Komponenten jedoch seit längerem nicht mehr weiterentwickelt.

Die Realisierung modifizierter und erweiterter Steuerungsfähigkeiten der Antenne insbesondere für künftige Untersuchungen zur autonomen/bi-statischen Zielverfolgung und zur interferometrischen Zielabbildung, sowie eine geforderte höhere Verfügbarkeit machten damit den Umstieg auf die aktuellste Baureihe Simatic-S7 für die SPS und Simatic TDC für die Motorregelung zwingend notwendig. Wegen der nicht mehr gegebenen Kompatibilität zu den vorhandenen Peripheriekomponenten führte dies auch zu einem Wechsel der Antriebstechnik auf Drehstrom-Asynchronmotoren (Abb. 3). Die Durchführung der Umrüstung wird nach aktueller Planung im März 2011 abgeschlossen.

1 *Übersicht über den Aufbau des neuen L-Band-Radarsenders und dessen Integration in das vorhandene System und die bestehende Infrastruktur.*

2 *Für den neuen Senderzug vorgesehene Senderöhre TH2104 C der Firma TED (Thales Electron Devices)*



3 *In der Elevation wurden neue Drehstrom-Asynchronmotoren eingebaut*

*Dr. Klemens Letsch
Tel. +49 228 9435-208
Fax +49 228 9435-608
klemens.letsch@
fhr.fraunhofer.de*

*Jürgen Marnitz
Tel. +49 228 9435-248
Fax +49 228 9435-608
juergen.marnitz@
fhr.fraunhofer.de*

FRAUNHOFER-VERBÜNDE

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. 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, Nachrichtengewin-

nung 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
- Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT
- Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI

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

VERBUND MIKROELEKTRONIK

Der Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik (V 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
- Modulare Festkörper-Technologien EMFT

Fraunhofer-Center Nanoelektronische Technologien CNT

Leiter Geschäftsstelle

Dr. Joachim Pelka

Tel.: +49 30 688 3759-6100

joachim.pelka@mikroelektronik.fraunhofer.de

www.vue.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-ALLIANZ

ALLIANZ VISION

Die Fraunhofer-Allianz Vision bündelt das Know-how der Fraunhofer-Institute im Bereich des maschinellen Sehens, der Bildverarbeitung und der optischen Mess- und Prüftechnik. Sie hat sich zum Ziel gesetzt, neue Entwicklungen unter industriellen Bedingungen einsetzbar zu machen. Auf Wunsch werden Komplettlösungen einschließlich aller Handhabungskomponenten bereit gestellt.

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

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

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

Mitglieder

Fraunhofer-Institut für

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

Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT

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

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

ÜBERBLICK

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Institute. Mehr als 18 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,65 Milliarden Euro. Davon fallen 1,40 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

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

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

bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich 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). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

Zentrale

Telefon: +49 89 1205-0

info@zv.fraunhofer.de

www.fraunhofer.de

AUSBILDUNG UND LEHRE

Vorlesungen

Bertuch, T.: „Numerische Verfahren der Hochfrequenztechnik“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, St. Augustin, Wintersemester 2009/2010

Lorenz, F.P.: „Physikalische Messtechnik“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, Wintersemester 2010/2011

Ender, J.: „Introduction to Radar“, RWTH Aachen, Wintersemester 2009/2010

Ender, J.: „Aerospace radar“, Universität Siegen, Sommersemester 2010

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

Lorenz, F. P.: „Measuring Techniques“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, Wintersemester 2009/2010

Lorenz, F. P.: „Physics“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, Sommersemester 2010

Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten

Abbad, S.: Diplom,
Thema: „Bestimmung
und Charakterisierung des
Reflexionskoeffizienten un-
terschiedlicher menschlicher
Hauttypen unter Einfluss
von Cremes und Salben“,
RheinAhrCampus, Remagen,
September 2010

Al-Asad, Z.: Master, Thema:
„Implementation of NURBS
Objects in a Ray Tracing
Code for RCS Simulation“,
University of Gävle, Gävle
(Schweden), Juni 2010

Alkhatib, S.: Diplom,
Thema: „Entwicklung einer
Auswertungssoftware und
Antennenanalyse unter
MATLAB“, RheinAhrCampus,
Remagen, Mai 2010

Dahl, C.: Bachelor, Thema:
„Entwurf und Verifikation
eines unterabtastenden digi-
talen Radarempfängers mit
weitem Eingangsfrequenz-
bereich“, Fachhochschule
Münster, Steinfurt, August
2010

Fischer-Gundlach, J.: Diplom,
Thema: „Entwicklung eines
FPGA-basierten Schnittstel-
lenmoduls unter Verwendung
von GBit-Ethernet“,
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg,
Koblenz, September 2010

Hengsberg, A.: Diplom,
Thema: „Entwurf und
Implementierung eines
hochbitratigen seriellen Da-
tentransfers mittels RocketIO
für einen Mehrfachkeulen-
DBF-Demonstrator“, Hoch-
schule Bonn-Rhein-Sieg, St.
Augustin, März 2010

Kahan, D.: Diplom,
Thema: „Theoretische
Konzeption eines modu-
laren Multifunktions-THz-
Spektrometers auf Basis von
marktüblichen Komponenten
und Charakterisierung von
unterschiedlichen Stoffen und
Materialien mittels CW- und
TD-THz-Spektroskopie“,
Fachhochschule Koblenz,
Koblenz, August 2010

Mittasch, A.-K.: Master,
Thema: „Bistatisches
interferometrisches ISAR“,
Fachhochschule Trier, Trier,
Dezember 2010

Mohneke, S.: Diplom,
Thema: „Entwicklung eines
HDL/TCL-Frameworks zur
einfachen Implementierung
anwendungsspezifischer
Datenpreprozessierungs- und
Datenübertragungsapplika-
tionen“, Hochschule Bonn-
Rhein-Sieg, St. Augustin, Juli
2010

Rubart, J.: Master, Thema:
„Optimierung von Bildern
auf Basis von vektoriiellen
Frequenzbandmessungen“,
RheinAhrCampus, Remagen,
September 2010

Seidel, V.: Diplom, Thema:
„Entwicklung und Aufbau
einer Filterbank in Mikrost-
reifentechnik von 0,5 GHz bis
10 GHz“, Hochschule Bonn-
Rhein-Sieg, St. Augustin, Juli
2010

Thillmann, F.: Bachelor,
Thema: „Entwicklung und
Realisierung eines modularen
Datenaufnahme- und
-verarbeitungssystems
für Hochfrequenzanlagen
basierend auf programmier-
baren Logikbausteinen“,
Fachhochschule Koblenz,
Koblenz, August 2010

Valerio Minero, O.: Master,
Thema: „Analysis of Rough-
Surfaces Scattering Models
with Respect to Implemen-
tation into a High-Frequency
RCS Simulation Program“,
Hochschule Offenburg Uni-
versity of Applied Sciences,
Offenburg, Juni 2010

Dozententätigkeiten bei Fachseminaren und Beratungsveranstaltungen

<p>Brenner, A.: „Luftgestützte Radar-Aufklärung“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, April 2010</p>	<p>Essen, H.: „Höchstfrequenz-technologie für Zielsuchkopf-, Aufklärungs- und Sicherheitsanwendungen“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar, Wachtberg, April 2010</p>	<p>SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, April 2010</p>	<p>Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, April 2010</p>
<p>Ender, J.: „Einführung in Radarverfahren“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, April 2010</p>	<p>Essen, H.: „Bildgebende Verfahren zur Detektion von Gefahrstoffen“, CCG-Seminar VS 10.06 Detektion von Explosivstoffen, Pfinztal, November 2010</p>	<p>Kuschel, H.: „Passive und bistatische Radarsysteme“, CCG-Seminar SE 2.40 Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven, Wachtberg, April 2010</p>	<p>Nübler, D.: „Medical applications for THz-systems“, 9th International SAOT Workshop on Advanced THz Applications and Systems, Erlangen, Juni 2010</p>
<p>Ender, J.: „Aufklärung durch Radar – Zukünftige Verfahren und Systeme“, CCG-Seminar F 1.06 Optische, elektrooptische und radargestützte Aufklärung, Oberpfaffenhofen, Mai 2010</p>	<p>Essen, H.: „mmW- und THz-Warnsensorik“, CCG-Seminar SE 3.11 Warnsensorik (UV, IR, mmW, Terahertz), Oberpfaffenhofen, November 2010</p>	<p>Kuschel, H.: „Meterwellen-Radar für Detektion RCS-reduzierter Ziele und Passiv Radar“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2010</p>	<p>Schimpf, H.: „Einführung in die Radarpolarimetrie“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2010</p>
<p>Ender, J.: „Introduction to radar“, 2nd International Summerschool on Radar and SAR, Remagen, Juli 2010</p>	<p>Essen, H.: „Messung des RCS-Wertes und RCS-Messanordnungen“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung Technik und Anwendung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2010</p>	<p>Leushacke, L.: „Weltraumaufklärung mit dem Großradar TIRA“, CCG-Seminar FA 1.01 Verfahren und Systeme der Aufklärung, Wachtberg, März 2010</p>	<p>Schimpf, H.: „Der Einfluss von Tarnungsmaßnahmen auf das Detektionsverhalten im Millimeterwellenbereich“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2010</p>
<p>Ender, J.: „Introduction to bistatic SAR“, 2nd International Summerschool on Radar and SAR, Remagen, Juli 2010</p>	<p>Klare, J.: „Fähigkeitssteigerung durch bi- und multistatische Radarsysteme und MIMO-Radar“, CCG-Seminar</p>	<p>Leushacke, L.: „Radar zur Aufklärung und Überwachung des Weltraums“, CCG-Seminar SE 2.40</p>	<p>Schimpf, H.: „Grundlagen der Detektionstheorie“, CCG-Seminar SE 2.14 Radar- und Infrarottarnung, Oberpfaffenhofen, Oktober 2010</p>

Schimpf, H.: „RCS-Statistik“,
CCG-Seminar SE 2.14
Radar- und Infrarottarnung
Technik und Anwendung,
Oberpfaffenhofen, Oktober
2010

Wilden, H.: „Technologie der
phasengesteuerten Gruppen-
antennen“, CCG-Seminar
SE 2.40 Überwachung und
Aufklärung mit Radar –
Methoden, Systeme und
Perspektiven, Wachtberg,
April 2010

VERÖFFENTLICHUNGEN

Veröffentlichungen in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften

- Berger, C. R.; Demissie, B.; Heckenbach, J.; Willett, P.; Zhou, S.: „Signal-Processing for Passive Radar Using OFDM Waveforms“, IEEE Journal of selected Topics in Signal Processing, Vol. 4, No. 1, pp. 226ff, Februar 2010
- Cerutti-Maori, D.; Gierull, C. Ender, J. H. G.: „Experimental Verification of SAR-GMTI Improvement Through Antenna Switching“, IEEE TGRS, Vol. 48, No. 4, Part 2, pp. 2066-2075, April 2010
- Ender, J. H. G.: „On compressive sensing applied to radar“, Signal Processing, Vol. 90, No. 5, pp. 1402-1414, Mai 2010
- Kuschel, H.; Heckenbach, J.; Müller, St.; Appel, R.: „Countering Stealth with Passive, Multi-Static, Low Frequency Radar“, IEEE Aerospace and Electronics Systems, pp. 11-17, September 2010
- Milin, J.-L.; Moore, S.; Bürger, W.; Triboulloy, P.-Y, Royden, M.; Gerster, J.: „AMSAR – A European Success Story in AESA Radar“, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazin, Vol. 25, No. 2, Februar 2010
- Walterscheid, I.; Espeter, T.; Brenner, A. R.; Klare, J.; Ender, J. H. G.; Nies, H.; Wang, R.; Loffeld, O.: „Bistatic SAR Experiment with PAMIR and TerraSAR-X – Setup, Processing, and Image Results“, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 48, No. 4, Part 2, August 2010

Konferenzbeiträge

- Alteköster, C.: „Vorwärts-schauendes Bodendurchdringungsradar zur Detektion von in Straßen vergrabenen IEDs“, Symposium C-IED 2010, Mannheim, November 2010
- Behner, F.; Loffeld, O.; Nies, H.; Matthes, D.; Reuter, S.; Schiller, J.: „Development and Experiments of a Passive SAR Receiver System in Bis-tatic Spaceborne/Stationary Confirmation“, IGARSS 2010, Honolulu (USA), Juli 2010
- Berens, P.: „Data acquisition of vessel ISAR data with assistance of Automatic Identification System“, IGARSS 2010, Honolulu (USA), Juli 2010
- Berens, P.; Gebhardt, U.; Holzner, J.: „ISAR data acquisition and processing of vessels using PAMIR“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Bertuch, T.; Pamies, M.; Löcker, C.; Knott, P.; Erkens, H.; Wunderlich, R.; Heinen, S.: „System Aspects of a Low-Cost Coherent Radar System with AESA Antenna for Maritime Applications“, The Seventh International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwave, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW'10), Kharkov (UA), Juni 2010
- Bertuch, T.; Knott, P.; Löcker, C.; Pamies, M.: „Development of an Antenna Front-End for a Low-Cost Coherent Radar Demonstrator“, German Microwave Conference (GeMiC), Berlin, März 2010
- Bertuch, T.; Knott, P.; Wilden, H.; Peters, O.: „SAR Experiments Using a Conformal Antenna Array Radar Demonstrator“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Bertuch, T.; Pamies, M.; Löcker, C.; Knott, P.; Erkens, H.; Wunderlich, R.; Heinen, S.: „System aspects of a low-cost coherent radar system with AESA antenna for maritime applications“, Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), 2010 International Kharkov Symposium, Kharkov (UA), Juni 2010
- Biegel, G.; Nötel, D.; Uschkerat, U.: „Aktuelle Forschungsaktivitäten zur C-IED mittels Radar aus Sicht des FHR“, Symposium C-IED 2010, Mannheim, November 2010
- Bieker, T.: „Electronic Countermeasures against Identification by Radar Range Profiles“, SET-160 Symposium NCTI/ATR, Athen (GR), Oktober 2010
- Brenner, A. R.: „Proof of concept for airborne SAR imaging with 5 cm resolution in X-band“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Brenner, A. R.; Rößing, L.; Berens, P.: „Potential of very high resolution SAR interferometry for urban building analysis“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Briskin, S.: „Incoherent addition of ISAR images from spatially distributed receivers for classification purposes“, International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Bürger, W.; Witter, M.: „Joint mitigation of RF interference and ground clutter in an airborne surveillance radar system“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Cerutti-Maori, D.; Klare, J.; Ender, J.: „Coherent MIMO Radar For GMTI“, IGARSS 2010, Honolulu (USA), Juli 2010
- Cerutti-Maori, D.; Sikaneta, I.: „Optimum GMTI Processing for Space-based SAR/GMTI Systems – Theoretical derivation“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Cristallini, D.; Bürger, W.: „Strategies for Sub-optimal Air to Air STAP in Forward Looking Configuration“, EuRAD 2010, Paris (FR), September 2010
- Essen, H.: „A 94-GHz Synthetic Aperture Radar for UAV-

ANHANG

VERÖFFENTLICHUNGEN

- Applications", International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), 2010
- Essen, H.; Essen, J. M.; Nüßler, D.; Hommes, A.; Krebs, C.; Fatihi, N.; Buzug, T.: „Monitoring of wound healing by Millimetre wave imaging", DPG-Tagung, Dresden, März 2010
- Essen, H.; Luedtke, G.; Warok, P.; Wahlen, A.; Johannes, W.; Sommer, R.: „Foreign objects detection using millimeter wave radar", German Microwave Conference (GeMiC), Berlin, März 2010
- Essen, H.; Nüßler, D.; Wahl, N. v.; Heinen, S.; Sieger, S.: „Foliage penetration up to millimeterwave frequencies", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010
- Essen, H.; Nüßler, D.; Krebs, C.; Schimpf, H.; Johannes, W.; Wahlen, A.: „Polarimetric millimetre wave SAR for precision farming applications", SPIE Conference on Security, Defence + Sensing 2010, Toulouse (FR), September 2010
- Essen, H.; Sieger, S.: „A dual frequency millimetre wave radar for cloud characterization", SPIE Conference on Security, Defence + Sensing 2010, Toulouse (FR), September 2010
- Essen, H.; Wahlen, A.; Johannes, W.; Sommer, R.: „Wide angle SAR for stationary applications", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010
- Essen, H.; Wahlen, A.; Sommer, R.; Johannes, W.: „Ground based Millimeter-wave SAR for the Evaluation of Target-/Background Signatures", EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Galvis Salzburg, C.; Bertuch, T.; Vecchi, G.: „Improved efficiency of spatial mixed-potential Green's function computation for coated cylinders", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010
- Gebhardt, U.; Berens, P.; Holzner, J.: „ISAR Imaging of Ground Moving Vehicles in a Curve", International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Gómez-Díaz, J. S.; Álvarez Melcón, A.; Bertuch, T.: „Antenas CRLH LWA basadas en Guías de Onda: Análisis Teórico y Demostración Experimental", XXV Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio URSI, Bilbao (Pais Vasco) (ES), September 2010
- Gómez-Díaz, J.S.; Álvarez Melcón, A.; Bertuch, T.: „An Iteratively-Refined Circuitual Model of CRLH Leaky-Wave Antennas derived from a Mushroom Structure", IEEE AP-S International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Toronto (CA), Juli 2010
- Gonzalez-Huici, M. A.; Uschkerat, U.: „GPR modeling for landmine detection", EMTS 2010, 20th International Symposium on Electromagnetic Theory, Berlin, August 2010
- Hantscher, S.; Lang, S.; Hägelen, M.; Essen, H.: „A new security concept on airports using a rotating W-band person scanner within a sensor network", Future Security 2010, Berlin, September 2010
- Hantscher, S.; Lang, S.; Hägelen, M.; Essen, H.; Tessmann, A.: „Sensor fusion based security concept on airports with a rotating millimetre wave person scanner", SPIE Conference on Security, Defence + Sensing 2010, Toulouse (FR), September 2010
- Hantscher, S.; Lang, S.; Hägelen, M.: „W-band person scanner with circular aperture for security applications", International Forum on THz-Spectroscopy and Imaging, Kaiserslautern, März 2010
- Hantscher, S.; Lang, S.; Hägelen, M.; Essen, H.: „94GHz person scanner

- with circular aperture as part of a new sensor concept on airports", International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Haumtratz, T.; Schiller, J.; Worms, J.: „Classification of air Targets including a rejection stage for unknown targets", International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Heckenbach, J.; Kuschel, H.; O'Hagan, D.; Schell, J.; Ummenhofer, M.: „Passive Radar (Tutorials)", International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Heckenbach, J.; Kuschel, H.; O'Hagan, D.; Schell, J.; Ummenhofer, M.: „Signal reconstruction as an effective means of detecting targets in a DAB-based PBR", International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Heckenbach, J.; Kuschel, H.; O'Hagan, D.; Ummenhofer, M.: „On the resolution performance of passive Radar using DVB-T Illuminations", International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Heckenbach, J.; Kuschel, H.; Schell, J.: „CORA, a Software defined Passive Radar and its Application", SET-160 Symposium NCTI/ATR, Athen (GR), Oktober 2010
- Holzner, J.; Gebhardt, U.; Berens, P.: „Autofocus for high resolution ISAR imaging", EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Klare, J.; Saalman, O.: „MIRA-CLE X: A new Imaging MIMO-Radar for Multi-Purpose Applications", EuRAD 2010, Paris (FR), September 2010
- Klare, J.; Saalman, O.; Wilden, H.; Brenner, A. R.: „First Experimental Results with the Imaging MIMO Radar MIRA-CLE X", EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Klare, J.; Saalman, O.; Wilden, H.; Brenner, A. R.: „Environmental Monitoring with the Imaging MIMO Radars MIRA-CLE and MIRA-CLE X", IGARSS 2010, Honolulu (USA), Juli 2010
- Klemm, R.: „The role of the course angle in convoy length estimation", EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Knott, P.; Heinen, S.; von Wahl, N.: „Design of a Dual-Focus Offset Reflector Antenna for a Rotating Mirror Microwave Scanner", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010
- Knott, P.; Löcker, C.; Algermissen, S.; Grüner, W.: „Research on Vibration Control and Structure Integration of Antennas in NATO/RTO/SET-131", IEEE AP-S International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Toronto (CA), Juli 2010
- Kohlleppel, R.: „Detection in heterogeneous clutter by filter output prediction", IEEE International Radar Conference, Washington, (USA), Mai 2010
- Krebs, C.; Hommes, A.; Nüßler, D.; Brauns, R.: „High resolution measurements to determine the permittivity in artificial structures", IRMMWTHZ 2010, Rom (IT), September 2010
- Kuschel, H.; O'Hagan, D.: „The History of Passive Radar", International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Löcker, C.; Bertuch, T.; Pamies, M.; Knott, P.: „Antenna Front-End Concepts of a Low-Cost Coherent Radar Demonstrator for S-Band Application", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010
- Löcker, C.; Pamies, M.; Bertuch, T.; Knott, P.; Erkens, H.; Wunderlich, R.; Heinen, S.: „Antenna front-end concepts of a low-cost coherent radar demonstrator for S-band application", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010

- Loecker, C.; Pamies, M.; Bertuch, T.; Knott, P.; Erkens, H.; Wunderlich, R.; Heinen, S.: „Antenna Front-End Concepts of a Low-Cost Coherent Radar Demonstrator for S-Band Application“, European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010
- Magnard, C.; Meier, E.; Small, D.; Essen, H.; Brehm, T.: „Processing of MEMPHIS millimeter wave multi-baseline INSAR data“, IGARSS 2010, Honolulu (USA), Juli 2010
- Maresch, Anika: „Asymptotically efficient estimators for the K-distribution“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Maresch, Anika: „Simulation of (m1, m2)-dependent random fields with K-distributed marginals“, IGARSS 2010, Honolulu (USA), Juli 2010
- Mathy, T.; Matthes, D.: „Multifunctional RF-System for Generation of Real and Synthetic HRR Radar Profiles“, SET-160 Symposium NCTI/ATR, Athen (GR), Oktober 2010
- McDonald, M.; Cerutti-Maori, D.; Damini, A.: „Characterisation and Cancellation of Medium Grazing Angle Sea Clutter“, EuRAD 2010, Paris (F), September 2010
- Milin, J.-L.; Moore, S.; Bürger, W.; Tribouloy, P.-Y.; Royden, M.; Gerster, J.: „AMSAR – A France-UK-Germany success story in active array radar“, Array 2010, Boston (USA), Oktober, 2010
- Murk, A.; Stähli, O.; Mätzler, C.; Canavero, M.; Oechslin, R.; Wellig, P.; Nötel, D.; Essen, H.: „Polarimetric imaging with the 91 GHz radiometer SPIRA“, SPIE Conference on Security, Defence + Sensing 2010, Toulouse (F), September 2010
- Pamies, M.; Löcker, C.; Bertuch, T.; Knott, P.: „Development of an Antenna Front-End for a Low-Cost Coherent Radar Demonstrator“, German Microwave Conference (GeMiC), Berlin, März 2010
- Pamies, M.; Löcker, C.; Bertuch, T.; Knott, P.; Erkens, H.; Wunderlich, R.; Heinen, S.: „Development of an Antenna Front-End for a Low-Cost Coherent Radar Demonstrator“, German Microwave Conference (GeMiC), Berlin, März 2010
- Prünfte, L.: „Application of Compressed Sensing to SAR/GMTI-Data“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Ribalta, A.; Röbing, L.; Berens, P.; Hägelen, M.; Wahlen, A.: „High Resolution Millimeter-Wave SAR Image Generation“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Ribalta, A.; Röbing, L.; Berens, P.; Hägelen, M.; Wahlen, A.: „High Resolution FMCW-SAR Image Generation“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Rosebrock, J.: „Absolute Attitude From Monostatic Radar Measurements of Rotating Objects“, EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Schiller, J.; Schumacher, R.; Rosenbach, K.: „Classification concepts for air and ground targets to increase the ATR performance“, SET-160 Symposium NCTI/ATR, Athen (GR), Oktober 2010
- Schimpf, H.; Fuchs, H.-H.: „Analysis of ATR Features for non-cooperative ground-based Classification of Ships“, International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Schimpf, H.; Fuchs, H.-H.; Maresch, A.: „The classification of ships in the presence of multipath“, SET-160 Symposium NCTI/ATR, Athen (GR), Oktober 2010
- Shoykhetbrod, O., Nüßler, D.: „Switchable power combining network for 35GHz“, GEMIC 2010, Berlin (Deutschland), März 2010
- Uschkerat, U.: „Performance evaluation of a GPR System for mine Detection using a 3D-SAR algorithm“, International Radar Symposium (IRS 2010), Vilnius (LT), Juni 2010
- Uschkerat, U.; Nötel, D.; Biegel, G.: „Aktuelle Forschungsaktivitäten zur

- C-IED mittels Radar aus Sicht des FHR", Symposium C-IED 2010, Mannheim (GE), November 2010
- Uschkerat, U.; Rheinhard, T.: „MOBIDAR, a versatile mobile Radar system for NCI Data Collection", SET-160 Symposium NCTI/ATR, Athen (GR), Oktober 2010
- Vaupel, T.: „A Hybrid Space-Spectral Domain Approach for Quasi-3D Structure Analysis in Multilayered Media", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010
- Vaupel, T.: „A Fast Space-Spectral Domain Solver For Quasi-3D Structures With Arbitrary Vertical Conductors in Multilayered Media", EMTS 2010 20th International Symposium on Electromagnetic Theory, Berlin, August 2010
- Vaupel, T.: „Fast Integral Equation Solution Techniques For Planar-3D Structures in Multilayered Media", Piers 2010, Cambridge (USA), Juli 2010
- Wahl, N.; Heinen, S.; Essen, H.: FHR; Krüll, W.; Tobera, R.; Willms: Univ. Duisburg-Essen: „An integrated approach for early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors", Forest Fires 2010, Kos (GR), Juni 2010
- Walterscheid, I.; Espeter, T.; Klare, J.: „Bistatic Spaceborne-Airborne Forward-looking SAR", EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Walterscheid, I.; Espeter, T.; Klare, J.; Brenner, A. R.; Ender, J. H. G.: „Potential and limitations of forward-looking bistatic SAR", IGARSS 2010, Honolulu (USA), Juli 2010
- Wang, R.; Loffeld, O.; Nies, H.; Medrano Ortiz, A.; Walterscheid, I.; Espeter, T.; Klare, J.; Ender, J. H. G.: „Focusing results and analysis of advanced bistatic SAR experiments in spaceborne or airborne /airborne or stationary configurations", EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Weinmann, F.: „EM Simulation of Scattered Field Data for High Resolution Range Profiles of Real-Scale Aircraft and Analysis of Scattering Centers", SET-160 Symposium NCTI/ATR, Athens (GR), Oktober 2010
- Weinmann, F.: „Frequency Dependent RCS of a Generic Airborne Target", EMTS 2010 20th International Symposium on Electromagnetic Theory, Berlin, August 2010
- Weinmann, F.; Nitschkowski, J.: „A SBR Code with GO-PO for Calculating Scattered Fields from Coated Surfaces", European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Barcelona (ES), April 2010
- Weinmann, F.; Vaupel, T.: „SBR Simulations and Measurements for Cavities filled with Dielectric Material", IEEE AP-S International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Toronto (CA), Juli 2010
- WeiB, M.; Gilles, M.: „Initial ARTINO Radar Experiments", EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Wilden, H.; Brenner, A. R.: „The SAR/GMTI Airborne Radar PAMIR: Technology and Performance", IMS 2010, Anaheim (USA), Mai 2010
- Wilden, H.; Klare, J.; Fröhlich, A.; Krist, M.: „MIRA-CLE, an experimental MIMO radar in Ka Band", EUSAR 2010, Aachen, Juni 2010
- Yang, B.; Yarovoy, A. G.; Shoykhetbrod, O.; Nüßler, D.: „Experimental verification of Ka-band LTCC antenna", EuRAD 2010, Paris (FR), September 2010

**Sonstige Vorträge auf wissenschaftlichen
Veranstaltungen**

- | | | |
|---|---|--|
| <p>Imbembo, E.; Uschkerat, U.: „SAR System Design Constraints“, 2. Cropsense Workshop, Jülich, Oktober 2010</p> | <p>Waveform Diversity-Betrieb in bildgebenden Radaren im K-Band“, EEFCOM 2010, Ulm, Juni 2010</p> | <p>Bevölkerung“, 1. Expertentreffen Weltraumlage, Kalkar, April 2010</p> |
| <p>Klare, J.: „Wetterunabhängige kontinuierliche Geländeüberwachung mittels robuster MIMO-Radarsysteme“, Kolloquiumsvortrag im Rahmen der Kolloquiumsserie „Neue Ideen und Konzepte in der Geoinformatik und Fernerkundung“, TU Clausthal, April 2010</p> | <p>Leushacke, L.: „Radarbeobachtung von Space Debris“, Deutsches Museum, Bonn, Januar 2010</p> | <p>Leushacke, L.: „Technische Möglichkeiten des TIRA Systems im Rahmen Rakettenabwehr“, Arbeitstreffen mit BWB, EADTF, Wachtberg, Oktober 2010</p> |
| <p>Klare, J.: „Abbildendes Radar auf luftgetragenen Plattformen“, DFG-Rundgespräch „Unbemannte autonom navigierende Flugsysteme (UAS) - Technologische Herausforderung und Chancen für die Geodatengewinnung“, Rostock, Januar 2010</p> | <p>Leushacke, L.: „TIGRA09 – FHR goals“, DEU-FRA Final Review on „GRAVES-TIRA SSA Cooperation, Wachtberg, März 2010</p> | <p>Uschkerat, U.; Alteköster, C.; Schumacher, R.; Briskens, S.; Imbembo, E.: „Radar Signal Processing for Bio Mass Estimation of Barley Ears“, 2. Cropsense Workshop, Jülich, Oktober 2010</p> |
| <p>Krist, M.; Wilden, H.; Valenzuela, A.: „Design und Charakterisierung alternativer Chirp-basierter Signalgenerierungsschaltungen für</p> | <p>Leushacke, L.: „Das TIRA System – Fähigkeiten und Einsatzmöglichkeiten Weltraumlage“, 9. Sitzung der Bw AG Weltraum, Wachtberg, April 2010</p> | <p>Vaupel, T.: „Efficient Characterization of Planar-3D Structures With Vertical Currents Crossing an Arbitrary Number of Dielectric Layers“, Cost Assist Workshop, Dubrovnik (HR), September 2010</p> |
| <p>Luft- und Weltraumrecht, Köln, April 2010</p> | <p>Leushacke, L.: „Space Debris – Naturwissenschaftlich-technische Aspekte“, Sitzung des DGLR Fachbereichs</p> | <p>Weinmann, F.; Carayol, Q.: „Test Case #7 ‚Dielectric Cube‘“, Workshop Radar Signatures 2010, Toulouse (FR), November 2010</p> |
| <p>Leushacke, L.: „Schutz des eigenen Territoriums und der</p> | | |

Sonstige Veröffentlichungen

- Essen, H.: „Deutsch-Schweizerische Forschungskooperation im Bereich Aufklärung und Überwachung“, Strategie und Technik, Dezember 2010
- Essen, H.: „A 94 GHz Synthetic Aperture Radar for UAV Applications“, European Journal of Navigation – DGON, Oktober 2010
- Essen, H.: „Millimeter Wave Sensors for the non-invasive Inspection of Persons“, European Journal of Navigation – DGON, August 2010
- Essen, H.: „Millimeterwellensensoren zur nicht invasiven Personenkontrolle“, Technik in Bayern, Februar 2010
- Essen, H.: „Airborne Remote Sensing at Millimeter Wave Frequencies“, Radar Remote Sensing of Urban Areas, Uwe Soergel (Ed.), pp. 249-271, 2010
- Hommel, A.: „Detektion von Projektilen durch Millimeterwellen-Radar zur Schützenlokalisierung“, Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2009, Bundesministerium der Verteidigung (Hrsg.), S. 18-19, Juni 2010
- Knott, P.: „Antennen wie eine zweite Haut“, Internationales Magazin für Sicherheit (IMS), No. 2, Juni 2010

GREMIENTÄTIGKEITEN

Berens, P.:

- Mitglied im Program Board EUSAR 2010

Brenner, A.:

- Mitglied im Program Board EUSAR 2010

Ender, J.:

- Senior Member des IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers)
- NATO Research and Technology Organisation (RTO) Sensor & Electronics Technology (SET) Panel Member at Large
- 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 5. Future Security Conference 2010 und IRS 2010
- 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
- Mitglied im Program Board EUSAR 2010

- Mitglied im Fachausschuss 7.3 „Mikrowellentechnik“ der ITG im VDE
- Mitglied im Komitee der Forschungsschule MOSES
- Mitglied im Review Board EURAD 2010 und IGARSS 2010

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.

Rößing, L.:

- Mitglied im Program Board EUSAR 2010

Schiller, J.:

- Mitglied im technischen Programmkomitee der IRS 2010
- Chairman of NATO-SET-160-Symposium on „NCI/ATR in Air, Ground and Maritime Applications Based on Radar and Acoustics“, Athen (GR), Oktober 2010

Schumacher, R.:

- Mitglied im Technical Programme Committee NATO-SET-160 Symposium

Uschkerat, U.:

- Mitglied im projektbegleitenden Ausschuss: Abstützung mobiler Baumaschinen II“ Oktober 2010

Weinmann, F.:

- Chairman beim Workshop EM ISAE 2010, Toulouse (FHR)

Weiß, M.:

- Program Chairman EUSAR 2010

AUSZEICHNUNGEN

Abbad, S.:

Auszeichnung für die beste Arbeit mit regionalem Bezug, verliehen durch die Sparkassenstiftung „Zukunft Kreis Ahrweiler“ für die Diplomarbeit: „Bestimmung und Charakterisierung des Reflexionskoeffizienten unterschiedlicher menschlicher Hauttypen unter Einfluss von Cremes und Salben“

Dahl, C.:

Auszeichnung durch den VDE Rhein-Ruhr e. V. für eine hervorragende Bachelor-Arbeit: „Entwurf und Verifikation eines unterabtastenden digitalen Radarempfängers mit weitem Eingangsfrequenzbereich“

Schiller, J.:

NATO SET Panel Excellence AWARD 2010 „For his excellent contributions to numerous SET Panel activities on radar science and technologies“

Wagner, C.:

Best Student Paper Award, EOS 2010, Paris, „Terahertz Signatures for Safety and Security Applications“

VERANSTALTUNGEN

Tagungsorganisation

CCG-Seminar SE 2.40 „Überwachung und Aufklärung mit Radar – Methoden, Systeme und Perspektiven“, Wachtberg, 20. - 22. April 2010

„8th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2010)“, 7. - 10. Juni 2010

„2nd International Summer School on Radar / SAR“, Remagen, 17. - 23. Juli 2010

Beteiligung an Messen und Fachausstellungen

Gemeinsamer Messestand mit dem Fraunhofer-Verbund Verteidigung und Sicherheit bei dem DWT-Forum „Forschung und Technologie“, 13. - 14. April 2010, Bonn

Beteiligung am Gemeinschaftsstand der Wissenschaftsregion Bonn bei der „Hannover Messe Industrie (HMI)“ vom 19. bis 23. April 2010, Hannover

Messestand bei der Absolventenmesse „Campus & Praxis“ der Fachhochschule Koblenz, RheinAhrCampus, 15. April 2010, Remagen

Beteiligung am Gemeinschaftsstand des Landes Nordrhein-Westfalen bei der „Internationalen Luft- und Raumfahrt Ausstellung (ILA)“, vom 8. bis 13. Juni 2010, Berlin

Gemeinsamer Messestand mit Fraunhofer IAF bei der „European Microwave Week“, 26. September - 1. Oktober 2010, Paris, Frankreich

Messestand beim „Unternehmenstag“ der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 10. November 2010, St. Augustin

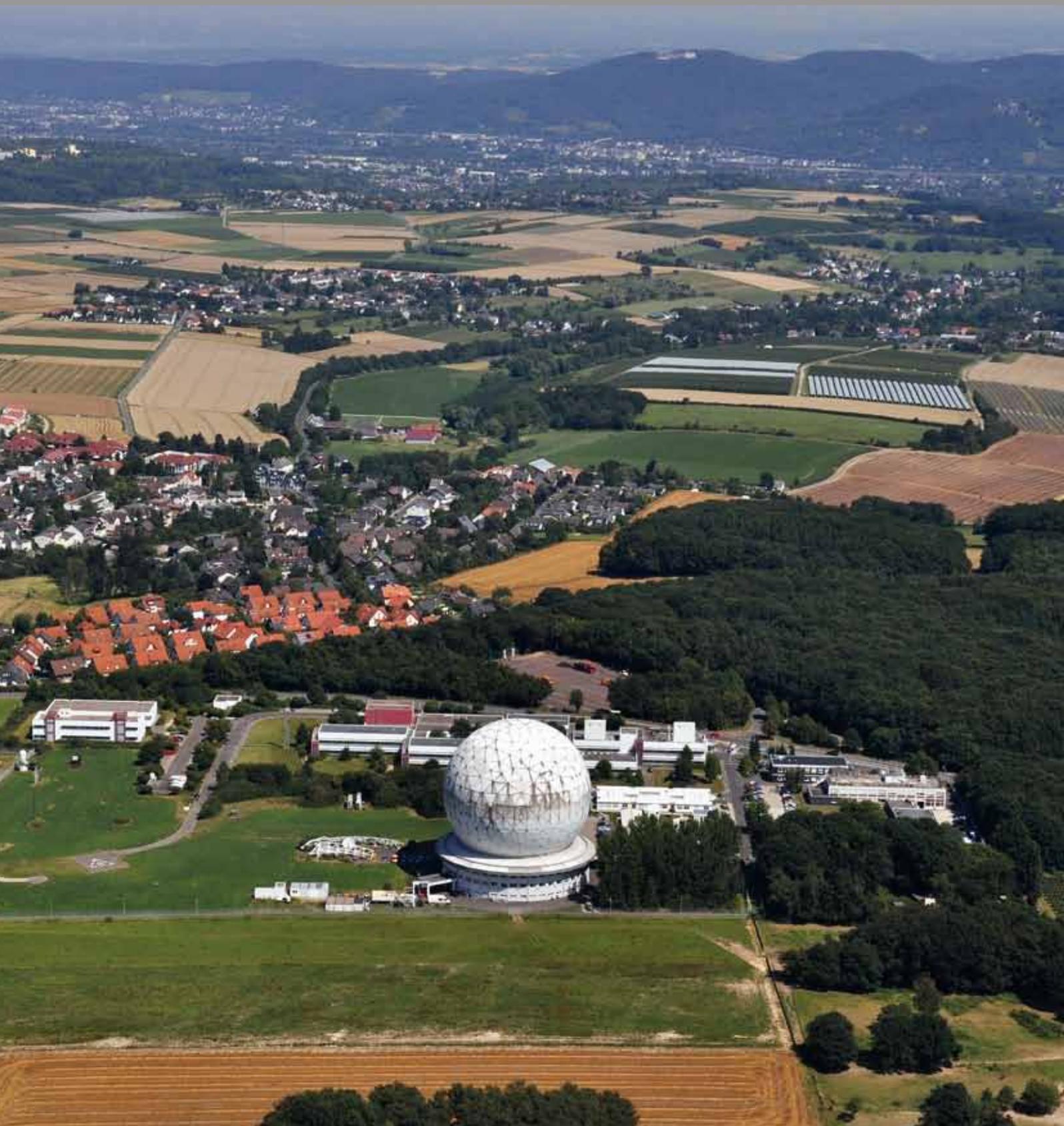
Messestand bei der Firmenkontaktmesse „Bonding“, 1. Dezember 2010, Aachen

PRESSESPIEGEL

Datum	Titel	Medium
05.01.2010	Interview: Dr. Essen zu Körperscannern	Deutschlandfunk
09.01.2010	Ein möglichst genaues Bild ohne allzu tiefe Einblicke	FAZ
14.01.2010	Neue Hülle kommt ein Jahr später	General-Anzeiger
20.01.2010	Großradaranlage in Wachtberg	Radio Bonn/Rhein Sieg
20.01.2010	Vortrag über Weltraumschrott	General-Anzeiger
22.01.2010	Miniflieger bekommt Adleraugen	General-Anzeiger
27.01.2010	Von Brunch bis Betriebsbesichtigung	General-Anzeiger
01.02.2010	Personenscanner mit Millimeterwellen in Sicherheitsbereichen	Technik in Bayern
02.02.2010	alemania prueba nuevos escneres corporales a distancia	Deutsche Welle
08.02.2010	Personenscanner	Deutsche Welle
19.02.2010	Die Sicherheit als Zukunftsmarkt	General-Anzeiger
19.02.2010	Den Duft von Gefahrgut erkennen	Bonner Rundschau
09.03.2010	Wie viel Sicherheit verträgt die Demokratie?	WDR Quarks & Co
13.03.2010	Mit Technik gegen Terror?	ARD Ratgeber Technik
18.03.2010	Wettlauf um die besten Köpfe hat begonnen	Kölnische Rundschau
24.04.2010	Ingenieurinnen dringend gesucht	General-Anzeiger
28.04.2010	Radarsystem soll Flugzeugstarts sicherer machen	Westfälische Rundschau
28.04.2010	Radar überwacht Böschungen	Goslarscher Zeitung
04.05.2010	Tarnen, täuschen und verschleiern	General-Anzeiger
21.05.2010	Transall kreist über dem Ländchen	General-Anzeiger
25.05.2010	Ein Radar überwacht die Startbahn	General-Anzeiger
08.06.2010	Moderne Radarsysteme – Antennen wie eine zweite Haut	IMS Sonderausgabe ILA
08.06.2010	Wegweisend	General-Anzeiger
16.06.2010	Radaraugen am Himmel schauen extra scharf hin	Aachener Zeitung

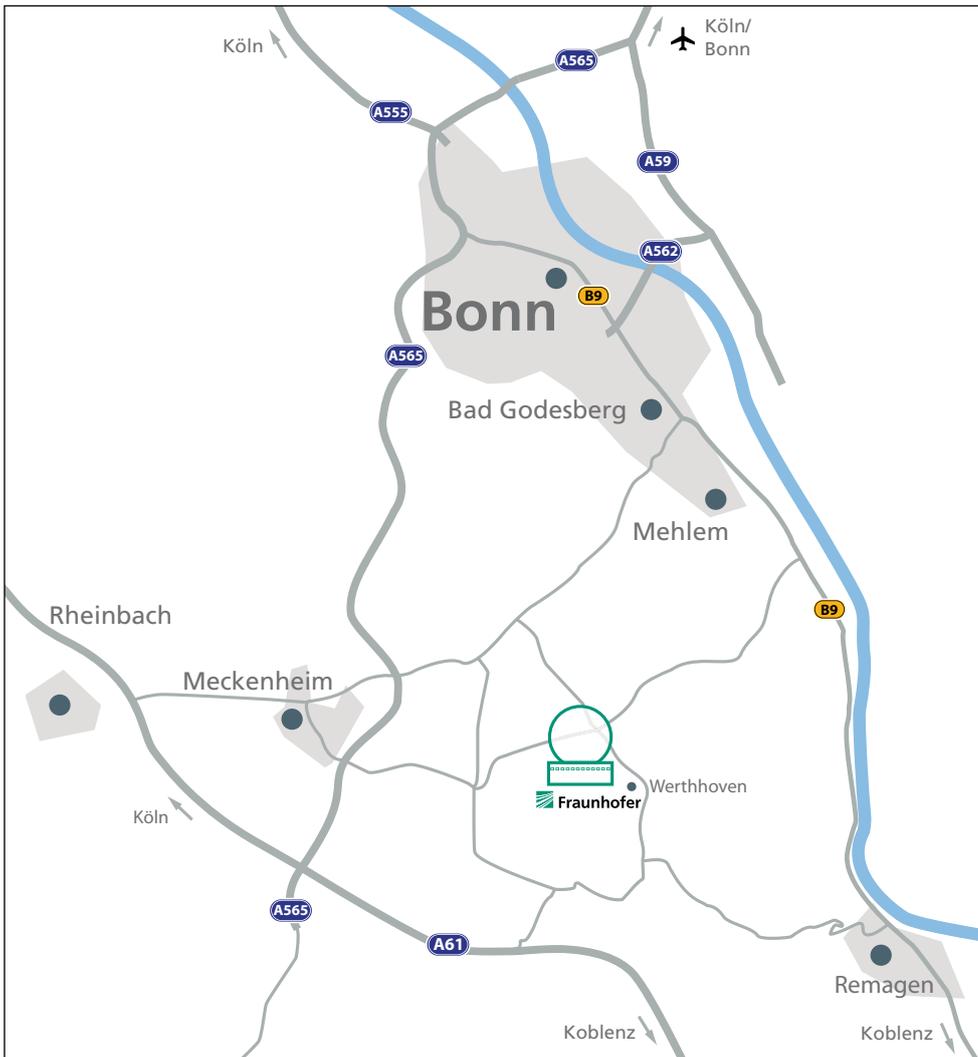
Datum	Titel	Medium
02.07.2010	Der Müll im All wird zur Gefahr für die Raumfahrt	VDI-Nachrichten
20.07.2010	ESA picks Indra Espacio for Spacetracking Demo Radar	ESA News
21.07.2010	Europa will das All per Radar überwachen	Spiegel Online
21.07.2010	ESA installiert kosmisches Frühwarnsystem	Hamburger Abendblatt
23.07.2010	ESA develops radar to watch for space hazards	ESA News
27.07.2010	Wissen was im All passiert – ESA Programm zur Weltraumlageerfassung	ESA News
04.08.2010	Großraumradar wurde abgeschaltet	General-Anzeiger
06.08.2010	Wettermantel für Weltraumohr	Kölnische Rundschau
07.08.2010	Dieser Hubschrauber fliegt ohne Pilot	Mittelbayerische Zeitung
15.08.2010	Durchblick bei Qualm, Staub und Nebel	General-Anzeiger
24.08.2010	Unbemannter Hubschrauber erforscht schwerzugängliche Gebiete	Elektronikpraxis.de
25.08.2010	Eine Spürnase, die fliegen kann	Kölnische Rundschau
30.09.2010	Wissen was im All passiert: ESA baut ein Programm zur Weltraumlageerfassung auf	IMS
02.10.2010	Viel Bewegung im Gewerbegebiet	General-Anzeiger
02.10.2010	Halfpipe erinnert an Ansgar Nierhoff	Welt-Online
02.10.2010	In der rheinischen Schweiz	Welt-Online
06.11.2010	Objekte auf Landebahnen im Visier	Bonner Rundschau
10.11.2010	Großradar ist abgeschaltet	General-Anzeiger
10.11.2010	Fünf Millionen Euro für Erneuerung der Kugel	General-Anzeiger-Online
02.12.2010	Seltenes Licht-Spektakel an der Kugel	General-Anzeiger
22.12.2010	Auszeichnung für Christoph Dahl	Münstersche Zeitung

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

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

Anreise mit dem Auto

über die Autobahn A565 zur Ausfahrt 11 „Meckenheim-Merl“, danach der Beschilderung folgen (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 mit Bahn oder Taxi (ca. 25 km) oder mit Taxi direkt vom Flughafen (ca. 50 km)

Anreise mit dem Bus ab Bad Godesberg

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

IMPRESSUM

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik
und Radartechnik FHR
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

Anaglyphen-Bilder

S. 6, S. 34 Abb. 1, S. 36 Abb. 1, S. 43 Abb. 3, S. 48 Abb. 1,
S. 58 Abb. 1, S. 64, S. 70 Abb. 1, S. 71 Abb. 2, S. 74 Abb. 1,
S. 80 Abb. 1, S. 81 Abb. 2 u. 3, S. 83 Abb. 3:
© Jens Fiege, Fraunhofer FHR

Titel, S. 14, 16 Abb. 1, 17 Abb. 2 u. 3, 24:

© Fraunhofer-Gesellschaft

Standbilder aus dem Fraunhofer-3D-Imagefilm „Dimensionen
der Forschung“ erstellt durch KUK Film GmbH, München

Stereoskopische Aufbereitung: 3DStereoServices.com

Redaktion

Dipl.-Volksw. Jens Fiege (Leitung)
Dr. rer. nat. Tanja Bieker
Dr.-Ing. Joachim Ender

Layout und Satz

Dipl.-Volksw. Jens Fiege
Katharina Bensinger

Lektorat

Sabine Schaaf

Sonstige Bilder

© Fraunhofer FHR, außer:

S. 3: © Schafgans DGPh

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

S. 18: © US Army

S. 20 Abb. 1: © The Department of National Defense, Canada

S. 22, S. 28 Abb. 1 Erde: © ESA/Hubble

S. 25 Abb. 2, Abb. 3: © SIRPA AIR (France)

S. 40: © ISAF Public Affairs

S. 46: © istockphoto.com

S. 54: © istockphoto.com

S. 56 Abb. 1: © MD Robotics Ltd.

S. 66 Abb. 1: © ARGE F125

S. 79 Abb. 3: © Gisela Dölling

S. 83 Abb. 2: © Thales Electron Devices

S. 109: © Wolfgang Klatt

Alle Rechte vorbehalten.

Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der
Redaktion.

Wachtberg, Mai 2011

Future Security

Security Research Conference



FRAUNHOFER GROUP FOR DEFENSE AND SECURITY



Fraunhofer

VVS

6TH FUTURE SECURITY, BERLIN, SEPTEMBER 5TH – 7TH, 2011

VENUE

Vertretung des Landes Nordrhein-Westfalen beim Bund
Hiroshimastraße 12-16
10785 Berlin-Tiergarten, Germany

CONFERENCE CHAIRMAN

Dr.-Ing. Joachim Ender, Fraunhofer FHR

PROGRAM MANAGEMENT

Dipl.-Volksw. Jens Fiege, Fraunhofer FHR

CONFERENCE MANAGEMENT

Birgit Bindnagel, Fraunhofer VVS

REGISTER HERE: WWW.FUTURE-SECURITY.EU

