



Fraunhofer
FHR

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZPHYSIK UND RADARTECHNIK FHR



JAHRESBERICHT
2014

*Am 2. September wurde die
Kappe des alten Radoms abge-
hoben. Mehr zur Radomerneue-
rung auf den Seiten 86 bis 91.*

JAHRESBERICHT
2014

VORWORT

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

am 29. Juli 2014 startete eine Ariane 5 vom Weltraumbahnhof in Kourou. Sie brachte das ATV »Georges Lemaître« in den Weltraum und mit ihm mehrere Tonnen Versorgungsgüter für die Internationale Raumstation. Im Gegensatz zu den ATV-Starts zuvor, war unser Kompetenzteam Weltraumlage nicht mit von der Partie: Die aufwändigen Modernisierungsarbeiten an unserem Radar TIRA ließen eine Missionsunterstützung bedauerlicherweise nicht zu.

Dennoch ist das Fraunhofer FHR selbstverständlich nicht untätig gewesen. Weltraum ist und war immer ein Schwerpunktthema des Institutes. Gemeinsam mit unseren Partnern vom nationalen Weltraumlagezentrum in Uedem am Niederrhein, dem DLR Raumfahrtmanagement und der Europäischen Weltraumagentur arbeiteten wir an neuartigen Verfahren zur besseren Überwachung und Aufklärung des Weltraums als Kernelemente für eine umfassende und stets aktuelle Kenntnis der Weltraumlage. Denn ein »Blick nach oben« ist wichtiger als je zuvor. Weltraumwetter und Space debris – landläufig auch Weltraummüll genannt – sind Risiken für unsere raumgestützte Infrastruktur, auf die sich unsere Gesellschaft in zunehmendem Maße verlässt. Das Fraunhofer FHR sieht es daher als seine Aufgabe, mit seiner Forschung für eine bessere Leistung und höhere Zuverlässigkeit dieser Systeme zu sorgen. Mit einem neuen Großauftrag zum Aufbau eines neuen Weltraumüberwachungsradars wird die Weltraumkompetenz am Fraunhofer FHR und in Deutschland weiter ausgebaut.

Aber auch auf anderen Gebieten tragen wir mit unserer Forschung im Bereich der Hochfrequenzphysik dazu bei, Systeme zuverlässiger und Anwendungen sicherer zu machen. Auf der WindEnergy 2014 konnten wir gemeinsam mit unserem Industriepartner den ersten Prototypen unseres Systems PARASOL vorstellen. Es schaltet die Kollisionswarnbefeuerung auf Windenergieanlagen bei Annäherung eines Flugzeugs, also bei Bedarf ein. Der Vertrieb des Systems startet in 2015. Im Bereich der Entwicklung elektromagnetischer Modellierungsverfahren untersuchten unsere Wissenschaftler den Einfluss von Windenergieanlagen auf Radar. Dazu wurde eigens ein neues Simulationstool entwickelt und mittels Feldtests validiert.

Natürlich veranstalteten wir auch in 2014 unsere Hausmesse, das Wachtberg-Forum, auf dem wir unsere aktuellen Arbeiten in größerem Umfang und entspannter Atmosphäre präsentierten. So konnten sich Kunden und Partner wieder ein Bild über die jüngsten Neuerungen des Institutes machen. An dieser Stelle möchte ich allen Kooperationspartnern des Fraunhofer FHR



danken – allen voran den Institutionen, die unsere Forschungsarbeiten gefördert haben, und unseren Partnern aus der Wirtschaft.

Ein weiteres besonderes Ereignis für das Fraunhofer FHR in diesem Jahr war sicherlich die sehr erfolgreiche Evaluation durch anerkannte Experten in unseren Forschungsfeldern sowie Vertretern von Bundes- und Landesministerien. Der letzte wichtige Meilenstein auf unserem Weg der Integration in die Fraunhofer-Gesellschaft, den wir – noch als FGAN-Institut – im Jahr 2009 begonnen haben. Wir freuen uns, voll integriertes Mitglied der Fraunhofer-Familie zu sein und unseren Partnern mit einem erweiterten Angebot zur Verfügung zu stehen.

So haben wir in diesem Jahr den ersten am Fraunhofer FHR entworfenen Chip auf Basis von Silizium-Germanium an den Kunden ausgeliefert und damit ein wichtiges Zwischenziel erreicht. Als Institut der Fraunhofer-Gesellschaft, mit dem Anspruch, anwendungs- und nutzenorientiert zu arbeiten, möchten wir unseren Kunden alles aus einer Hand bieten. Der Weg ist noch nicht zu Ende gegangen und wir arbeiten kontinuierlich daran, unsere Kompetenz zu erhalten und weiter auszubauen. Nur so können wir auf den Märkten von morgen bestehen.

Neben unserer Mission, gemeinsam mit der Wirtschaft die Entwicklung neuer Produkte zum Nutzen der Gesellschaft voran zu treiben, ist uns auch die Ausbildung qualifizierter Nachwuchswissenschaftler ein besonderes Anliegen. Die vom Institut begründete und inzwischen weltweit bekannte »International Summer School on Radar and SAR« wurde zum sechsten Mal abgehalten und erfreute sich dem Besuch einer großen Zahl junger Wissenschaftler aus aller Welt.

Mit diesem Jahresbericht möchten wir Ihnen einen Einblick in unsere spannenden Projekte geben. Ich lade Sie daher ein, liebe Leserinnen und Leser, sich einen Überblick über die vielfältigen Aktivitäten des Fraunhofer FHR zu verschaffen und wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.

Joachim Ender, April 2015

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

INHALTSVERZEICHNIS

2 ÜBERBLICK

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

14 KEYNOTE

- 14 Ein kurzer Chirp

18 GESCHÄFTSFELDER IM ÜBERBLICK

- 18 Geschäftsfelder im Überblick

20 VERTEIDIGUNG

- 24 Einfluss von Windenergieanlagen auf militärische Radare
- 26 Mono- und bistatisches SAR/GMTI
- 28 MIRANDA-35: Deutsch-schweizerische Systemdemonstration
- 30 MARLENE: Untersuchung der Ausbreitungsbedingungen über See
- 32 TIPPSI – Infrastruktur schützen mit Millimeterwellen
- 34 Echtzeitverarbeitung für luftgetragene Radare
- 36 Intelligente Raumzeitkodierung mit Wellenformdiversität
- 38 Wissensbasierte Bewegtzientdeckung

40 WELTRAUM

- 44 Weltraummüll: Wissen und Wissenslücken
- 46 Bestimmung von Lage und Lageänderung von Weltraumobjekten

48 VERKEHR

- 52 Antennen für Automotive Radar

54 UMWELT

- 58 OASE - Vogelbeobachtung in Offshore-Windparks
- 60 Präzise Wärmebilder aus der Luft

62 SICHERHEIT

- 66 Radar Warn- und Informationssystem (RAWIS)
- 68 Schnelle Aufklärung mit dem »USBV-Inspektor«

70 PRODUKTION

- 74 Präzisionsmessungen im Stahlwerk
- 76 Bausubstanzuntersuchung

78 EMERGING TECHNOLOGIES – ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

- 80 Von der Idee zum ersten SiGe-Chip am FHR
- 82 3D-Rekonstruktion urbaner Szenen mit MAMB-Interferometrie
- 84 SARABAND – Antennentechnologie für Breitbandkommunikation

86 AUS DEM INSTITUT

- 86 Eine neue Hülle für das Weltraumbeobachtungsradar TIRA
- 92 Besondere Ereignisse 2014

96 FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

- 96 Überblick

97 FRAUNHOFER-ALLIANZEN

- 97 Allianz Space
- 97 Allianz Vision

98 FRAUNHOFER-VERBÜNDE

- 98 Verbund Verteidigungs- und Sicherheitsforschung
- 99 Verbund Mikroelektronik

100 ANHANG

- 100 Ausbildung und Lehre
- 104 Veröffentlichungen
- 112 Gremientätigkeiten
- 114 Auszeichnungen
- 115 Veranstaltungen
- 116 Pressespiegel

118 STANDORTE

120 IMPRESSUM

ÜBERBLICK



Foto von Fraunhofer FHR Gebäuden und Weltraumbeobachtungsradar TIRA in Wachtberg.

FRAUNHOFER FHR IM PROFIL

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



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

Radar und artverwandte Hochfrequenzsysteme sind eine Schlüsseltechnologie für Verteidigung und Sicherheit, insbesondere in den Bereichen Überwachung und Aufklärung. Das Fraunhofer FHR unterstützt das Bundesministerium der Verteidigung hierbei seit der Institutsgründung 1957. In Deutschland nimmt das Fraunhofer FHR eine führende Rolle bei der Entwicklung neuer Technologien für vielzählige Anwendungen ein, zum Beispiel Erfassung der Weltraumlage mit Radar, multifunktionale Radarsysteme mit phasen-gesteuerten Gruppenantennen, adaptive Störunterdrückung, Millimeterwellen-Technologien, höchstauflösende Bildgebung mittels SAR- und ISAR-Verfahren, Bewegtzziel-Erkennung mit räumlich-zeitlicher Clutterunterdrückung, Zielklassifizierung und Passivradar.

Mit mehreren echoarmen Messkammern, Technologiezentren für analoge und digitale Leiterplattenfertigung sowie Hochfrequenztechnik bis in den unteren Terahertz-Bereich bietet das Institut eine hervorragende Ausstattung zur Entwicklung moderner Sensorsysteme. Durch interdisziplinäre Forschungsarbeiten in den Bereichen der Berechnung elektromagnetischer Felder, der Entwicklung innovativer Hochfrequenzsysteme und fortgeschrittener Verfahren und Algorithmen der Signal- und Informationsverarbeitung sowie seine Kompetenzen in der Erfassung und Beurteilung von Informationen zur Weltraumlage kann das FHR komplexe Verfahren, Systeme, Subsysteme und Komponenten entwerfen, aufbauen, erproben und nutzen.

Das Fraunhofer FHR ist Bestandteil der internationalen Forschungslandschaft. Als eines von 60 Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft betreibt es anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen von Wirtschaft und Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind die Bundeswehr, Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Kernkompetenzen

In fünf Bereichen kann das Fraunhofer FHR seinen Partnern mit Fähigkeiten in herausragender Breite und Tiefe zur Seite stehen. Mit diesen Kernkompetenzen deckt das FHR die gesamte Entwicklungskette von Radar- und HF-Systemen ab: Von der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen über die elektronischen Komponenten, den Aufbau und die Erprobung von Demonstratoren bis hin zu den Methoden der Signalverarbeitung und deren Umsetzung. All diese Fähigkeiten unter einem Dach zu vereinen, ist ein wichtiges Alleinstellungsmerkmal des Instituts.

Kernkompetenzen des Fraunhofer FHR:

- Elektromagnetische Felder
- Hochfrequenzsysteme
- Signalverarbeitung und Bildgebung
- Kognitives Radar
- Weltraumradar

Geschäftsfelder

Seine Fähigkeiten stellt das Fraunhofer FHR seinen Kunden und Partnern zur Entwicklung neuartiger Produkte in seinen sechs Geschäftsfeldern zur Verfügung. Zu den langjährig etablierten Feldern wie Verteidigung und Weltraum wurden in den letzten Jahren neue Märkte im Bereich Verkehr, Umwelt, Sicherheit und Produktion erschlossen.

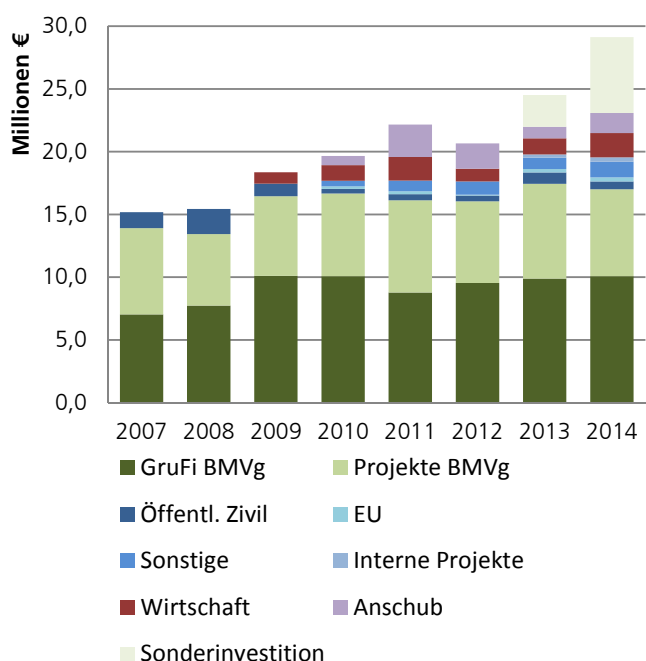
Personal- und Budgetentwicklung

Das Budget des Instituts ergibt sich aus mehreren Finanzierungsquellen: Der Grundfinanzierung durch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), der Projektfinanzierung aus Mitteln des Verteidigungshaushaltes und den Einkünften aus dem Vertragsforschungsbereich (VfA), der wiederum unterteilt werden kann in Wirtschaftserträge, öffentliche zivile Erträge, EU-Erträge, interne Projekte, Sonstige und Anschubfinanzierung, die ab 2015 durch eine institutionelle Förderung durch das BMBF ersetzt wird. Hinzu kommt in 2014 eine Sonderinvestition.

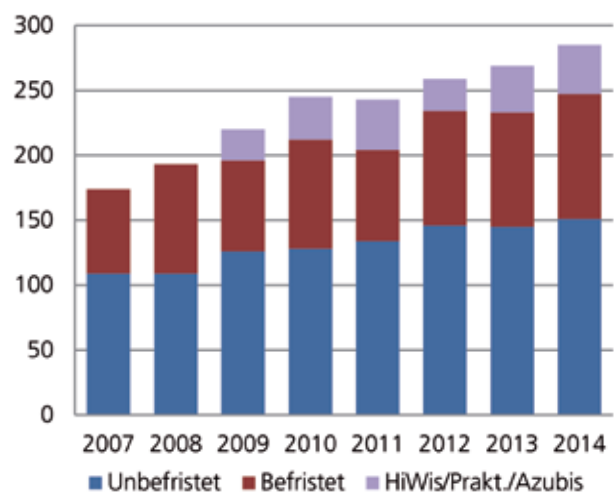
Im Jahr 2014 erwirtschaftete das Fraunhofer FHR im wehrtechnischen und im zivilen Institutsteil einen Gesamtertrag in Höhe von 29,1 Millionen Euro (Grundfinanzierung: 10,1 Mio €; Projektfinanzierung: 6,9 Mio €; VfA: 6,1 Mio €, Sonderinvestition: 6,0 Mio €). Bemerkenswert ist der stetig steigende Vertragsforschungsanteil: Im Jahr 2014 um 35,5% auf 6,1 Mio. € insgesamt mit einer Steigerung der Wirtschaftserträge um 50,2% auf 1,9 Mio. € im Vergleich zum Vorjahr.

Zum Jahresende 2014 waren am Fraunhofer FHR insgesamt 285 Mitarbeiter beschäftigt, ein Wachstum von 5,9% im Vergleich zum Vorjahr. Davon sind 151 unbefristet und 96 Personen befristet beschäftigt. Hinzu kommen noch 38 Studierende und Auszubildende.

Budgetentwicklung 2007 - 2014



Mitarbeiterentwicklung 2007 - 2014



IHRE ANSPRECHPARTNER

Kuratorium Vorsitzender Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. HERMANN ROHLING TU Hamburg-Harburg			
Business Development Dr. rer. nat. FRANK LORENZ  Tel. +49 228 9435-399 frank.lorenz@fhr.fraunhofer.de		Interne und externe Kommunikation Dipl.-Volksw. JENS FIEGE  Tel. +49 228 9435-323 jens.fiege@fhr.fraunhofer.de	
		Informationstechnik MICHAEL BUSSMANN  Tel. +49 228 9435-211 michael.bussmann@fhr.fraunhofer.de	
Geschäftsfeldsprecher	Antennentechnologie und elektromagnetische Modellierung (AEM)  Dr.-Ing. PETER KNOTT Tel. +49 228 9435-560 peter.knott@fhr.fraunhofer.de	Array-gestützte Radarbildgebung (ARB)  Dr.-Ing. ANDREAS BRENNER Tel. +49 228 9435-318 andreas.brenner@fhr.fraunhofer.de	Millimeterwellenradar und Höchstfrequenzsensoren (MHS)  Prof. Dr.-Ing. NILS POHL Tel. +49 228 9435-157 nils.pohl@fhr.fraunhofer.de
Verteidigung Dr.-Ing. ANDREAS BRENNER  Tel. +49 228 9435-318 andreas.brenner@fhr.fraunhofer.de	Elektromagnetische Modellierung Dr.-Ing. FRANK WEINMANN  Tel. +49 228 9435-223 frank.weinmann@fhr.fraunhofer.de	Multifunktionale Hochfrequenzsensorik Dipl.-Ing. HELMUT WILDEN  Tel. +49 228 9435-316 helmut.wilden@fhr.fraunhofer.de	Millimeterwellen-Radar Dr. rer. nat. MICHAEL CARIS  Tel. +49 228 9435-353 michael.caris@fhr.fraunhofer.de
Weltraum N. N.	Antennen und Front-End-Technologie Dr.-Ing. THOMAS BERTUCH  Tel. +49 228 9435-561 thomas.bertuch@fhr.fraunhofer.de	Sensornahe Digitaltechnologie Dipl.-Ing. (FH) CLAUD KIRCHNER  Tel. +49 228 9435-203 claud.kirchner@fhr.fraunhofer.de	Algorithmik Dr. rer. nat. ANIKA MARESCH  Tel. +49 228 9435-760 anika.maresch@fhr.fraunhofer.de
Verkehr Dr.-Ing. ANDREAS DANKLMAYER  Tel. +49 228 9435-350 andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de	Technik und Sicherheit Dipl.-Ing. (FH) STEFAN VORST  Tel. +49 228 9435-444 stefan.vorst@fhr.fraunhofer.de	Mehrkanalige Signalprozessierung Dr.-Ing. DELPHINE CERUTTI-MAORI  Tel. +49 228 9435-290 delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de	Signaturen Dipl.-Ing. GREGOR BIEGEL  Tel. +49 228 9435-581 gregor.biegel@fhr.fraunhofer.de
Umwelt Dipl.-Ing. HEINER KUSCHEL  Tel. +49 228 9435-389 heiner.kuschel@fhr.fraunhofer.de		Adaptive Array-Signalverarbeitung Dr. rer. nat. WOLFRAM BÜRGER  Tel. +49 228 9435-220 wolfram.buerger@fhr.fraunhofer.de	Millimeterwellen und Terahertzsensoren Dipl.-Ing. DIRK NÜSSLER  Tel. +49 228 9435-550 dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de
Sicherheit M. Sc. STEFAN A. LANG  Tel. +49 228 9435-782 stefan.lang@fhr.fraunhofer.de		MIMO-Radar und Multistatik Dr. rer. nat. JENS KLARE  Tel. +49 228 9435-311 jens.klare@fhr.fraunhofer.de	Sensorsysteme für Sicherheitsanwendungen M. Sc. STEFAN A. LANG  Tel. +49 228 9435-782 stefan.lang@fhr.fraunhofer.de
Produktion Dipl.-Ing. DIRK NÜBLER  Tel. +49 228 9435-550 dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de		Bildgebende Radar-Verfahren Dr.-Ing. PATRICK BERENS  Tel. +49 228 9435-641 patrick.berens@fhr.fraunhofer.de	Radiometrie Dipl.-Ing. DENIS NÖTEL  Tel. +49 228 9435-578 denis.noetel@fhr.fraunhofer.de
			Chip-Design Prof. Dr.-Ing. NILS POHL  Tel. +49 228 9435-157 nils.pohl@fhr.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik

Institutsleiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing. JOACHIM H. G. ENDER

Tel. +49 228 9435-227
joachim.ender@fhr.fraunhofer.de

Universität Siegen

Lehrstuhl

Hochfrequenzsensoren
und Radarverfahren

Sicherheit

Ass. jur. GLORIA POST



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

Patente / Schutzrechte

Dipl.-Ing. (FH) ALEXANDER STUCKERT



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

Werkstatt

CHRISTOPH PESCHEL



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

Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik (AMLS)

Prof. Dr. rer. nat. JENS BONGARTZ



Tel. +49 2642 932-427
jens.bongartz@fhr.fraunhofer.de

Passives und störfestes Radar (PSR)



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

Kognitives Radar (KR)



Dr.-Ing.
STEFAN BRÜGGENWIRTH
Tel. +49 228 9435-105
stefan.brueggenwirth@fhr.fraunhofer.de

Radar zur Weltraum- beobachtung (RWB)



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

Verwaltung



JÜRGEN NEITZEL
Tel. +49 228 9435-240
juergen.neitzel@fhr.fraunhofer.de

Passive Sensorik und elektronische Gegenmaßnahmen

Dipl.-Math. JOSEF WORMS



Tel. +49 228 9435-216
josef.worms@fhr.fraunhofer.de

Nicht-kooperative Identifizierung

Dr. rer. nat. TANJA BIEKER



Tel. +49 228 9435-634
tanja.bieker@fhr.fraunhofer.de

Verfahren zur Weltraumbeobachtung

Dr.-Ing. LUDGER LEUSHACKE



Tel. +49 228 9435-256
ludger.leushacke@fhr.fraunhofer.de

Finanzen

Dipl.-Kff. (FH) MONIKA FLOR



Tel. +49 228 9435-565
monika.flor@fhr.fraunhofer.de

Passiver Sensorverbund

Dr.-Ing. DIEGO CRISTALLINI



Tel. +49 228 9435-585
diego.cristallini@fhr.fraunhofer.de

UWB-Radar

Dr.-Ing. UDO USCHKERAT



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

TIRA - Radartechnik, Weiterentwicklung und Betrieb

Dr.-Ing. KLEMENS LETSCH



Tel. +49 228 9435-343
klemens.letsch@fhr.fraunhofer.de

Personal

DETLEF SCHAFFORS



Tel. +49 228 9435-207
detlef.schaffors@fhr.fraunhofer.de

Experimentalsysteme

Dipl.-Ing. (FH) JOCHEN SCHELL



Tel. +49 228 9435-396
jochen.schell@fhr.fraunhofer.de

Adaptive Wahrnehmung

Dr. rer. nat. MARÍA GONZÁLEZ-HUICI



Tel. +49 228 9435-708
maria.gonzalez@fhr.fraunhofer.de

TIRA - Antennensystem und Infrastruktur

Dipl.-Ing. JÜRGEN MARNITZ



Tel. +49 228 9435-248
juergen.marnitz@fhr.fraunhofer.de

Bautechnik

ANDREAS THIESSEN



Tel. +49 228 9435-221
andreas.thiessen@fhr.fraunhofer.de

ÜBERBLICK



DAS KURATORIUM

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

Vorsitzender

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

TU Hamburg-Harburg

Hamburg

Stellv. Vorsitzender

Dipl.-Ing. Gunnar W. R. Pappert

Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG

Überlingen

Prof. Dr. Kristian Bosselmann-Cyran

Hochschule Koblenz

Koblenz

Prof. Dr.-Ing. Ilona Rolfes

Ruhr-Universität Bochum

Bochum

Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling

RWTH Aachen

Aachen

Prof. Dr.-Ing. Lorenz-Peter Schmidt

Universität Erlangen-Nürnberg

Erlangen

Dr. Gerhard Kahl

Airbus Defence & Space

Unterschleißheim

Prof. Dr.-Ing. Klaus Solbach

Universität Duisburg-Essen

Duisburg

Dr. Holger Krag

ESA / ESOC

Darmstadt

Dr.-Ing. Walter Stammler

LFK-Lenkflugkörpersysteme GmbH

Unterschleißheim

Prof. Dr.-Ing. habil. Otmar Loffeld

Universität Siegen

Siegen

MinRat Norbert Michael Weber

Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)

Bonn

Dipl.-Ing. Martin Pirkel

Airbus Defence & Space

Ulm

Winfried Wetjen

OHB-System AG

Bremen

Die Teilnehmer der Kuratoriumssitzung am 28.5.2014 auf dem Institutsgelände in Wachtberg:

Dr. Kahl, Herr Wetjen, Prof. Solbach, Prof. Heberling, Dr. Feldhütter (Fraunhofer Zentrale), Prof. Loffeld,

Dr. Leiner (Fraunhofer Zentrale), Prof. Rolfes, Prof. Ender (Fraunhofer FHR), Prof. Rohling, Herr Weber,

Prof. Schmidt

KEYNOTE



EIN KURZER CHIRP

Wie kein zweiter Sensor verfügt Radar über vielzählige Freiheitsgrade, deren effiziente Handhabung in hohem Maße an Erfahrung und Geschick des Operateurs gekoppelt ist. Kognitive Radarsteuerungen können hier wertvolle Unterstützung leisten. Maschinelle Lernverfahren und andere Methoden aus dem Bereich der Informatik erlauben die teilweise Automatisierung kognitiver Fähigkeiten und Expertenwissens.

Cogito ergo sum

Die moderne Zeit ist gekennzeichnet durch Komplexität und Tempo: Immer schwierigere Entscheidungen müssen in immer kürzerer Zeit getroffen werden. Situationen werden immer unübersichtlicher und verändern sich gleichzeitig rasant. Die Anforderungen, die daraus resultieren, wachsen nicht nur für Menschen und Gesellschaft – auch all die technischen Systeme, auf die wir uns zunehmend verlassen, werden mit steigenden Anforderungen komplexer. Damit sie weiterhin ihre Aufgabe, uns im Alltag oder bei unserer Arbeit zu unterstützen, erfüllen können, müssen sie leistungsfähiger werden und ein zunehmend höheres Automationslevel erreichen.

Was bedeutet das für Radar?

Moderne Radarsysteme stellen intelligente Sensoren mit einer Vielzahl an Software-definierten Freiheitsgraden dar. Sie sind in der Lage, zunehmend mehrere Dinge gleichzeitig zu tun und fordern ihrem Bediener höchstes Können und maximale Konzentration ab. Denn noch ist das System noch nicht hinreichend in der Lage, durch Messungen gewonnene Erkenntnisse zur Selbstoptimierung zu verarbeiten.

Kognitive Radarsteuerungen können hier Erleichterung schaffen. Sie ermöglichen somit eine optimale Adaption der Wellenform und anderer Parameter an die Umgebung. Das noch junge, interdisziplinäre Forschungsgebiet befasst sich mit genau diesen Fragestellungen. Den Schwerpunkt bildet die Erforschung der Abbildung kognitiver Fähigkeiten des Menschen auf geeignete Hard- und Software, insbesondere der Fähigkeiten zur Wahrnehmung und Aufmerksamkeitssteuerung, Problemlösung und zielgerichtetem Handeln sowie Erinnerung und Lernen. Das Forschungsfeld „Kognitives Radar“ vereint

Fledermäuse sind in vielerlei Hinsicht bemerkenswerte Kreaturen - ihre Fähigkeit zur Adaption der Wellenform macht sie zum biologischen Vorbild des Kognitiven Radars

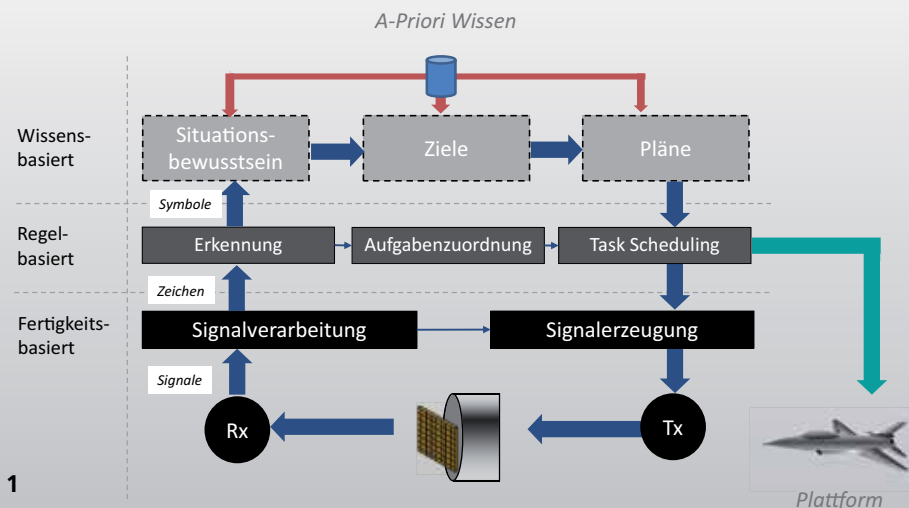
klassische Ansätze der Signalverarbeitung und Elektrotechnik mit Methoden der Informatik, wie maschinelle Lernverfahren und Verfahren der künstlichen Intelligenz. Ziel ist es, ein „smartes“ Sensorsystem zu schaffen, das in der Lage ist, Wellenform und Betriebsparameter dynamisch an die Szene und den Missionskontext anzupassen. Neben den geschlossenen Handlungsschleifen zwischen Empfangs- („Perzeptor“) und Sendezweig („Aktuator“) ist hierzu eine Steigerung des Automationsgrades erforderlich, die sich am menschlichen Vorbild orientiert – jedoch ohne zu ermüden, mit hoher Präzision und auf fortwährend hohem Leistungsniveau.

Die herkömmliche Trennung zwischen Signal- und Informationsverarbeitung sowie der Sensorsteuerung verschwimmt mehr und mehr und würde die Effizienz erheblich einschränken. Ein kognitives Radarsystem kann nur funktionieren, wenn es aus einem Guss ist und über kürzeste Informations-Laufzeiten aufweist. Simon Haykin formulierte seine Vision eines kognitiven Radars 2012 in seinem Buch »Cognitive Dynamic Systems«: »Kognitive Ansätze werden uns in die Lage versetzen, eine neue Generation von Radarsystemen zu bauen, die zuverlässig und genau arbeiten und von selbst ihr Können verbessern, mit Fähigkeiten, die weit über den Möglichkeiten des traditionellen Radars stehen.«

Der Ansatz des Fraunhofer FHR zur Verknüpfung dieser »kognitiven Subfunktionen« zu eben diesem leistungsfähigen System orientiert sich am »Drei-Ebenen-Modell« menschlicher kognitiver Leistungen. Dieses Modell wurde von Jens Rasmussen im Jahr 1983 veröffentlicht und findet in der Kognitionspsychologie, Ergonomie sowie der Robotik Verwendung. Hierbei werden drei Verhaltensebenen unterschieden, die zwar vertikal gegliedert, aber prinzipiell gleichzeitig aktiv sind.

Die drei Ebenen des Jens Rasmussen

Die unbewusste, fertigkeitsbasierte Ebene ist die unterste Ebene. Sie steuert subsymbolische Perzeptions- und senso-motorische Prozesse, wie beispielsweise die Hand-Auge-Koordination und andere Reflexe. Übertragen auf das Kognitive Radar wäre dies die Ebene der kontinuierlichen



Signalverarbeitung. Sie beinhaltet adaptive Signalverarbeitungsverfahren und stellt eine Schätzung der Umgebung und des Übertragungskanals zur Verfügung. Während diese Information in GMTI-Anwendungen für Space-Time Adaptive Processing (STAP) seit längerem im Empfangszweig eingesetzt wird, erfolgt beim kognitiven Radar eine Erweiterung auf den Sendezweig. Wissensbasierte Methoden unterstützen dieses Verfahren, etwa durch georeferenzierten Karten homogener Clutterverteilung oder a-priori bekannten Streuzentren.

Die darüber liegende bewusste, regelbasierte Ebene hingegen steuert Reaktionen, welche durch bestimmte Wahrnehmungen aus dem Strom an Sinneneindrücken ausgelöst werden. Man kann hier eigentlich von »routinierten Handlungen« sprechen; Dinge, die wir beiläufig tun. Beim Radar setzt die Ebene des regelbasierten Verhaltens auf der erkannten Szene auf: Die Interpretation der Szene aus den kontinuierlichen Signalen basiert auf Klassifizierungsverfahren und geometrischen Beziehungen. Die für das kognitive Radar typische Rückführung zwischen Empfangs- und Sendezweig erfolgt hierbei regelbasiert, d. h. die reaktive Ausführung vorab definierter (etwa in Simulationsläufen erlernter) Sequenzen an Radaraufgaben bzw. Modi. Sind mehrere dieser Radaraufgaben gleichzeitig aktiv, stellt sich insbesondere für Multifunktionsradare die Frage nach der Priorisierung bzw. der Steuerung der gemeinsamen Apertur. Zukünftige MIMO-Arrays werden hierbei durch dynamische Auswahl orthogonale Codierungen zusätzliche Freiheitsgrade bieten.

Die oberste Ebene beansprucht unsere kognitiven Fähigkeiten und Ressourcen maximal, da hierbei neue Lösungen für ein bisher unbekanntes Problem erdacht werden müssen. Für Sensoren und technische Geräte stellt die wissensbasierte Verarbeitungsebene die höchste Abstraktionsstufe unter Berücksichtigung externer Daten und Schnittstellen dar. Ein solches auftrags- oder zielbasiertes Radarsystem verfügt über

ein semantisches Szenenverständnis in Bezug auf die aktuelle Radaraufgabe und plant langfristige Radarmodi im Kontext des antizipierten Missionsverlaufs. Eine wichtige Rolle bei der Umsetzung einer solchen voll-integrierten kognitiven Radarsteuerung spielen des Weiteren Systemengineering-Aspekte und Bedienkonzepte.

Warum wir ein Kognitives Radar schon heute bauen könnten

Der rasche Fortschritt der elektronischen Komponenten, wie hochabtastender A/D-Konverter hoher Dynamik, Arbitray Waveform Generator, schnelle Verarbeitungsbausteinen (FPGAs, DSPs) ermöglicht das Prinzip des »Software Defined Radars«, welches die Grundvoraussetzungen für die gewünschte Adaptivität und Rekonfigurierbarkeit ist und dem Fraunhofer FHR mit dem FPGA-basierten System LabRadOR (Laboratory Radar Operating in Real-Time) zur Verfügung steht. Insbesondere die hardwaretechnischen Möglichkeiten zur realzeitlichen Adaption des Sendesignals verstärken unlängst die weltweite Forschungsaktivität im Bereich des kognitiven Radars, sowie deren experimentelle Erprobung, die am Fraunhofer FHR seit jeher von großer Bedeutung ist.

Die größtenteils durch Software realisierte, dynamische Anpassung der Radarparameter an Szene und Missionskontext ermöglicht das »Upgrade« bestehender, konventioneller Radarsysteme mit »kognitiven Fähigkeiten« sowie speziell hierfür entwickelter, hochflexibler Radarsensoren, etwa im Bereich militärischer Multifunktionsradare.

Ein Beispiel: Auf einer Karte der bisher aufgeklärten Gebiete finden sich noch weiße, unaufgeklärte Flecken. Somit ergeben sich Aufklärungsziele – etwa, dass diese weißen Flecken nun abgebildet werden müssen. Dank seiner Bibliothek von Signalparametern entstehen auf der Aktuatorseite des



Kognitiven Radars nun Pläne, wie und in welcher Reihenfolge dies abgearbeitet zu werden hat: Ein kurzer Chirp oder doch ein längerer Puls – was löst die Fragestellung besser? Die Entscheidung fällt in Sekundenbruchteilen. Anschließend wird die Information nach unten zur Aufgabenabwicklung durchgereicht und ausgeführt. Der Zyklus beginnt von neuem.

Das System soll aus Erfolgen und Misserfolgen bei früheren Radaraufgaben lernen, welche Mittel brauchbar oder weniger brauchbar sind. Sinn und Zweck des Kognitiven Radars ist es das Situationsbewusstsein des Operateurs in komplexen Szenarien zu stärken und low-level Entscheidungen zur Betriebssteuerung abzunehmen: Zum Beispiel, um den optimalen Betriebsmodus des Radars zur Erfüllung seiner Aufgabe auszuwählen, von Aufklärung und Überwachung bis hin zu Silent Modes oder aktiven Jammers.

Die Vorteile und die Vielseitigkeit adaptiven Verhaltens zeigen sich auch in der Natur auf eindrucksvolle Weise in Form der Echoortung von Fledermäusen und Delfinen. Diese sind durch ihre hochentwickelten und angepassten neuronalen Schaltungen in der Lage Pulswiederholrate und Länge, sowie die ausgesandte Wellenform an die Entfernung zur Beute anzupassen: Delfine können Chirps von nur 120 Mikrosekunden Länge aussenden; Fledermäuse können beim Hören des Echos eine zeitliche Differenz von 10 Nanosekunden zwischen ihren beiden Ohren ausmachen. Die Evolution machte eine einzigartig effiziente und präzise Kombination aus Sensorik und Bewegungstrajektorie somit vor.

- 1 Kognitive Radararchitektur am FHR nach dem Rasmussen Schema.
- 2 Der »lebende Beweis« für kognitive Sensorik – Fledermaus der Gattung *Tadarida* und Wellenformsequenz zur Zielortung.



Abteilungsleiter Kognitives Radar:

Dr.-Ing.

STEFAN BRÜGGENWIRTH

Tel. +49 228 9435-105

stefan.brueggenwirth@fhr.fraunhofer.de

GESCHÄFTSFELDER



VERTEIDIGUNG



WELTRAUM



VERKEHR



UMWELT



SICHERHEIT



PRODUKTION

GESCHÄFTSFELDER IM ÜBERBLICK

Seine Fähigkeiten stellt das Fraunhofer FHR seinen Kunden und Partnern zur Entwicklung neuartiger Produkte in seinen sechs Geschäftsfeldern zur Verfügung. Die Geschäftsfelder werden kontinuierlich an die jeweiligen Marktgegebenheiten angepasst:

Geschäftsfeld Verteidigung

Die Radar-Anwendungen in diesem Umfeld betreffen Aufklärung, Überwachung und Schutz von Land, Wasser und Luft mit Radarsystemen aller Größenordnungen auf den verschiedensten Plattformen. Aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften können mit Radar zeitnah und bei nahezu jedem Wetter hochaufgelöste Bilder einer Bodenszene gewonnen werden. Weiterhin ermöglicht die Technologie die Entdeckung und Ortung bewegter Fahrzeuge (GMTI) sowie die Extraktion relevanter Parameter wie Richtung und Geschwindigkeit. Durch die Vertiefung ausgewählter Aspekte kann das Fraunhofer FHR flexibel auf Fähigkeitslücken der Bundeswehr reagieren und mit Beratungs- und Urteilsfähigkeit zur Verfügung stehen. Für die wehrtechnische Wirtschaft bietet das FHR Hilfestellungen für die Entwicklung einsetzbarer Produkte in vielfältiger Art, denn das Institut verfügt über umfangreiches, transdisziplinäres Know-how in Hard- und Software.

Geschäftsfeld Weltraum

Radar ist der wichtigste Sensor zur Überwachung und Aufklärung des erdnahen Weltraums. Das Fraunhofer FHR entwickelt für seine Kunden maßgeschneiderte Systeme und Verfahren zur Entdeckung, Verfolgung, Abbildung und Analyse von Objekten im Orbit. Hauptziel ist, die Kenntnis über einzelne Satelliten und die Situation im Weltraum zu vertiefen, Risiken zu analysieren, Missionen zu begleiten oder Radarsignaturen zu gewinnen. Raumfahrtagenturen weltweit verlassen sich bei der Missionsdurchführung auf die Unterstützung des Instituts, sein Wissen und sein einzigartiges Weltraumbeobachtungsradar TIRA.

Geschäftsfeld Verkehr

Im Verkehrsgeschehen zählt Radar zu den wichtigsten Sensoren für die frühzeitige Erkennung und Vermeidung von gefährlichen Situationen. Im Geschäftsfeld Verkehr verfügt das Fraunhofer FHR über ein breites Spektrum an Lösungen, die nahezu für alle Teilbereiche der Verkehrsinfrastruktur von Interesse sind (Luft-, Wasser- und Landverkehr).

Geschäftsfeld Umwelt

In den Bereichen Erneuerbare Energien, Waldschadensanalyse, Umweltverschmutzungs-Monitoring, Recycling und ökologische Begleitforschung können Hochfrequenzsensoren wichtige Beiträge liefern. Hochfrequenzsysteme ermöglichen die Erschließung zusätzlicher Anwendungsmöglichkeiten. Sie können vorhandene Sensoren ergänzen oder ersetzen und helfen, zusätzliche Informationen zu gewinnen. Dazu gehören neuartige Radarverfahren zur bedarfsgerechten Steuerung der Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen, die Detektion von Lebenszeichen zum Tierschutz, aber auch der Einsatz umweltfreundlicher, emissionsfreier Passiv-Radar-Technologie.

Geschäftsfeld Sicherheit

Technologisch verschwimmt die Grenze zwischen innerer und äußerer Sicherheit mehr und mehr. Das Fraunhofer FHR bietet in diesem Geschäftsfeld Personenscanner, Brief-, Taschen- und Kofferscanner, Sensoren zur Erkennung von Brandherden, Minen- und Hohlraumdetektoren sowie MIMO-Systeme zur Überwachung kritischer Infrastruktur und zum Schutz von Rettungskräften im Katastrophenfall an. Gemeinsames Ziel ist in allen Anwendungsfeldern die Entwicklung kompakter, aktiver und passiver Sicherheitssensoren mit höherer Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig reduzierten Kosten.

Geschäftsfeld Produktion

Radarsysteme eignen sich insbesondere, wenn die Umweltbedingung den Einsatz von optischen Sensoren nicht zulassen. Mittels Hochfrequenztechnik kann eine Vielzahl von Stoffen durchleuchtet werden, die im optischen Bereich nicht transparent sind. Selbst kleinste Materialunterschiede werden sichtbar, die im Röntgenbereich verborgen bleiben. Die Fähigkeit, Abstände bis in den Mikrometerbereich präzise zu vermessen, ist der Schlüssel für eine gleichbleibend hohe Qualität bei gleichzeitiger Null-Fehler-Produktion. Zur Erreichung dieses Ziels bietet Ihnen das Fraunhofer FHR ganzheitliche und individuelle Lösungen sowie einen umfangreichen Gerätepark mit Testanlagen und Experimentalsystemen.

VERTEIDIGUNG



*Mögliches Einsatzszenario zum
Feldlagerschutz des TAARDIS-
Systems, einem abbildenden
radiometrischen Scanner.*

IM EINSATZ BEWÄHRT

Finden, ohne entdeckt zu werden, Aufklären und Überwachen – moderne Radare müssen im Einsatz absolut zuverlässig und exakt arbeiten. Das Fraunhofer FHR arbeitet an neuen Verfahren für moderne, leistungsfähige Systeme.



Ein Blick durch die Wolken

Im Bereich Verteidigung ist Radar ein unverzichtbarer Sensor. Bei nahezu jedem Wetter liefert er eine Vielzahl an Informationen und ermöglicht die Aufklärung unbekannter Gebiete oder erkennt und ortet unbekannte Ziele – zu Wasser, Land und in der Luft. Im Geschäftsfeld Verteidigung forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer FHR an neuer Soft- und Hardware für jede Einsatzlage.

Die Systeme des Fraunhofer FHR liefern dabei stets höchstauflösende Radarbilder mit hoher Dynamik. Insbesondere bei den luftgestützten Systemen setzen die Forscher aus Bonn international immer wieder Bestmarken, wenn es um die Qualität der SAR-Bilder geht. Aber auch auf dem Gebiet der boden- und seegestützten Radare, beispielsweise bei Feldlagerschutz oder Grenzsicherung, arbeitet das FHR an modernsten Systemen, Konzepten und Verfahren. Dabei haben die Mitarbeiter stets die individuellen Bedürfnisse des Kunden im Blick. Besondere Beachtung schenken sie der Entwicklung möglichst robuster und störfester Verfahren. Denn die zunehmende Nutzung des elektromagnetischen Spektrums – etwa durch Mobilfunk und Datenübertragung – stellt die Technik vor zunehmend größere Herausforderungen. Gleichzeitig spielen Dimension und Masse des Sensorsystems eine immer entscheidendere Rolle.

Wenn das Radar mitdenkt

Kleiner, leichter, flexibler. Das gilt künftig nicht mehr nur für luftgestützte Systeme, sondern auch für Radare, die am Boden oder auf dem Wasser eingesetzt werden. Spezialsysteme werden zukünftig weniger gefragt sein. Immer wichtiger wird die Anpassungsfähigkeit des Systems an unterschiedliche Einsatzszenarien. »Multimodal« lautet die Lösung. Aber dafür reicht es nicht, einfach nur die Komponenten zu schrumpfen, denn solche miniaturisierten Systeme benötigen auch völlig

neue Algorithmen zur Signalverarbeitung. Auch hieran forscht das FHR eingehend.

Die Wissenschaftler haben ein ehrgeiziges Ziel vor Augen: Die am Institut entwickelten Systeme sollen kompakter und intelligenter werden und darüber hinaus höchst leistungsfähig und intuitiv bedienbar sein. Denn um den operationellen Anforderungen auch in Zukunft gerecht zu werden, muss ein Radar mehr können als bisher. Um seine jeweilige Aufgabe optimal auszuführen, wird es über eine größere Funktionsvielfalt verfügen und sich autonom auf die jeweilige Situation einstellen, indem es auf eine entsprechende Datenbank, ein Gedächtnis sozusagen, zugreifen kann. Dieses Konzept nennen die Forscher »Kognitives Radar«.

Das Kognitive Radar ermöglicht eine bestmögliche Anpassung der Wellenform und anderer Parameter an die Umgebung. Dank maschineller Lernverfahren und anderer Methoden aus dem Bereich der Informatik und der künstlichen Intelligenz können Expertenwissen und kognitive Fähigkeiten, die bisher dem menschlichen Operateur vorbehalten sein mussten, in Teilen autonom durch den Radarsensor selbst eingesetzt werden und entlasten damit den Menschen bei der Sensorführung und Lagebeurteilung.

Starker Partner

Neben Techniken zur Aufklärung und Überwachung untersuchen die Wissenschaftler auch neuartige Konzepte zum Tarnen des eigenen Radars sowie zur Täuschung und Störung gegnerischer Systeme. In regelmäßigen Messkampagnen für Partner des Institutes evaluiert das Fraunhofer FHR neue Tarnmaterialien und -methoden. Dabei legen die Wissenschaftler Wert auf größtmögliche Realitätsnähe der ausgewählten Testszenarien, denn eine optimale Tarnung ist stets an die geografischen und klimatischen Bedingungen des Einsatzortes angepasst.

Bundeswehr und Industrie profitieren so von einer objektiven und unabhängigen Prüfung ihres Materials. Zudem bietet das Institut Hilfestellung bei der Entwicklung moderner Verfahren für das Stören von Fremdradaren auf allen Plattformen.

Seit seiner Gründung vor fast 60 Jahren beschäftigt sich das Institut mit allen Aspekten der Hochfrequenzphysik. Um gemäß seinem Auftrag dem Bundesverteidigungsministerium mit umfassender Beratungs- und Urteilsfähigkeit zur Verfügung zu stehen, benötigt es Fachkompetenz in Breite und Tiefe. Für die Wissenschaftler bedeutet dies, dass sie nicht nur exakte Kenntnis davon haben müssen, welche Technologien und Verfahren es gibt – sondern auch, wie diese bis ins kleinste Detail funktionieren. Partner aus dem Ausland wissen das umfassende Know-how des Institutes ebenfalls zu schätzen: Für armasuisse, dem eidgenössischen Pendant zum BAAINBw, konzipierten und bauten die Fraunhofer-Wissenschaftler ein operationelles, luftgetragenes Millimeterwellen-SAR. Auch in 2014 konnten im Rahmen dieser Kooperation wieder exzellente Ergebnisse abgeliefert werden.

Mit all diesem Wissen und Können sind die Forscher ebenfalls ideale Partner für die Industrie. Im Rahmen von Kooperationen oder Unteraufträgen entwickelt das Fraunhofer FHR für die wehrtechnischen Unternehmen Konzepte, Subsysteme und Software. Dazu zählen beispielsweise der Entwurf neuartiger Radare, Subsysteme für Hubschrauberassistenzsysteme oder innovative Verfahren der Bewegtzientdeckung für luftgestützte Multifunktionsradare.



Geschäftsfeldsprecher:

Dr.-Ing.

ANDREAS BRENNER

Tel. +49 228 9435-531

andreas.brenner@fhr.fraunhofer.de



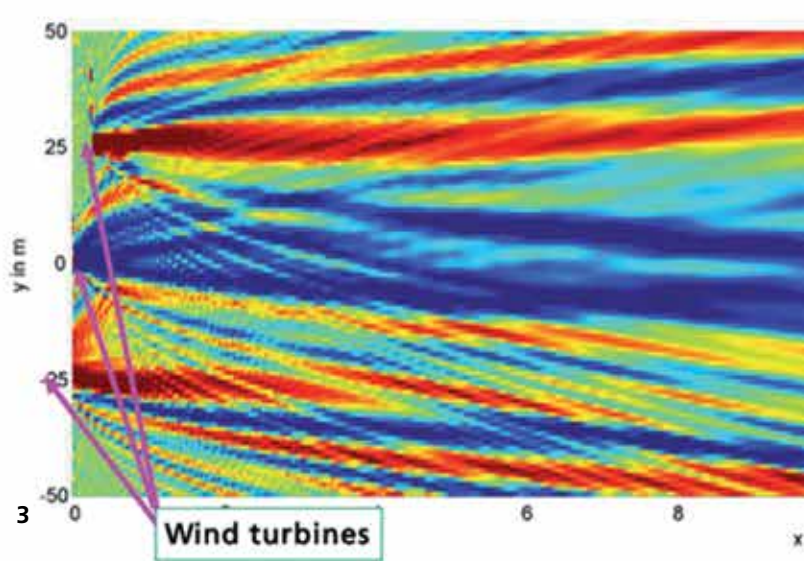
EINFLUSS VON WINDENERGIEANLAGEN AUF MILITÄRISCHE RADARE

Radardetektionsverluste und Zielfehlweisungen wurden über und hinter Windenergieparks festgestellt und stellen eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit dieser Radarsysteme dar. In einer durch Messungen verifizierten Studie, die den dynamischen Einfluss von Windenergieanlagen (WEA) auf Radare simuliert, wird ein Bewertungswerkzeug entwickelt, das es erlaubt, die erwartete Leistungsreduzierung von Radaren durch Windenergieanlagen zu quantifizieren.

Seit längerer Zeit beobachtet der Luftwaffenführungsdienst Anomalitäten bezüglich der Zielerfassung und -verfolgung im Bereich von Windenergieparks. Detektionsverluste und Zielfehlweisungen wurden über und hinter Windenergieparks festgestellt und stellen eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit dieser Radarsysteme dar.

Zur Bewertung von Neuerrichtungen von Windenergieanlagen (WEA) wurde in einem ersten Schritt ein Bewertungstool erstellt, das unter Berücksichtigung der Topographie, der Standorte und Charakteristika militärischer Radare und der Standorte und Abmessungen der beantragten WEA eine Entscheidungshilfe gibt, ob Teile einer Windkraftanlage in den Erfassungsbereich militärischer Radare hineinreichen. In einem weiteren Schritt soll nun ein Verfahren erarbeitet werden, das den Einfluss von Windenergieanlagen im Sichtbereich der Radare dynamisch beschreibt und eine quantitative Aussage über zu erwartende Leistungsbeschränkungen ermöglicht. Erste Messungen im und in der Umgebung eines Windparks im Einzugsbereich der Radarstellung in Brockzettel wurden durchgeführt und analysiert. Die aufgezeichneten Daten zeigten innerhalb sowie hinter Windparks deutliche Veränderungen der Signalmodulation sowohl der Einzelpulse als auch der Amplitudenmodulationen der Maxima der Einzelpulse während der Beobachtungszeit.

Zunächst wurden Messungen mit drei relativ einfach aufgebauten Empfängern durchgeführt, deren Antennen auf Masten in Höhen bis zu 5 Metern installiert waren. Um Aussagen über Einflüsse von Windkraftanlagen und Windparks auf die Radarsignale in größeren Höhen machen zu können, wurde in einer zweiten Messkampagne erstmals das FHR-Flugzeug »Delphin« eingesetzt mit einem unter dem Flugzeug installierten Messbehälter (»Pod«), welcher speziell für die WEA-Messungen entwickelt und integriert wurde.



Erste Auswertungen der durchgeführten Messungen zeigen, dass durch den Einfluss der WEA des Windparks nicht nur erhöhte Ausbreitungsverluste zu erwarten sind, sondern auch die Modulation der Radarimpulse selbst eine Veränderung erfährt, die zu Signalleistungsverlusten führen kann. Beide Effekte müssen bei der Simulation des Einflusses von WEA auf Radare des militärischen Führungsdienstes Berücksichtigung finden.

Zur Untersuchung von elektromagnetischen Streufeldern werden im FHR sehr leistungsfähige Simulationsprogramme entwickelt. Dazu gehören einerseits sogenannte numerisch exakte Verfahren, welche aufgrund des Rechen- und Speicheraufwands höchstens für Untersuchungen oder Validierungsrechnungen an einzelnen WEAs geeignet sind. Andererseits werden auch asymptotische Verfahren entwickelt, die mit bestimmten Annahmen und Vereinfachungen auch sehr große Szenarien mit guter Genauigkeit modellieren können. Grundlage des hier verwendeten Simulationsprogramms sind diskrete Strahlen, die von einer Quelle ausgesendet werden und dazu dienen, alle relevanten Ausbreitungspfade zu finden. Dieses Verfahren wird mit der Physikalischen Optik (PO) und der Physikalischen Beugungstheorie (PTD) kombiniert, wobei beliebig große Szenarien mit vergleichsweise geringem Speicheraufwand modelliert werden können.

Die bisherigen Studien an einfachen generischen sowie komplexen realitätsnahen Szenarien zeigen, dass die in den Messungen beobachteten Effekte qualitativ auch in der Simulation nachgebildet werden können. Dabei werden sowohl Signalleistungsverluste und deren Ortsabhängigkeit im Schattenbereich von WEAs als auch dynamische Effekte untersucht. Die Bewegung der Rotorblätter wird durch eine zeitliche Sequenz von statischen Simulationsszenarien nachgebildet. Der zeitliche Verlauf dieser Feldstärke zeigt ähnlich wie in den durchgeführten Messungen eine Modulation der Gesamtfeldstärke.

Zweidimensionale Analysen der Gesamtfeldstärke zeigen ein sehr komplexes Streu- bzw. Interferenzmuster im Schattenbereich von WEAs. Durch die Bewegung der Rotorblätter lassen sich die modulierten Empfangsfeldstärken erklären.

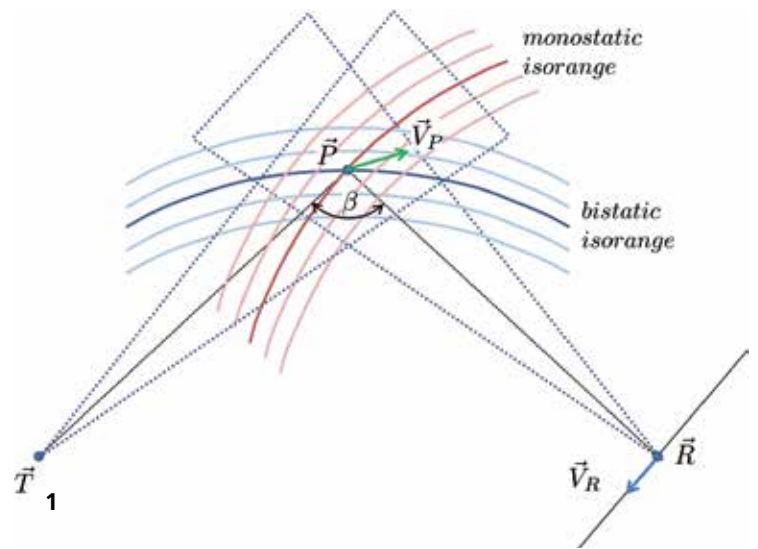
Insgesamt zeigen sowohl die Messungen als auch die Feldstärkesimulationen, dass die durch WEAs hervorgerufenen Beeinflussungen hochkomplex sein können. Ziel der weiteren Studien ist die Bereitstellung eines leistungsfähigen, durch Messungen verifizierten Werkzeugs zur Bewertung des Einflusses von WEA auf Radare.

1 Mit dem FHR-eigenen Flugzeug »Delphin« wurden die Radarsignale in großen Höhen gemessen.

2 Mit einem mobilen Messlabor untersuchte das Forschungsteam in einer ersten Kampagne die Leistungsbeeinflussung von Radaranlagen durch WEAs.

3 In den Messdiagrammen ist die Beeinträchtigung des Radars durch WEAs ersichtlich.

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



MONO- UND BISTATISCHES SAR/GMTI

Simultanes mono- und bistatisches GMTI verbessert die Entdeckung und Ortung bewegter Objekte und ermöglicht die Schätzung von Bewegungsparametern, wodurch zusätzlich SAR-Bilder der detektierten Ziele erzeugt werden können. Diese Technik wurde erstmals am Fraunhofer FHR durch Experimente mit dem Radarsystem PAMIR erfolgreich nachgewiesen.

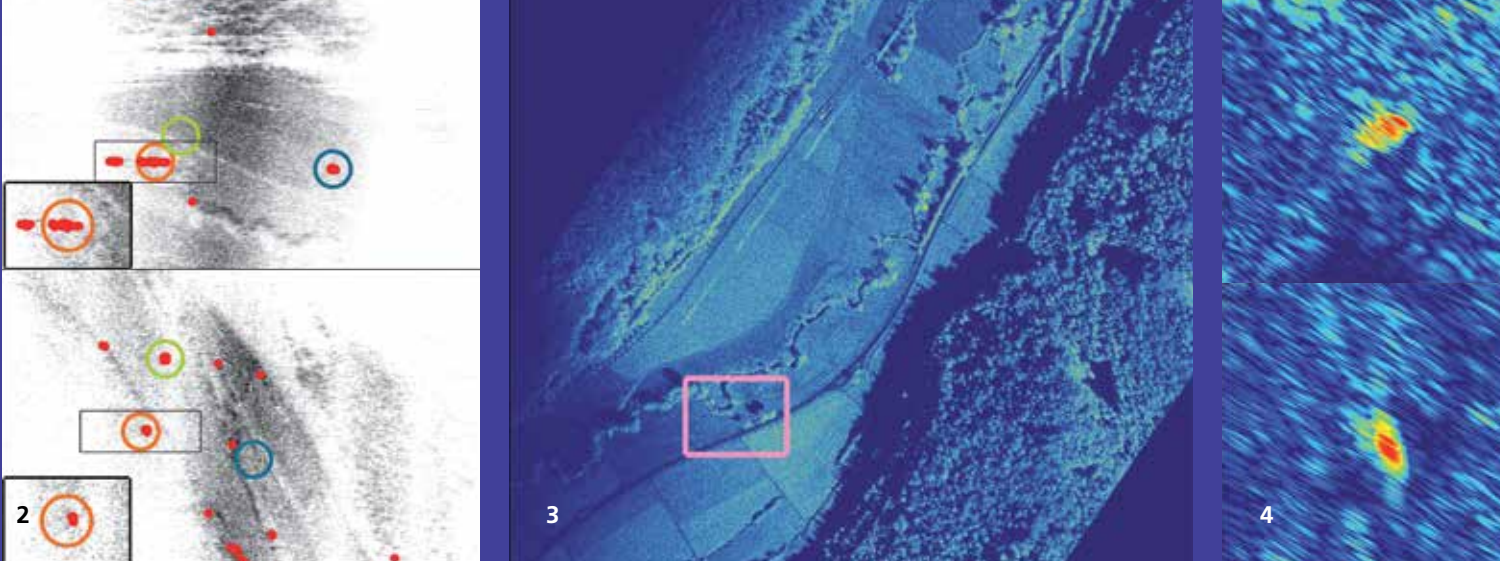
Anforderungen an Aufklärungsradare

Von zukünftigen Radarsystemen wird nicht nur die zuverlässige Detektion eines Ziels erwartet, sondern auch eine sehr präzise Schätzung seiner Position am Boden, seiner Bewegungsrichtung und wenn möglich auch die Abbildung des Objekts zur Zielerkennung und -klassifizierung.

Klassische monostatische Radare können diese Anforderungen nur bedingt oder überhaupt nicht erfüllen, da die zuverlässige Zieldetektion von Radarsystemen u. a. in hohem Maße von der Bewegungsrichtung des Objekts abhängig ist. Insbesondere Objekte, die keine radiale Geschwindigkeitskomponente aufweisen, werden vom Radar aufgrund der fehlenden Dopplermodulation nicht erkannt. Wünschenswert wäre aus Anwendersicht eine zuverlässige Detektion unabhängig von der konkreten Bewegungsrichtung des Objekts.

Eine Lösung besteht durch die Verwendung eines zusätzlichen Senders oder Empfängers. Durch die gleichzeitige Akquisition von mono- und bistatischen Signalen in einer geeigneten bistatischen Sensorkonstellation können Bewegtziele zumindest immer durch ein System, unabhängig von deren Bewegungsrichtung, detektiert werden. Abbildung 1 zeigt eine solche Geometrie mit einem monostatischen System an der Position R, welches gleichzeitig auch die Echos des zusätzlichen Senders an der Position T empfängt. Das Bewegtziel an der Position P weist nun unabhängig von dessen Bewegungsrichtung immer eine radiale Geschwindigkeitskomponente entweder in den mono- oder bistatischen Radardaten oder auch in beiden Datensätzen auf, wodurch für das Radarsystem blinde Bewegungsrichtungen vermieden werden.

Die Überwachung und Aufklärung eines Gebietes kann hierdurch erheblich verbessert werden. Darüber hinaus ist auch eine Schätzung des Geschwindigkeitsvektors der Bewegtziele möglich, wenn diese sowohl in den monostatischen als auch bistatischen Daten detektiert werden. Diese Information bildet dann die Grundlage für eine korrekte SAR-Abbildung des Bewegtziels.



Weltweit erster Konzeptnachweis

Das weltweit erste simultane mono- und bistatische SAR/GMTI-Experiment wurde am Fraunhofer FHR mit Hilfe des mehrkanaligen X-Band Radarsystems PAMIR an Bord einer Transall sowie eines stationären Bodensenders durchgeführt. Die simultane Akquisition wurde durch das Frequenzmultiplex-Verfahren erreicht. Ein PKW wurde während der Messung als Zieldarstellung genutzt. Zusätzlich wurden nachträglich zwei synthetische Bewegtziele den Daten hinzugefügt. Abbildung 2 zeigt die mono- und bistatischen Daten im Entfernungs-Doppler-Bereich.

Nach der für beide Datensätzen separaten GMTI-Verarbeitung erhält man die Detektionen bewegter Objekte (siehe Abb. 2). Diese werden dem Betrachter im Bild durch rote Punkte angezeigt, wobei der PKW und die synthetischen Ziele durch farbige Kreise gekennzeichnet sind. Durch die Fusion der Detektionen beider Datensätze können alle drei Ziele identifiziert werden. Das kooperative Ziel (PKW) wird sogar in beiden Datensätzen detektiert, so dass dessen Geschwindigkeitsvektor geschätzt werden kann.

Mit Hilfe der mit PAMIR akquirierten SAR/GMTI-Daten kann aufgrund der hohen Bandbreite zusätzlich ein monostatisches Radarbild der stationären Szene berechnet werden (siehe Abb. 3). Das Rechteck markiert den Bereich des kooperativen Ziels. Alternativ kann auch ein Radarbild aus den bistatischen Daten prozessiert werden. Das Bewegtziel kann nun mit den geschätzten Bewegungsparametern in beiden Datensätzen (monostatisch und bistatisch) korrekt abgebildet werden (siehe Abb. 4). Diese zusätzlichen Informationen eröffnen viele neue Möglichkeiten im Hinblick auf Zielidentifizierung und -klassifizierung.

1 Geometrie für simultanes mono- und bistatisches SAR/GMTI.

2 Mono- (oben) und bistatische (unten) Daten im Entfernungs-Doppler-Bereich. Farbige Kreise markieren die Position der Ziele. Rote Punkte kennzeichnen die Detektionen nach der GMTI-Prozessierung.

3 Monostatisches SAR-Bild der Szene.

4 Abbildung des Bewegtziels im monostatischen (oben) und bistatischen Fall (unten).



MIRANDA-35: DEUTSCH-SCHWEIZERISCHE SYSTEMDEMONSTRATION

Im Rahmen des Projekts »SAR-Technologiedemonstrator auf Centaur« wurde der SAR-Sensor MIRANDA-35 entwickelt. Bei einer Vorführung des Systems vor militärischen und zivilem Publikum im Juni 2014 in der Schweiz wurden die Fähigkeiten des Sensors mit großem Erfolg demonstriert.

Kompakt und multifunktional

Die luftgetragenen Überwachung von zivilen und militärischen Szenen, speziell von kleinen Luftfahrzeugen aus, ist von zunehmender Bedeutung. Dabei spielen Dimension, Masse und Leistungsaufnahme des bildgebenden Sensorsystems eine entscheidende Rolle. Im Rahmen der deutsch-schweizerischen Kooperation wurde mit MIRANDA-35 ein miniaturisiertes Hochleistungs-SAR-System entwickelt, das den vielfältigen Aufgaben der modernen Luftaufklärung im zivilen und militärischen Bereich gewachsen ist. Die Abbildung 1 zeigt ein Foto des Radar-Frontends. Das FMCW-Radar (*Frequency Modulated Continuous Wave Radar*) sendet bei einer Mittenfrequenz von 35 GHz mit einer Ausgangsleistung von 10 W (40 dBm) und besitzt in seiner derzeitigen Ausbaustufe einen Empfangskanal.

Zusammen mit der von IGI entwickelten hochauflösenden Luftbildkamera DigiCAM-40 wird MIRANDA-35 auf dem Trägerflugzeug Centaur integriert. Das Flugzeug basiert auf der von Diamond Airborne Sensing entwickelten DA42 und wurde von Aurora Flight Science modifiziert. Die Plattform mit dem integrierten Sensorsystem im POD (unterhalb des Flugzeugrumpfes) ist in Abbildung 2 dargestellt. Ein integrierter Datenlink mit großer Reichweite erlaubt neben der Fernbedienung des Radarsystems auch eine Echtzeitübertragung der online prozessierten SAR-Bilder zur Bodenstation (Quicklook). Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Projektes ein echtzeitfähiger SAR-Prozessor entwickelt, der die Bildsegmente auf dem Flugrechner mit einem sehr schnellen Algorithmus prozessiert. Dieser Quicklook-Prozessor ist äußerst robust und läuft auch bei Höhen- und Kursänderung stabil weiter. Jedoch führt diese Art der schnellen Prozessierung zu Qualitätseinbußen, bedingt durch die Projektion auf eine Ebene, die sich aus der mittleren Entfernung und dem mittleren Depressionswinkel ergibt. Bei wechselnder Fluglage (Heading) und Flughöhe (Altitude) entstehen Projektionsfehler, die unter anderem die Bildschärfe reduzieren. Die gerechneten Teilbilder werden zum Bodenrechner via UDP (User



Datagram Protocol) übertragen und zur Darstellung auf einem Display Streifen für Streifen überlagert, so dass sich eine fortlaufende SAR-Szene aufbaut. Besteht der Bedarf online in eine solche Szene hinein zu zoomen, so kann ein Teil des Bildes mit deutlich höherer Qualität angezeigt werden. Die zu diesem Zweck entwickelte live Quicklook-Lupe prozessiert den (vom Benutzer) gewählten Bildausschnitt mit größerem Rechenaufwand neu und erzeugt ein Zoom-Bild, das sich durch eine erheblich gesteigerte Detailschärfe und Auflösung auszeichnet. Diese Ausschnitts Vergrößerung wird mit kurzer Verzögerung zusätzlich zum live Bild dargestellt. Die für die Prozessierung eines SAR-Bildes benötigten präzisen Bewegungsinformationen der Trägerplattform bzw. des Radarsensors liefert ein hochgenaues Inertial-Messsystem (IMU), dessen Daten gemeinsam mit den Radardaten aufgezeichnet und zum Boden übertragen werden.

Hochaufgelöst und echtzeitfähig

Im Juni 2014 fanden im Schweizerischen Emmen Testmessungen mit MIRANDA-35 und der optischen Digitalkamera statt. Es wurden Messungen mit einer maximalen Bandbreite von 600 MHz in Flughöhen von bis zu 3000 m über Grund durchgeführt. Die Messkampagne demonstrierte die sehr gute Funktionsweise des MIRANDA-Systems und lieferte hochaufgelöste und kontrastreiche SAR-Bilder. Die Abbildung 3 zeigt eines der rund 70 Messergebnisse. Zu sehen ist die SAR-Aufnahme einer Industrieanlage mit benachbartem Bahnhof in Cressier im Kanton Neuchâtel. Die Überlagerung des SAR-Bildes mit einem Kartenausschnitt der Region verdeutlicht die hohe Präzision der Messung. Im Zusammenspiel mit der optischen Digitalkamera und dem digitalen Datenlink ist das System ein verlässlicher bildgebender Fernerkundungssensor. Bei einer Systemdemonstration für geladene Gäste von militärischen und zivilen Organisationen wurde die Funktion in Echtzeit präsentiert. Von der Basisstation in Emmen (Schweiz) wurden Messungen bis zu einer Entfernung von etwa 100 km unternommen. Insbesondere die SAR-Echtzeitdarstellung über große Distanzen fand bei den Beobachtern besondere Beachtung.

Für die Fortsetzung des Projekts im Jahr 2015 ist der Ausbau der Bandbreite des MIRANDA-35-Sensors auf 1 GHz geplant. Dadurch wird die Entfernungsauflösung von 25 cm auf 15 cm verbessert. Ferner ist eine Erweiterung des Systems auf zwei Empfangskanäle vorgesehen. Diese können sowohl für *Along-Track-Interferometry* oder durch geeignete Antennenkonfiguration für Polarimetrie eingesetzt werden. Letztere erfordert ebenfalls eine Anpassung des Senders.

- 1** MIRANDA-35 Frontend: FMCW-Radar mit einer Mittenfrequenz von 35 GHz und einer Ausgangsleistung von 10 W.
- 2** Trägerflugzeug Centaur mit POD und integriertem Sensorsystem, bestehend aus MIRANDA-35 und hochauflösender Digitalkamera.
- 3** Georeferenzierte SAR-Aufnahme einer Industrieanlage mit angrenzender Bahnhof in Cressier im Kanton Neuchâtel – entstanden bei einer Messkampagne im Juni 2014.

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

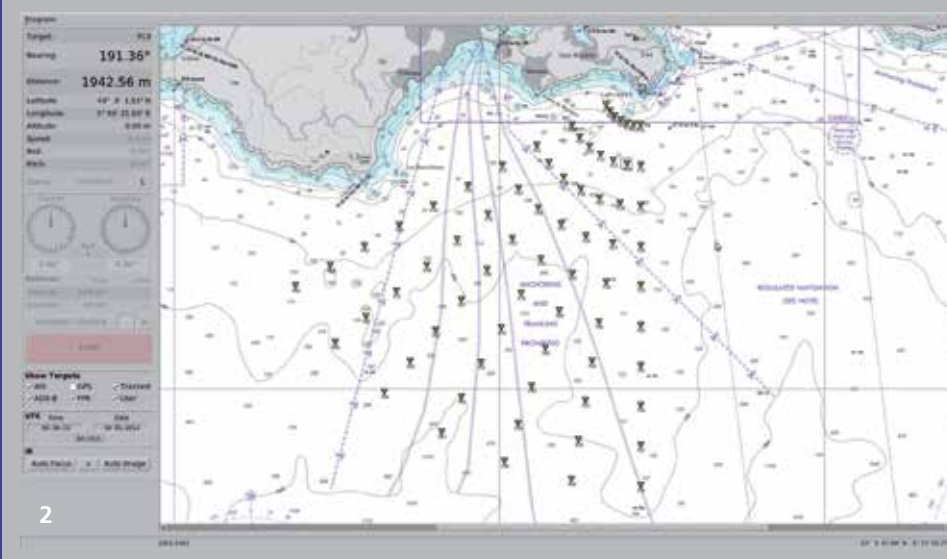


MARLENE: UNTERSUCHUNG DER AUSBREITUNGSBEDINGUNGEN ÜBER SEE

In Abhängigkeit meteorologischer Werte verändern sich die Ausbreitungsbedingungen elektromagnetischer Wellen in der untersten Grenzschicht der Atmosphäre. Dieses Phänomen untersucht das Fraunhofer FHR gemeinsam mit Partnern im Rahmen einer deutsch-französischen Kooperation.

Durch die Veränderungen der meteorologischen Bedingungen, z. B. den räumlichen und temporären Änderungen der Luft-See-Temperaturdifferenz, kommt es insbesondere über dem offenen Meer zu unterschiedlichen Verläufen der Brechungsindizes (Refraktionsindizes). Diese bestimmen das Ausbreitungsverhalten von elektromagnetischen Wellen in der Troposphäre. Unter optimalen Bedingungen kann dadurch mit Radar über den Horizont hinaus geschaut werden (Überreichweite), bei schlechten Verhältnissen kommt es jedoch auch zu geringeren Messstrecken als bis zum Sichthorizont (Unterreichweite). Um dieses Phänomen gezielt für die Schiffs- und Küstenradare zur Aufklärung nutzen zu können, untersucht das Fraunhofer FHR gemeinsam mit der WTD 71 und den Partnern ONERA und DGA im Rahmen des Deutsch-Französischen Technischen Abkommens (TA) Nr. 119 »Erstellung von Modellen und Messungen von See-Clutter im Millimeter- und Zentimeterband-Frequenzbereich; Anwendung der Berechnung der Refraktivität der Atmosphäre« das Ausbreitungsverhalten elektromagnetischer Wellen in der maritimen Grenzschicht. Mit konventionellen Mitteln wird der Refraktionsindex, der als Maß für die Ausbreitungsbedingungen herangezogen wird, durch Sensoren an Bojen, Ballons oder zum Beispiel mit einem Refraktometer an Bord eines Helikopters oder eines Flugzeugs gewonnen. Da diese Art der Messung mit den operationellen Anforderungen nicht kompatibel ist, entstand die Idee, als Abhilfe den vertikalen Refraktionsindex aus Clutter-Messungen zu gewinnen, also aus der Messung der rückgestreuten Radarleistung der Meeresoberfläche mit Hilfe von bordeigenen Radarsystemen. Diese indirekte Methode wird auch als »*Refraction from Clutter*« (kurz RFC) Methode bezeichnet. Zur Verifikation dieses Verfahrens stand bislang nur eine geringe Anzahl an Messdaten zur Verfügung, welche nun im Rahmen des bilateralen Abkommens erweitert werden konnte.

Weiterhin war die Gewinnung von Messreihen zur elektromagnetischen Ausbreitung im cm- und mm-Wellenband über See, sowie deren Charakterisierung in Abhängigkeit von Aspektwinkeln und Umgebungsbedingungen, Ziel des Projektes. Diese Messdaten unterstützen



die Validierung bzw. die Optimierung von Simulationsmodellen zur Berechnung von oben genannten Ausbreitungsbedingungen.

Durchgeführte Experimente

Es fanden insgesamt zwei Messkampagnen an der Nordsee und am Mittelmeer statt, um Messdaten zur Validierung der RFC-Methode unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zu gewinnen. Während die radartechnische Betrachtung der maritimen Signaturen der Nordsee-Kampagne mittels des Experimentalsystems MEMPHIS (*Millimeterwave Experimental Multifrequency Polarimetric High Resolution Interferometric System*) des Fraunhofer FHR in den Frequenzbereichen X-, Ka- und W-Band sowie die Erfassung der meteorologischen Parameter durch die WTD 71 an Bord des Forschungsschiffes »Elisabeth-Mann-Borgese« erfolgte, konnten im Rahmen der Messkampagne MARLENE (*Mediterranean RFC and Clutter Environmental Experiment*) in Toulon die MEMPHIS-Datensätze (Ka- und W-Band) um die Messdaten des vom Fraunhofer FHR entwickelten Radarsystems MARSIG der WTD 71 (Frequenzbereich: X- bis Ku-Band) und des französischen MEDICYS-Systems (C-Band) ergänzt werden. Zeitgleich zu den Clutter-Messungen wie auch bei den Ausbreitungsuntersuchungen erfolgte die Charakterisierung der Umgebungsparameter durch das Forschungsschiff »Planet« der WTD 71 mittels Einsatz von meteorologischen und ozeanographischen Sensoren.

An beiden Messorten erfolgte die Vermessung der Meeresoberfläche in unterschiedlichen Entfernungen unter unterschiedlichen Aspektwinkeln zur Charakterisierung des See-Clutters. Für die jeweiligen Ausbreitungsmessungen entfernten sich die, mit Radarreflektoren bestückten, Forschungsschiffe bis zu 50 km entlang der Radarsichtlinie von den Radarsystemen und fuhren anschließend wieder auf diese zu.

Status

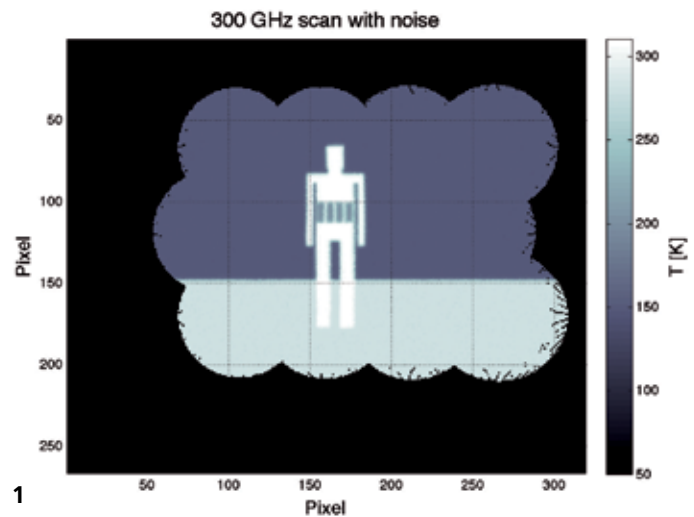
Mit den aufbereiteten Messdaten laufen derzeit in der Analysephase die Vergleiche von Ausbreitungsmessungen und Simulationsrechnungen basierend auf gemessenen Umgebungsdaten unter Zuhilfenahme von Modellen zur Berechnung der parabolischen Wellengleichung. Die Generierung einer Datenbasis aus den Clutter-Messdaten für einen selbstlernenden RFC-Algorithmus mit anschließendem Vergleich zwischen Ausbreitungsmessungen und RFC-Techniken ist ebenfalls Bestandteil der Zusammenarbeit. Ferner erfolgt die Untersuchung, inwieweit die Ergebnisse aus Simulationsprogrammen zur Berechnung von See-Clutter mit den realen Messwerten übereinstimmen.

1 Messaufbau des Radar-systems MEMPHIS mit USTS (Universaler Sensorträger Signaturen).

2 Bildschirmfoto der Nach-führsteuerung X-Track mit den Markierungen für die See-Clutter-Messungen.

3 Forschungsschiff »PLANET« der WTD 71 mit markierten Reflektorpositionen für Ausbreitungsuntersuchungen.

Dipl.-Ing. Gregor Biegel
Tel. +49 228 9435-581
gregor.biegel@
fhr.fraunhofer.de



TIPPSI – INFRASTRUKTUR SCHÜTZEN MIT MILLIMETERWELLEN

Das Ziel des EDA-Projekts TIPPSI besteht darin, die Zukunft abbildender Millimeterwellensysteme in der Simulation wie auch in der Praxis aufzuzeigen. Mit Radiometrie, Radar und MIMO werden die aussichtsreichsten Ansätze in einem Projekt vergleichbar gemacht.

Weitbereichsüberwachung

Für die Sicherung der zivilen Luftfahrt in Europa werden seit 2010 unter anderem radarbasierte Personenscanner eingesetzt. Diese aktiven Systeme sind in der Lage, verdächtige Objekte unter der Kleidung zu detektieren und dem Sicherungspersonal darzustellen. Vergleichbare Systeme werden seit Neuestem auch zum Schutz kritischer Infrastruktur der Bundeswehr eingesetzt, allerdings auch unter den Bedingungen eines Nahbereichsscanners: die zu scannenden Personen müssen einzeln und bis auf wenige Zentimeter an den Sensor herantreten. Somit lassen sich auch kleinste verdächtige Objekte auffinden, auch wenn der Personendurchsatz relativ gering ausfällt.

Keine Lösung gibt es bisher für das Szenario einer erweiterten Umfeldüberwachung. Die zu detektierenden Gegenstände verdecken dabei einen nennenswerten Anteil des Körpers, dafür muss die Erkennung über weitaus größere Distanzen erfolgen.

EDA-Projekt TIPPSI

Aktive wie passive Millimeterwellensysteme können für eine Detektion über größere Distanzen eingesetzt werden, jedoch ist eine deutliche Leistungssteigerung bei den Systemen und bei der Signalverarbeitung notwendig. Unter der Projektleitung des Fraunhofer IAF haben sich vier Nationen innerhalb des EDA-Projekts TIPPSI (*THz Imaging Phenomenology Platforms for Stand-off IED Detection*) zusammengeschlossen, um sich dieser Herausforderung anzunehmen.

Dabei werden drei mögliche Ansätze berücksichtigt: ein passiver Scanner, ein aktiver Scanner sowie ein aktiver MIMO-Scanner. Die aktiven Scanner bei 240 GHz entstehen am schwedischen FOI in Linköping, basierend auf Chip-Designs der Universität Chalmers. Die Spiegeloptik wird bei den Partnern an der TU Delft entwickelt, während vom niederländischen TNO die MIMO-Signalverarbeitung beigesteuert wird.



2

Das Herzstück des passiven Scanners wird vom Fraunhofer IAF in Freiburg erforscht: Ein mehrkanaliger 300 GHz-Empfänger sorgt für gesteigerte räumliche Auflösung. Das Fraunhofer FHR entwirft die Imager-Optik und die Signalverarbeitung, um daraus ein vollständiges System herzustellen.

Simulation und Materialuntersuchung

Ein ganz wesentlicher Anteil des TIPPSI-Projekts besteht darin, eine Simulationsumgebung zu schaffen, mit der sich die Detektionsleistung aller Systeme vorhersagen lässt. Dazu wird am schwedischen FOI eine Simulationsfähigkeit hergestellt, bei der animierte dreidimensionale Szenarien zu Grunde gelegt werden. Neben Modellen von Menschen und Objekten werden auch mehrschichtige Kleidungsmodelle sowie deren Dynamik berücksichtigt. Diese Modelle werden kombiniert mit eigens nach den Anforderungen erstellten Materialmessungen, wie sie an der Wojskowa Akademia Techniczna (WAT) in Warschau erstellt werden. In einem Postprocessing werden die Eigenschaften der real herzustellenden Systeme wie Rauschen und Antennendiagramme mit einbezogen. Auf diese Weise können die Simulationen mit den Messungen abgeglichen und die Grenzen des technisch Machbaren aufgezeigt werden.

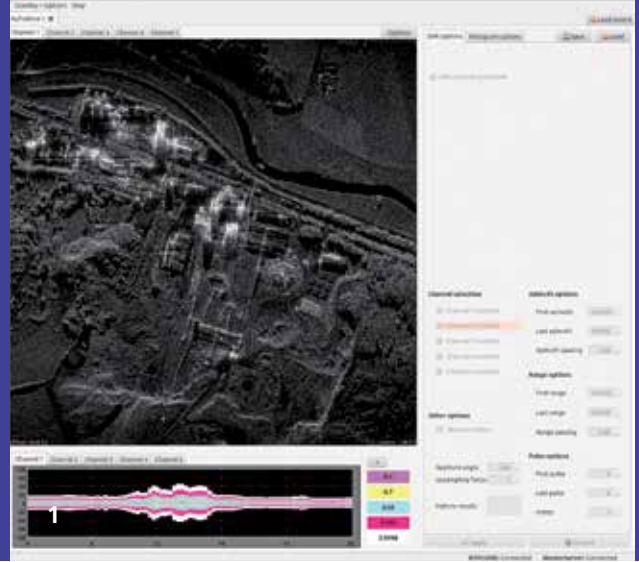
TAARDIS - Schneller 300 GHz-Scanner mit hoher Auflösung

Um den hohen Ansprüchen an die Abbildungsleistung zu genügen, wird am Fraunhofer FHR das Scanner-System TAARDIS auf der Basis eines konfokalen Gregorianischen Spiegelsystems entworfen – ein Ansatz, der sich bereits in der Satellitentechnik bewährt hat. Die Optik erlaubt es, in der Fokalebene entweder mehrere Empfänger parallel arbeiten zu lassen, oder das Array für einen elektronischen Strahlschwenk zu verschalten. Im vorliegenden Fall wird mit allen passiven Empfängern gleichzeitig abgetastet. Dabei reicht es aus, eine einzige mechanische Komponente zu rotieren, um einen Bildausschnitt mit hoher Bildwiederholrate zu vermessen. Für eine optimale räumliche Auflösung ist es notwendig, eine möglichst große Apertur herzustellen. Da das System von Anfang an als Teil eines Gebäudes oder eines Fahrzeugs konzipiert ist, wird derzeit mit Durchmessern von mehr als 60 cm für den Primärspiegel experimentiert. Für das Jahr 2015 ist avisiert, den Scanner mitsamt Front-End und Signalerfassung lauffähig aufzubauen. Für das Projektende 2016 sind gemeinsame Messungen und der Abgleich mit den Simulationen angesetzt.

1 *Simulierte Bildrekonstruktion des TAARDIS-Systems bei einer 4 x 3 Arraykonfiguration.*

2 *Mögliches Einsatzszenario zum Feldlagerschutz des TAARDIS-Systems, einem abbildenden radiometrischen Scanner.*

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



ECHTZEITVERARBEITUNG FÜR LUFTGETRAGENE RADARE

Der Einsatz luftgetragener Radare wird sowohl in zivilen wie auch militärischen Anwendungen immer wichtiger. Ein wesentlicher Schritt für den operativen Einsatz ist die realzeitliche Darstellung der gemessenen Daten.

Mehrwert durch Echtzeitverarbeitung

Bisher kamen in den Bereichen der Aufklärung, Überwachung und Vermessungstechnik vermehrt elektro-optische Systeme zum Einsatz, teilweise auch, weil sie dem Benutzer die verfügbaren Daten in Echtzeit zur Verfügung stellen. Luftgetragene Radare haben dem gegenüber weitreichende Vorteile, z. B. Unabhängigkeit von Wetter oder entfernungsunabhängige Auflösung. Die Echtzeitverarbeitung der erzeugten Daten bietet dem Operateur nun die Vorteile der Radartechnik gepaart mit einer schnellen Darstellung der Ergebnisse. Da je nach Aufgabenstellung unterschiedliche Radarsysteme zum Einsatz kommen, werden angepasste Lösungen für die Echtzeitverarbeitung der aufgenommenen Radarechos benötigt.

Die Datenanalyse fliegt mit

Bei der weiträumigen Aufklärung und Überwachung kommen Radare auf hochfliegenden Trägern zum Einsatz, die für ihre Aufgabe eine hohe elektrische Leistung benötigen. Die Bedienung des Sensors erfolgt hierbei in der Regel vom Flugzeug aus, die Auswertung der Daten aber meist erst nach der Landung am Boden. Dieses Vorgehen ist jedoch bei aktuellen, meist akuten und unübersichtlichen Einsatzlagen nicht mehr praktikabel.

Für sein im X-Band arbeitendes, höchstauflösend abbildendes Radar PAMIR hat das Fraunhofer FHR daher einen Realzeitprozessor entwickelt. Somit können die Messergebnisse auch bei hoher Datenrate in Echtzeit betrachtet werden. Dies ermöglicht beispielsweise die Wiederholung unzureichender oder fehlerhafter Aufnahmen einer Szene oder die gezielte Aufnahme interessanter Teilgebiete mit feinerer Auflösung bis hin zur Verfolgung und Aufnahme bewegter Objekte am Boden.



Um die Fähigkeiten von PAMIR vollständig auszuschöpfen, wurde ein Fokussierungsverfahren gewählt, welches auf Näherungen weitgehend verzichtet. Dazu wurde ein Realzeitprozessor auf Basis von High-End-Grafikkarten mit in CUDA implementierten Signalverarbeitungsverfahren in das System integriert. Der Prozessor ist in der Lage, für einzelne Kanäle SAR-Bilder sowie zeitliche Verläufe des Histogramms und des Dopplerspektrums zu berechnen. Die Hardwareauslegung erlaubt es, nach und nach weitere Verfahren zu implementieren. So soll im kommenden Jahr ein Verfahren zur Detektion bewegter Objekte implementiert werden.

Echtzeitverarbeitung mit Zoom-Funktion

Auch in das am Fraunhofer FHR entwickelte MIRANDA-System wurde gemeinsam mit der armasuisse eine Echtzeitverarbeitung von SAR-Daten implementiert. Dabei wurde der Prozess der Verarbeitung soweit vereinfacht, dass die Darstellung der Daten zu einem fortlaufenden SAR-Bild mit Hilfe konventioneller Hardware erfolgen kann. MIRANDA wurde für den Einsatz auf kleinen fliegenden Plattformen konzipiert, wobei nicht nur Gewicht, Stromaufnahme, Formfaktor und verfügbare Kühlleistung berücksichtigt werden mussten, sondern auch die Tatsache, dass sich der Operateur nicht an Bord der Flugplattform befindet. Dieser kommuniziert mit dem Radar mit Hilfe einer bandbreitenbegrenzten Funkschnittstelle. Daher wurden die datenintensiven Vorgänge wie Digitalisierung, Speicherung und Vorprozessierung der Daten an Bord des Flugzeugs realisiert. Zudem werden Korrekturen der Eigenbewegung der Plattform nur näherungsweise durchgeführt, so dass insgesamt eine echtzeitliche Darstellung der Messung mit der begrenzten verfügbaren Rechenleistung ermöglicht wird. Nachdem auf diese Weise ein Streifen mit einer reduzierten Auflösung fertig gestellt wurde, wird dieser übertragen und an der Bodenstation dem bereits übertragenen Bild hinzugefügt.

Dem Benutzer wird zusätzlich eine Zoom-Funktion zur Verfügung gestellt, mit der er einen Bereich auswählen kann, so dass er ein Standbild mit hoher Auflösung betrachten kann. Da auf Grund der Bandbegrenzung der Datenschnittstelle an der Bodenstation nicht die Radar-Rohdaten zur Verfügung stehen, wird diese Rechnung ebenfalls an Bord der Trägerplattform durchgeführt und das berechnete Bild übertragen.

Weiterhin wird die Datenübertragung mit Hilfe von Netzwerkprotokollen realisiert, die es ermöglichen, dass – abhängig vom Anwendungsszenario – mehrere Beobachter unabhängig mit eigenständigen Darstellungsrechnern auf die in Echtzeit übertragenen Messdaten Zugriff haben. Da dies im Netzwerk am Boden erfolgt, wird die bandbegrenzte Datenschnittstelle zwischen Flugzeug und Bodenstation nicht weiter belastet.

1 Bedienerschnittstelle des PAMIR-Realzeitprozessors zeigt SAR-Bildergebnis und Aussteuerung der Aufnahme. Für jede Aufnahme können Verarbeitungsparameter individuell eingestellt werden.

2 Echtzeitprozessierte SAR-Szene zu einem ersten Zeitpunkt (oben). Die gleiche Szene nach einigen Sekunden weiterer Verarbeitungszeit (unten). Die Bilder laufen als Film über den Bildschirm.

3 Eine Ausschnittsvergrößerung, erstellt durch die implementierte Lupenfunktionalität.

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

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



INTELLIGENTE RAUMZEITKODIERUNG MIT WELLENFORMDIVERSITÄT

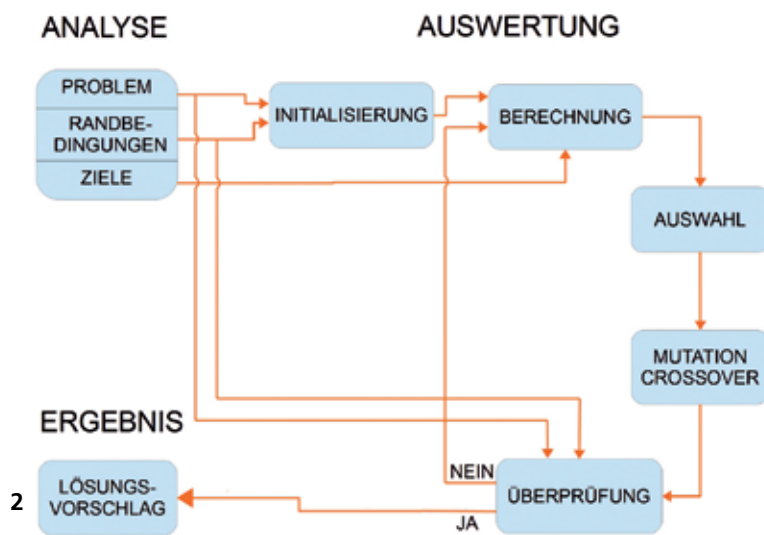
Durch die Kombination von neuartigen MIMO-Radarmethoden mit Wellenformdiversität kann eine bedeutende Fähigkeitssteigerung für zukünftige Radarsysteme erreicht werden.

Fähigkeitssteigerung

Eine deutliche Leistungssteigerung durch MIMO-Radare mit Wellenformdiversität wird insbesondere in der Verbesserung der Abbildungseigenschaften, einer besseren Zieltrennung, effizienterer Unterdrückung von Störern und einer höheren Schätzgenauigkeit der Zielpositionen und -geschwindigkeiten erwartet. Mit zukünftigen MIMO-Radarsystemen wird es möglich sein für unterschiedliche Subaperturen der Sendeantenne oder sogar für jedes Einzelelement, unterschiedliche Wellenformen von Puls zu Puls adaptiv zu erzeugen, abzustrahlen und über den Empfang eines verteilten Empfangsarrays digital zu verarbeiten.

3D-MIMO-SAR

Eine vielversprechende Anwendung solcher zukünftiger Radarsysteme ist die dreidimensionale Überwachung und Aufklärung der Erdoberfläche aus der Luft, insbesondere von urbanen Krisengebieten. Durch die Verwendung eines solchen 3D-MIMO-SAR-Systems könnten Abschattungen auf ein Minimum reduziert und die Überwachung und Aufklärung in solch komplexen Einsatzszenarien deutlich gesteigert werden. Bedingt durch die Bewegung einer fliegenden Plattform stoßen MIMO-Radarsysteme, die nach dem Zeitmultiplexingverfahren arbeiten, schnell an ihre Grenzen. Durch die Verwendung von speziell designten orthogonalen Wellenformen, die zeitgleich von allen Sendeantennen abgestrahlt werden, können diese Grenzen überwunden werden und leistungsfähige luftgetragene MIMO-SAR-Systeme rücken in greifbare Nähe. Zur Demonstration der Fähigkeitssteigerung solcher neuartiger MIMO-Radarsysteme soll das am Fraunhofer FHR entwickelte, bodengestützte MIMO-Radarsystem MIRA-CLE Ka für die Integration in das FHR-Ultraleichtflugzeug Delphin angepasst und erweitert werden. Quer zu Flugrichtung kommt so die virtuelle Antenne des MIMO-Radars zum Einsatz in Kombination mit dem SAR-Prinzip in Flugrichtung, was zu einer echten dreidimensionalen Abbildung der unmittelbar überflogenen Szene führt.



Discrete Frequency Coded Waveforms

Zur Verwirklichung eines solchen Radarsystems wurden verschiedenste Klassen von Wellenformen untersucht, die notwendige und vielversprechende Eigenschaften für Radar haben. Als potentiell geeignet haben sich »Discrete Frequency Coded Waveforms« (DFCW) herausgestellt. DFCW stammen aus dem Kommunikationsbereich und sind eine Weiterentwicklung von »Orthogonal Frequency Division Multiplexing« (OFDM). Im Besonderen kombinieren DFCW die Frequenzcodierung von OFDM mit einem zeitlichen Code, so dass eine weitere Dimension zur Codierung der Sendewellenformen zur Verfügung steht. Zudem ermöglichen DFCW die Verwendung des gesamten verfügbaren Frequenzspektrums für jedes einzelne Sendeelement unter Beibehaltung einer möglichst guten Orthogonalität zwischen den einzelnen gleichzeitig ausgesendeten Signalen. Lücken im Spektrum werden so vermieden, die ansonsten zu starken Artefakten im berechneten Radarbild führen würden.

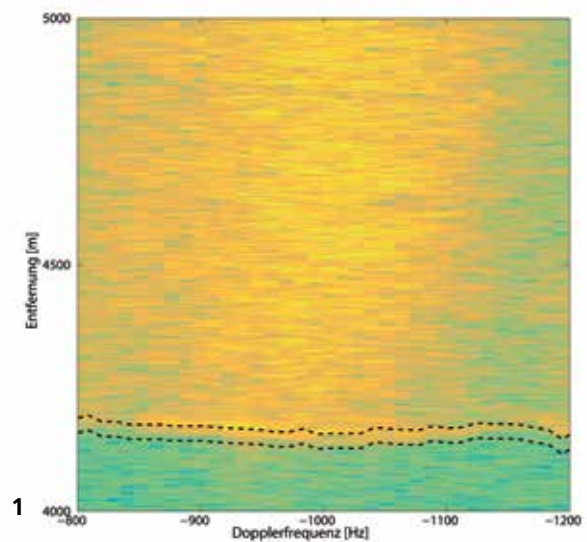
Für ein bildgebendes MIMO-Radarsystem müssen die ausgesandten Wellenformen ein möglichst niedriges »Interference to Signal Ratio« (ISR) aufweisen, um eine hinreichend gute Bildqualität zu erzielen, weshalb das ISR ein wesentlicher Qualitätsparameter zur Bewertung generierter Radarwellenformen darstellt. Das ISR ist das Verhältnis zwischen Nutzsignal und Interferenzsignal, welches die Sidelobes der Autokorrelationsfunktion und der Kreuzkorrelationsfunktion enthält. Da DFCW sowohl in der Frequenz als auch in der Zeit und im Raum – durch die verteilten Sendeelemente – codiert werden können, wurde ein genetischer Algorithmus entwickelt, der nach möglichen Lösungen sucht. Es handelt sich hierbei um einen Multi-Kriterien-Algorithmus der auf einer Fitnessfunktion und mehreren Bewertungsparametern basiert.

Experimentelle Überprüfung mit MIRA-CLE Ka

Bislang wurden Sets von Wellenformen für das gleichzeitige Senden mit zwei Sendeelementen für das MIRA-CLE Ka System generiert. In einem der nächsten Schritte sollen mit einer Erweiterung des genetischen Algorithmus, Sets von bis zu 16 orthogonalen Wellenformen für maximale Diversity des MIRA-CLE Ka Radarsystems generiert werden. Zusätzlich fließen weitere Optimierungsmöglichkeiten in die Generierung der Wellenformen mit ein, so dass mit MIRA-CLE Ka, in einer luftgetragenen Version, zukünftig hochauflösende 3D-Radarbilder einer direkt überflogenen Szene erzeugt werden können.

- 1 MIRA-CLE Ka im Einsatz am Ultraleichtflugzeug Delphin zur Generierung dreidimensionaler Radarbilder.
- 2 Genetischer Algorithmus zur Erzeugung orthogonaler, radartauglicher Wellenformen.

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



WISSENSBASIERTE BEWEGTZIELENTDECKUNG

Eine Hauptaufgabe luftgetragener Radarsysteme ist die Bewegtzielentdeckung. Die Leistungsfähigkeit der hierfür verwendeten Signalverarbeitung lässt sich durch Berücksichtigung zusätzlicher Informationen über die beobachtete Szene wesentlich verbessern.

Hintergrund

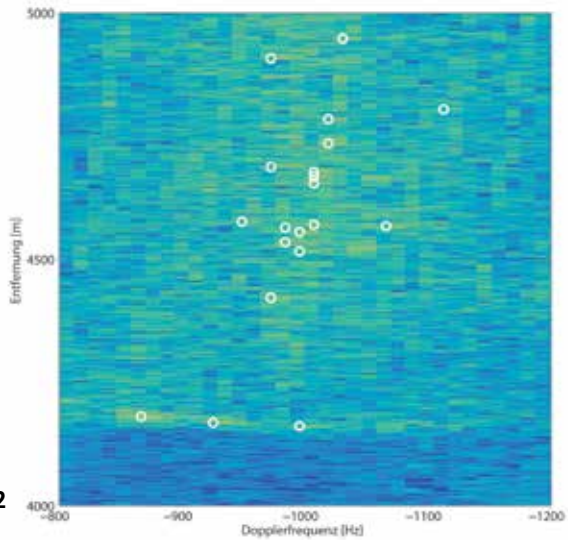
Die Entdeckung und Ortung bewegter Objekte (*moving target indication*, MTI) in der Luft, am Erdboden oder auf See ist eine Kernaufgabe von Multifunktionsradargeräten auf fliegender Plattformen. Insbesondere die Entdeckung und Ortung bewegter Objekte am Erdboden (*ground moving target indication*, GMTI) wird jedoch durch störende Rückstreuungen von der Erdoberfläche, den sogenannten Clutter, erschwert. Wenn das Radarsystem über mehrere parallel angeordnete Empfangskanäle verfügt, lassen sich diese störenden Radarechos mit Verfahren der mehrkanaligen Signalverarbeitung unterdrücken und somit auch sehr langsam bewegte Objekte entdecken.

Von den Verfahren der mehrkanaligen Signalverarbeitung ist die adaptive Raum-Zeit-Verarbeitung (*space-time adaptive processing*, STAP) besonders gut für die Clutterunterdrückung geeignet. Sie verwendet räumlich-zeitliche Clutterfilter, deren Koeffizienten aus Radarechos geschätzt werden, die aus anderen Entfernungszellen kommen als der auf das Vorhandensein eines Bewegtziels zu untersuchenden Testzelle. Je besser die Eigenschaften des Clutters in diesen sogenannten Sekundärdaten mit denen des Clutters in der Testzelle übereinstimmen, umso wirksamer ist die Clutterunterdrückung durch solch ein adaptives Filter – und desto besser sind Entdeckungswahrscheinlichkeit und Ortungsgenauigkeit.

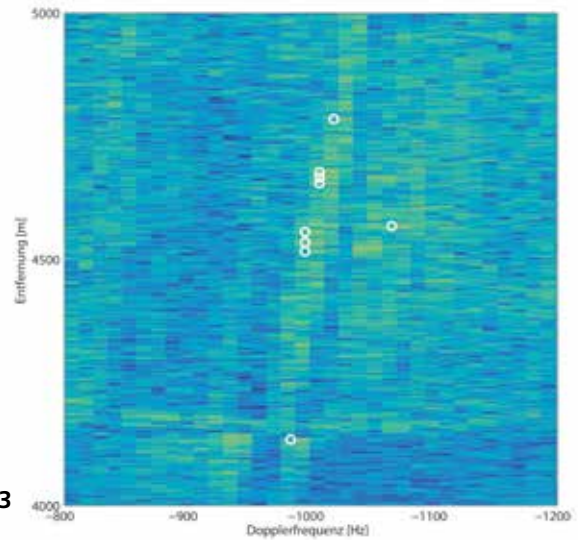
Wissensbasiertes STAP-GMTI

Sind die Eigenschaften des Clutters – mit Ausnahme der Leistung – entfernungsunabhängig, so können die Sekundärdaten beliebig gewählt werden. Anders ist die Situation bei inhomogenem Clutter, dessen Eigenschaften sich über der Entfernung und mit der Zeit ändern. In diesem Fall hat die Wahl der Sekundärdaten einen entscheidenden Einfluss auf die GMTI-Leistungsfähigkeit des Radarsystems.

2



3



Die bestmögliche Performance wird erzielt, wenn die Eigenschaften des Clutters in den Sekundärdaten denen des Clutters in der Testzelle möglichst ähnlich sind. Um dies zu erreichen, kann man entweder aus den Radardaten selbst abgeleitete Informationen oder weitere, externe Daten zur Auswahl der Sekundärdaten nutzen. In beiden Fällen spricht man von wissensbasierter Signalverarbeitung.

Am Fraunhofer FHR werden Verfahren zur wissensbasierten Signalverarbeitung vergleichend untersucht und weiterentwickelt. Die hierfür erforderlichen Daten werden mit Hilfe des am Institut entwickelten SAR/GMTI-Demonstratorsystems PAMIR erfolgen. Im Folgenden wird anhand eines Beispiels der Vorteil einer wissensbasierten Signalverarbeitung illustriert.

Verwendung von Karten

Eine mögliche Quelle zur Bestimmung geeigneter Sekundärdaten sind Karten. Mit ihrer Hilfe kann die vom Radar beleuchtete Szene in Bereiche unterschiedlicher Rückstreuungseigenschaften unterteilt werden. Die Karte kann dabei eine so genannte Clutterkarte sein, also ein mehr oder weniger hoch aufgelöstes Radarbild der Szene, aber auch eine übliche digitale Karte des Gebietes. Im letztgenannten Fall ist es von Vorteil, wenn sie auch Informationen über die Landbedeckung enthält.

Wenn eine Szene sowohl Gewässer als auch Boden enthält, ist eine Aufteilung besonders vielversprechend. Grund hierfür ist die sehr unterschiedliche Rückstreuung über Land und über Wasser. Hinzu kommt die Tatsache, dass durch die besonders starke Reflexion an Wasser-Land-Übergängen alle Uferlinien, die nicht in bzw. parallel zur Blickrichtung des Radars verlaufen, im Radarbild deutlich hervortreten.

Die Abbildungen illustrieren den Vorteil einer wissensbasierten Signalverarbeitung. Abbildung 1 zeigt die vom Radarsystem empfangene Clutterleistung einer Küstenszene. Die gestrichelten Linien markieren den Übergangsbereich vom Meer (unten) zum Land. Abbildungen 2 und 3 zeigen das Ergebnis der adaptiven Clutterunterdrückung mit STAP, wobei die Wahl der Sekundärdaten einmal ohne Wissen über die Szene und einmal nach Aufteilung derselben in die drei Bereiche Meer, Uferzone und Land erfolgte. Die weißen Kreise markieren dabei jeweils verbleibende Inhomogenitäten, die potentielle Falschalarme darstellen. Bei Verwendung der Karteninformation reduziert sich die Zahl der potentiellen Falschalarme deutlich. Sie sind in diesem Fall auf die Echos bewegter Bäume im Wind zurückzuführen.

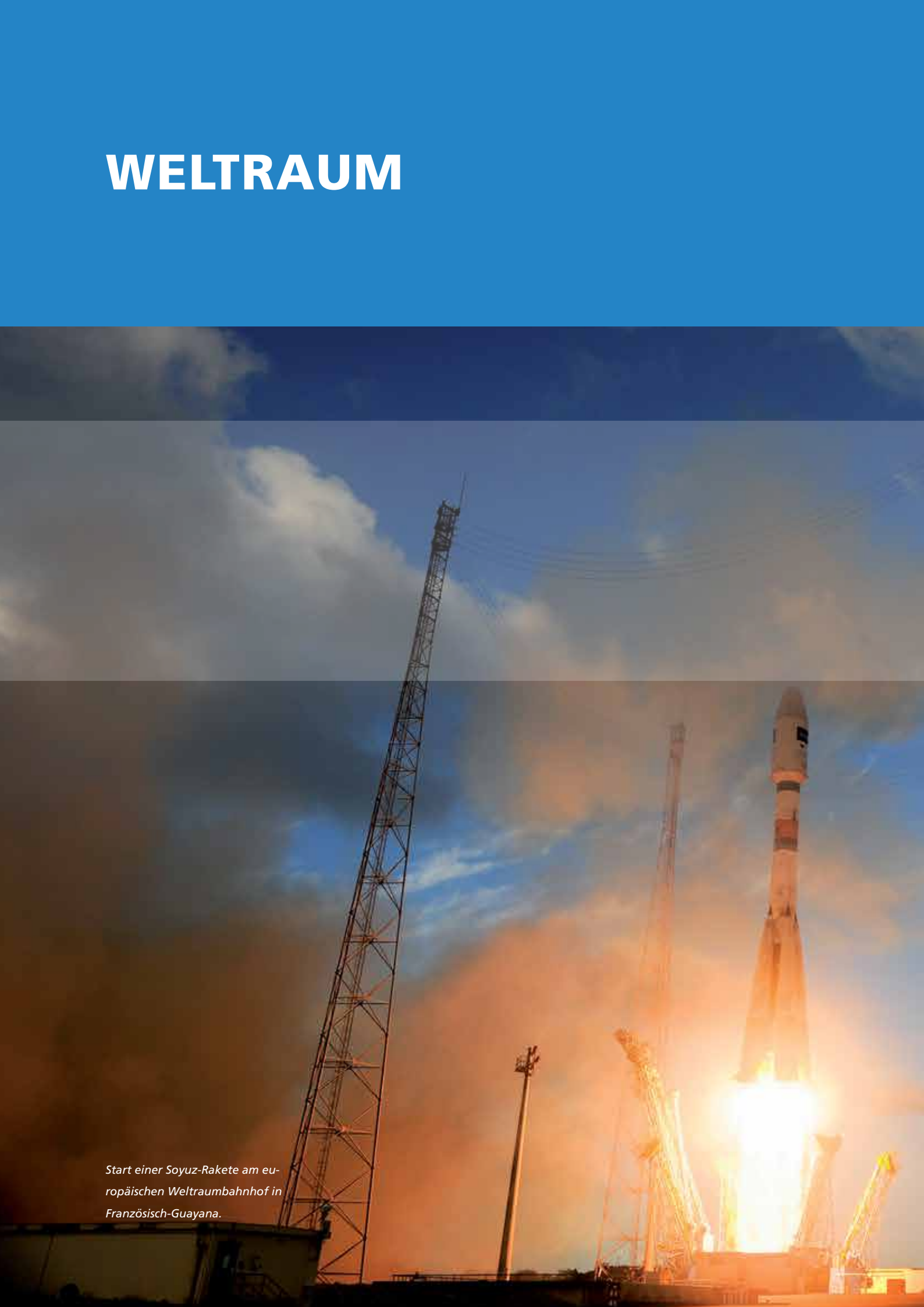
1 Vom Radarsystem empfangene Clutterleistung einer Küstenszene mit Unterteilung.

2 Ergebnis der adaptiven Clutterunterdrückung ohne Verwendung von Karteninformation.

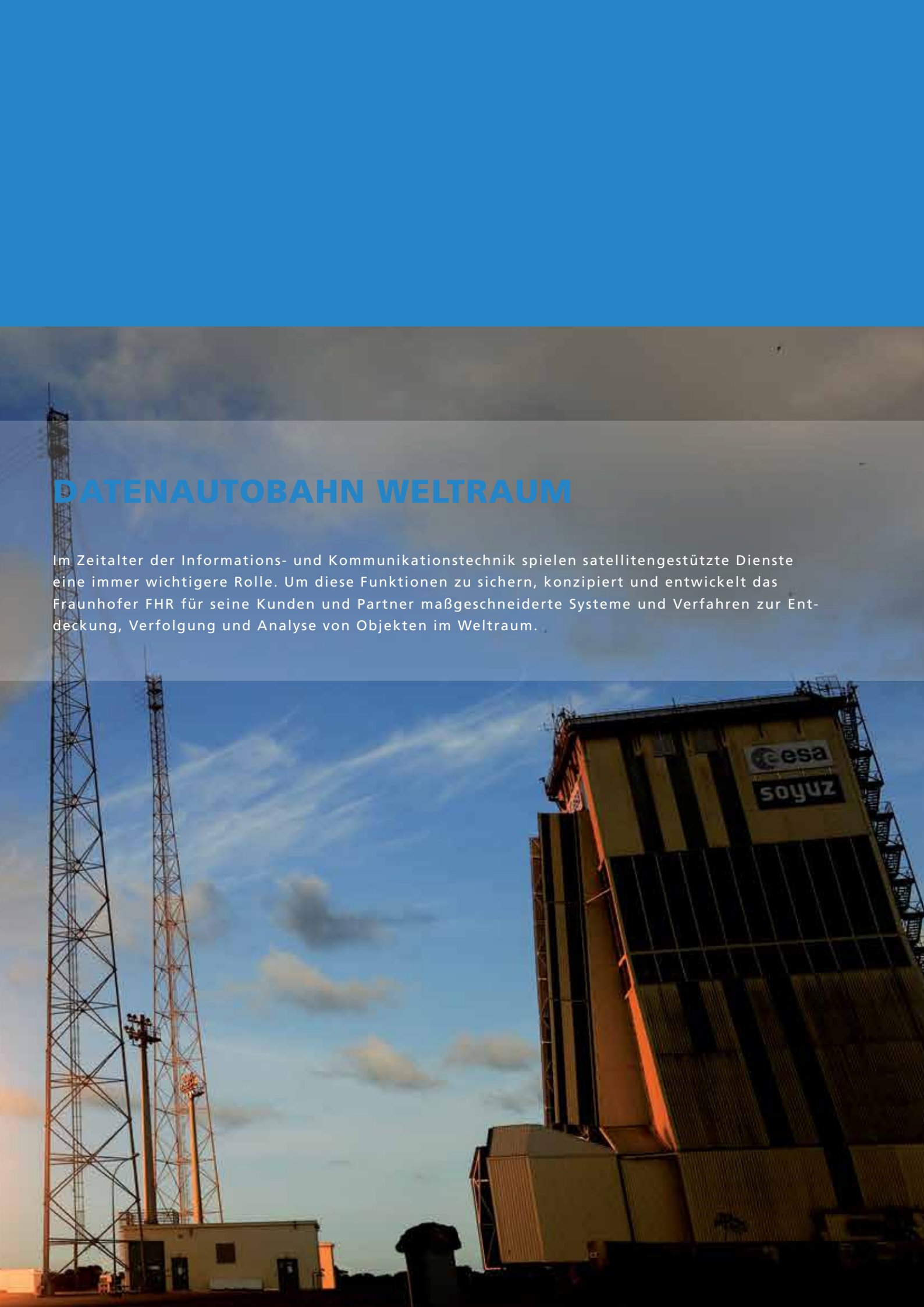
3 Ergebnis der adaptiven Clutterunterdrückung mit Verwendung von Karteninformation.

Dr. rer. nat.
Wolfram Bürger
Tel. +49 228 9435-220
wolfram.buerger@
fhr.fraunhofer.de

WELTRAUM



Start einer Soyuz-Rakete am europäischen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana.



DATENAUTOBAHN WELTRAUM

Im Zeitalter der Informations- und Kommunikationstechnik spielen satellitengestützte Dienste eine immer wichtigere Rolle. Um diese Funktionen zu sichern, konzipiert und entwickelt das Fraunhofer FHR für seine Kunden und Partner maßgeschneiderte Systeme und Verfahren zur Entdeckung, Verfolgung und Analyse von Objekten im Weltraum.

Satellitenvermessung mit TIRA

Über 700.000 Objekte mit einer Masse und Geschwindigkeit, die ausreicht, einen Satelliten erheblich zu beschädigen oder gar ganz zu zerstören, schwirren auf erdnahen Orbits um unseren Planeten. Für Objekte im Weltraum ist das mit einem Zusammenstoß einhergehende Risiko somit immens. Die mögliche Folge einer solchen Kollision ist, dass ein satelliten-gestützter Dienst ausfällt und der Betreiber die seinen Kunden geschuldete Leistung nicht mehr erbringen kann. Im Fall eines Erdbeobachtungssatelliten, der z. B. als Früherkennungssystem die Aufgabe der rechtzeitigen Entdeckung von Waldbränden übernimmt, kann der Ausfall somit sogar eine unmittelbare Gefahr für Leib und Gut bedeuten.

Seit Jahrzehnten schon beobachten und analysieren die Forscher vom Wachtberg daher Objekte und deren Bahn auf erdnahen Orbits. Diese reichen vom LEO (*Low Earth Orbit*, Bahnhöhe 200-2.000 km) bis zum HEO (*Highly Elliptical Orbit*, Bahnhöhe bis zu 400.000 km). Im Fokus ihrer wissenschaftlichen Untersuchungen stehen Objekte nahezu aller Art und Größe.

Bei den Aufgaben hilft den Forschern das *Tracking and Imaging Radar* TIRA. Es arbeitet völlig unabhängig von Licht- und Wetterverhältnissen und kann daher zu jeder Tages- und Nachtzeit eingesetzt werden. Für Satellitenbetreiber ist dies eine wertvolle Fähigkeit, um bei Bedarf auch sehr kurzfristig an wichtige Information über den Zustand von raumgestützten Systemen zu kommen.

Wo der Techniker nicht vorbeikommt

Mit TIRA können die Bahnen von Weltraumobjekten hochgenau vermessen werden, so präzise wie nirgends sonst auf der Welt (sofern öffentlich bekannt). Dies führt zu qualitativ

wesentlich besseren Kollisionsprognosen, so dass Ausweichmanöver deutlich seltener oder mit geringerem Umfang durchgeführt werden müssen. Das spart Personal- und Ressourceneinsatz. Satellitenbetreiber und Raumfahrtagenturen überall in der Welt setzen daher auf die Fähigkeiten des Fraunhofer FHR. Auch im Bereich der Wiedereintrittsprognosen von ausgedienten Satelliten oder im Rahmen von Missionen zum Aussetzen neuer Satelliten kann das Fraunhofer FHR dank dieser hochgenauen Daten wertvolle Unterstützung bieten, um den exakten Bahnverlauf zu bestimmen.

Über Bodenstationen haben Satellitenbetreiber dann regelmäßig Kontakt zu ihren aktiven Satelliten. Dieser dient dazu, Statusabfragen durchzuführen, Daten zu übertragen oder Befehle an den Satelliten zu übermitteln. Wenn ein Satellit sich nicht wie geplant meldet, hat der Betreiber in aller Regel keine Möglichkeit selber herauszufinden, wo das Problem liegt. Gleichwohl ist die schnelle Aufklärung der Schadensursache für den Betreiber eines Raumfahrtsystems von großer Bedeutung, um – auch unter ökonomischen Gesichtspunkten – für die mit dem Satelliten ausgefallenen Dienste Ersatz finden zu können. Auch in einem solchen Fall kann das Fraunhofer FHR helfen, denn mit TIRA können die Forscher den Satelliten zeitnah beobachten und hochaufgelöste Radarabbildungen erzeugen. Mittels dieser Abbildungen analysieren die Experten direkt im Anschluss, ob der Ausfallgrund gefunden werden kann oder ob eine weitere Beobachtung notwendig ist. Kein Wunder, dass die Kunden des FHR gerade auch diese enge Verzahnung zwischen Beobachtung und Analyse schätzen.

Alles Einzelstücke

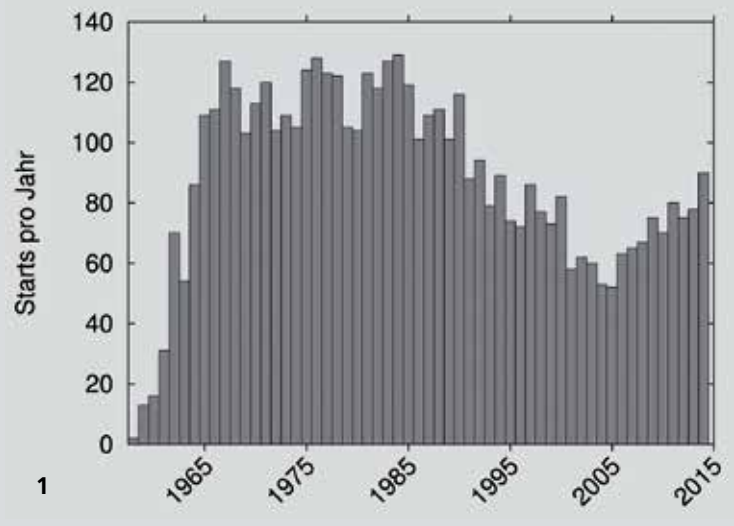
Die Erzeugung, der Empfang, insbesondere aber die Auswertung von Radarsignalen und die Analyse von Radarabbildungen ist ein sehr komplexes Unterfangen. Aufwändige Algorithmen verarbeiten die Signale zu Abbildungen von

Satelliten, die zumeist Einzelstücke und state of the art sind. Das Institut betreibt daher eine kontinuierliche, intensive Weiterentwicklung der Algorithmen und Verfahren, um jederzeit beste Ergebnisse liefern zu können.

Neben dieser Weiterentwicklung befassten sich die Wissenschaftler am FHR auch mit der Konzeption und Entwicklung von Systemen auf Basis von Phased Arrays. Aufgrund ihrer elektronisch schwenkbaren Beams eignen sich diese besonders für die Weltraumüberwachung. Komplementär zur Weltraumaufklärung liegt der Fokus hier aber nicht auf der Analyse eines bestimmten Weltraumobjekts mit dem Ziel, ein Objektmerkmal, z. B. einen Schaden oder eine Fähigkeit, aufzuklären. Aufgabe der Weltraumüberwachung ist vielmehr, die Gesamtheit der Objekte so zu erfassen, dass deren Aufenthaltsort jederzeit ermittelt werden kann. Für den Aufbau solch hochmoderner Systeme wird stets aktuelles und fundiertes Wissen sowie Erfahrung aus unterschiedlichen Disziplinen benötigt, von der Physik über Elektrotechnik bis hin zur Mathematik und Informatik. All dies vereint das FHR unter einem Dach.



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
JOACHIM ENDER
Tel. +49 228 9435-227
joachim.ender@fhr.fraunhofer.de



WELTRAUMMÜLL: WISSEN UND WISSENSLÜCKEN

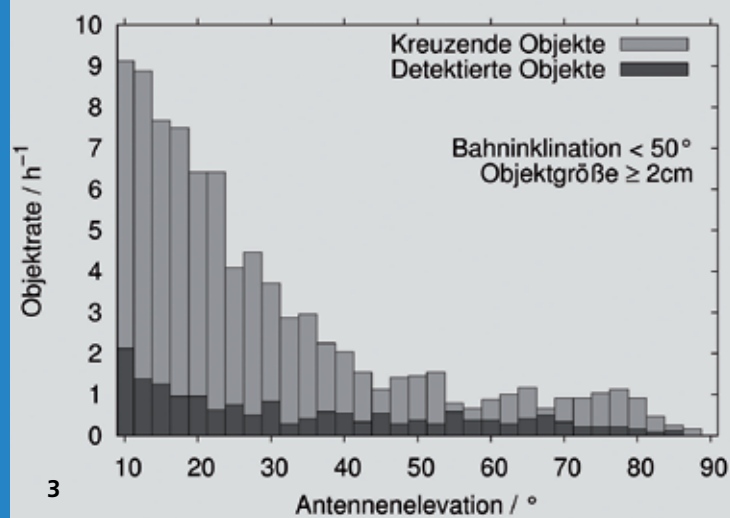
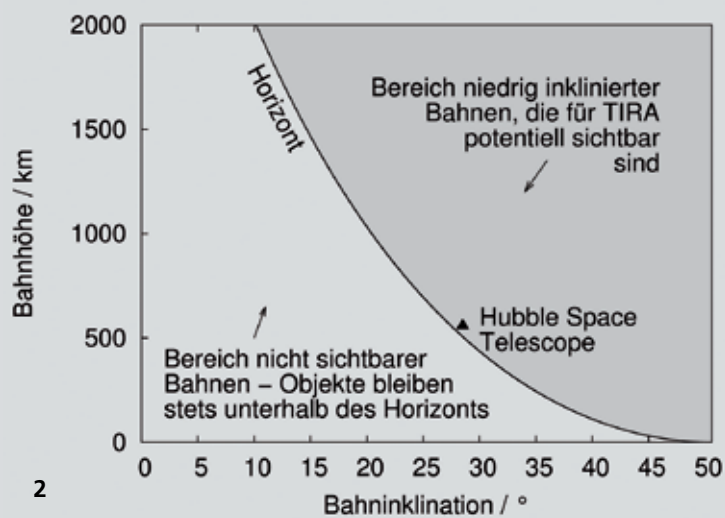
Für Satellitenbetreiber sind Ausweichmanöver, um Kollisionen mit Weltraummüll zu vermeiden, längst keine Randerscheinung mehr. Allein die Internationale Raumstation ISS musste seit 1999 insgesamt 19 Ausweichmanöver durchführen – in weiteren drei Fällen genügte die Vorwarnzeit, um ein Manöver auszuführen, nicht.

Was wir wissen – Die aktuelle Weltraummüllumgebung

Das *United States Strategic Command* (USSTRATCOM) führt unter Zuhilfenahme des *Space Surveillance Networks* einen Katalog, in dem die Bahnen von Objekten, die größer als etwa 10 cm sind, stets auf dem aktuellsten Stand gehalten werden. Dies ist der größte Katalog, der der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird, und beinhaltet aktuell 17.133 Objekte (Stand: Januar 2015). Den weitaus größten Anteil machen Trümmerstücke mit 62% aus. Aktive Satelliten bilden hingegen mit weniger als 10% nur eine kleine Untergruppe.

Im Jahr 2014 wurden 90 Raketenstarts durchgeführt, wodurch insgesamt 167 Satelliten und 57 Raketenoberstufen auf Erdumlaufbahnen gebracht wurden. Nach einem Rückgang in den 80er und 90er Jahren steigt die Startrate wieder an (siehe Abb. 1).

Bislang sind weit über 250 Fragmentierungen, auch als Folge von Zusammenstößen mit resultierenden Trümmerstücken, auf Erdumlaufbahnen bekannt. In 2014 wurden weitere zehn Ereignisse registriert, von denen vier in der am dichtest bevölkerten Höhe um 800 km stattfanden. Durch die hohe Objektdichte ist das Kollisionsrisiko in dieser Region am höchsten: alle bekannten Kollisionen katalogisierter Objekte fanden hier statt. Werden durch solche Kollisionen mehr gefährliche Fragmente erzeugt, als durch die Restreibung der Hochatmosphäre aus den Bahnen entfernt werden, so entsteht eine nur noch schwer kontrollierbare Entwicklung, die dazu führen kann, dass der Raumfahrtbetrieb in diesen Höhenbereichen über einen langen Zeitraum nicht mehr praktikabel wäre. Dieser Effekt wird als Kesslersyndrom bezeichnet. Eine der zehn Fragmentierungen fand im geostationären Bereich statt und betraf eine Raketenoberstufe der USA aus dem Jahr 1969. Obwohl man davon ausgeht, dass bereits etwa zehn Explosionen im Bereich der geostationären Satelliten stattgefunden haben, ist dies erst das dritte, offiziell bestätigte Ereignis in diesem Höhenbereich.



Wissenslücke – Objekte auf niedrig inklinierten Bahnen

Einschlagskrater oder -löcher in Solarzellen und Radiatoren der ISS oder des *Hubble Space Telescope* (HST), zeigen immer wieder, welche Gefahr selbst von Objekten ausgeht, die zu klein sind, um katalogisiert zu werden.

TIRA, das Weltraumbeobachtungsradar des Fraunhofer FHR, und das Haystack Radar des *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) zählen zu den wesentlichen Radaren, die zur Charakterisierung der kleinteiligen Weltraummüllumgebung bis zu einer Bahnhöhe von 2000 km eingesetzt werden. Sie liegen auf dem 51. respektive 42. Breitengrad. Bislang wurde die Blickrichtung der Sensoren in sogenannten Beampark Experimenten, vom Zenit ausgehend fast ausschließlich in östliche Richtung fixiert. Diese Anordnung bietet unter anderem Vorteile für die Bahnbestimmung und gute Voraussetzung für die Detektion sehr kleiner Objekte. Da der maximale Breitengrad, den ein Objekt auf einer Erdumlaufbahn überfliegen kann, gleich seiner Bahninklination ist, kann keiner der beiden Sensoren ein Objekt mit einer Bahninklination von beispielsweise 28° (wie z. B. das HST) detektieren, wenn die Antenne nicht gen Süden ausgerichtet ist (siehe Abb. 2). Die kleinteilige Weltraummüllumgebung unterhalb einer Bahninklination von 42° ist daher bislang nur schlecht charakterisiert.

Unter Zuhilfenahme der ESA-Simulationssoftware PROOF-2009 wurde eine umfassende, theoretische Auswertung durchgeführt, um festzustellen, welche Auswirkung die Blickrichtung auf die Detektierbarkeit von Weltraummüllobjekten haben könnte. Die Simulationen zeigen, dass die Detektionsrate für kleine Objekte mit Bahninklination unterhalb von 50° ansteigt, je flacher die Antenne über den Horizont ausgerichtet ist. Der größte Anteil an kleinen kreuzenden Objekten könnte jedoch bei einer Antennenelevation um 60° detektiert werden (siehe Abb. 3).

Ausblick

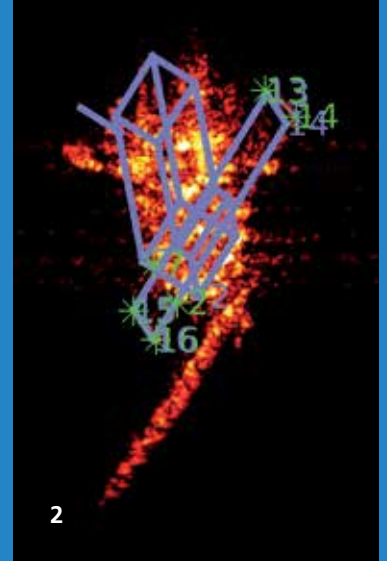
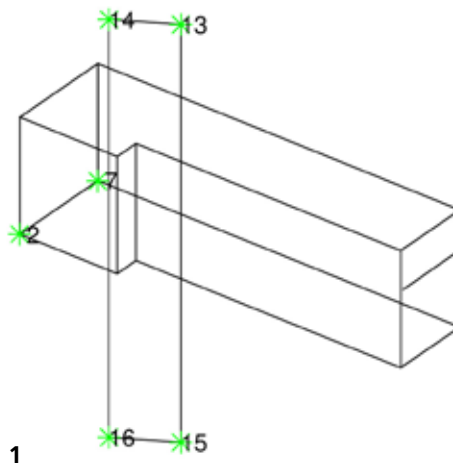
Immer wieder tauchen neue Erkenntnisse auf, die ahnen lassen, wie groß die Unsicherheiten und Lücken im Wissen über die Weltraummüllumgebung sind. Im Jahr 2014 lieferten Publikationen starke Indizien dafür, dass die Zahl der Explosionstrümmer auf hochexzentrischen Molniya- und Geotransferbahnen bislang deutlich – vielleicht sogar um ein vielfaches – unterschätzt wird: Ein weiterer Anreiz dafür, sich den schwierigen Fragen der Weltraummüllcharakterisierung zu stellen.

1 Jährliche Raketenstarts weltweit

2 Sichtbare Bahnbereiche bei nach Süden ausgerichteter Antenne des TIRA.

3 Detektierbarkeit von Weltraummüll bei nach Süden ausgerichteter Antenne von TIRA.

Dr.-Ing. Sven K. Flegel
Tel. +49 228 9435-588
sven.flegel@
fhr.fraunhofer.de



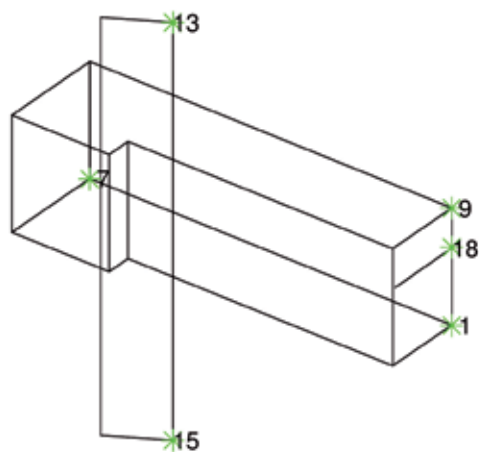
BESTIMMUNG VON LAGE UND LAGEÄNDERUNG VON WELTRAUMOBJEKTEN

Mit Analysen von ISAR-Abbildungen unterstützt das Fraunhofer FHR Satellitenbetreiber und Raumfahrtagenturen weltweit, einen möglichst störungsfreien Betrieb ihrer Systeme zu gewährleisten. Dazu wurde ein neues Tool entwickelt, um die Analyse von Ausrichtung und Rotation zu erleichtern.

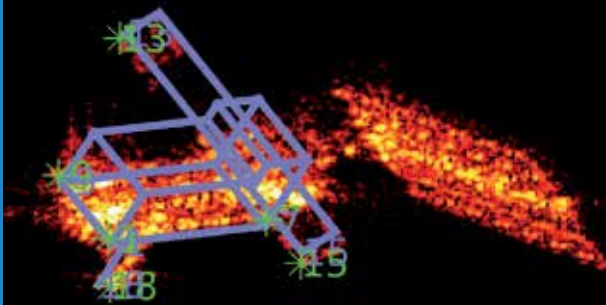
Für Satellitenbetreiber und Raumfahrtagenturen sind Informationen über den Status eines Satelliten essentiell für den sicheren Betrieb ihrer Systeme. Bei den dazu nötigen Analysen von Satelliten können aus TIRA-Daten generierte ISAR-Abbildungen wertvolle Unterstützung bieten. Für die richtige Interpretation dieser Daten ist es aber wichtig, die genaue Bahn des Satelliten zu kennen sowie Informationen über seine Ausrichtung zu haben: Fliegt er stabil oder taumelt er? Falls er taumelt, wie schnell und in welcher Richtung rotiert er?

Oft lassen sich diese Informationen aus Sequenzen von ISAR-Abbildungen extrahieren. Das Prinzip des Synthetic Aperture Radar (SAR) besteht darin, die Momentaufnahme einer großen Antenne durch viele Aufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten zu ersetzen und rechnerisch zu kombinieren. Dabei wird ausgenutzt, dass sich durch die Translations- und Rotationsbewegung der Betrachtungswinkel relativ zum Satelliten ändert. So kann aus den empfangenen Radarechos die Apertur einer großen Antenne synthetisiert und eine hohe Auflösung erzielt werden. Während bei SAR sich das Radar relativ zur Erde bewegt, sind beim Inverse SAR (ISAR) die Rollen von Radar und Messobjekt bezüglich der Bewegung vertauscht: Die Radarantenne ist fix, der Satellit bewegt sich.

Die Entfernungsauf Auflösung wird allein durch die Bandbreite des Radarsignals bestimmt während sich die Auflösung quer zur Sichtlinie durch die Beobachtungsdauer einstellen lässt, so dass die Auflösung der ISAR-Abbildung unabhängig von der Entfernung ist. Optische Abbildungen haben dagegen eine feste Winkelauf Auflösung, so dass die Auflösung mit zunehmender Entfernung schlechter wird. Im Gegensatz zur optischen Abbildung, bei der die Bildebene senkrecht zur Sichtlinie liegt, ist die Sichtlinie bei der ISAR-Abbildung in die Bildebene eingebettet. Die Querrichtung dazu, also die zweite Achse der Bildebene, und die Skalierung in dieser Richtung hängen sowohl von der translatorischen als auch von der Rotationsbewegung des Satelliten ab. Dies erschwert die Bestimmung der Rotationsbewegung beträchtlich.



3



4

Zur Bestimmung der Orientierung von Weltraumobjekten reicht es aus, die Richtung von zwei Sichtlinien zur selben Zeit relativ zum Objekt und relativ zur Erde zu kennen, was direkt nur bei gleichzeitiger Beobachtung mit zwei Radarstationen gelingt. Bei einem monostatischen Radar wie TIRA wird zur Bestimmung der Ausrichtung und Rotationsgeschwindigkeit des Satelliten stattdessen eine Zuordnung der Bildpunkte von ausgezeichneten Punktstreuern entweder zwischen verschiedenen Bildern oder zwischen Bildern und einem Modell benötigt. Fehlt ein Modell und ordnet man deswegen nur Punkte zwischen verschiedenen Bildern einander zu, braucht man mehrere Passagen eines Satelliten, um die Punktstreuer daraus dreidimensional rekonstruieren und gegebenenfalls die Parameter eines Bewegungsmodells bestimmen zu können.

Daher wurde nun ein Verfahren untersucht, bei dem Bildpunkte eines Einzelbildes entsprechenden Punkten eines Drahtgittermodells zugeordnet werden. Ein neu entworfener Algorithmus berechnet aus solchen Punktezuordnungen die Drehmatrizen für die Drehung des Modells in das Bildkoordinatensystem und die passende Querskalierung des Bildes. Kann man die Bewegung des Satelliten schon so genau schätzen, dass die daraus berechnete Bildebene nur wenig von der tatsächlichen abweicht, lässt sich die Abweichung der realen Bewegung von der angenommenen durch Verfolgung der Drehmatrizen mit guter Näherung bestimmen. Dies führt zu einer verbesserten Bewegungsschätzung.

Bilder 1 und 2 bzw. 3 und 4 illustrieren das Verfahren anhand von zwei Beispielen. Die ausgewählten Punkte im Drahtgittermodell sind in Bild 1 und 3 grün markiert. Bilder 2 und 4 zeigen die entsprechenden ISAR-Bilder mit grün markierten zugeordneten Punkten und der violett eingetragenen Projektion des automatisch gedrehten Drahtgittermodells.

Das Drahtgittermodell erleichtert die manuelle Zuordnung der Bildpunkte erheblich verglichen mit der Zuordnung von Bildpunkten nur anhand verschiedener ISAR-Abbildungen eines Satelliten. Seine Konturen dienen dabei als Orientierungshilfe. Dennoch wird bei der Interpretation der ISAR-Bilder und der Zuordnung der Bildpunkte wohl auch in Zukunft weiterhin auf menschliche Expertise zurückgegriffen werden müssen. Die Arbeit mit dem am Fraunhofer FHR entwickelten Tool beschleunigt aber die nötige Analyse und hilft so den Satellitenbetreibern, schneller auf Störungen zu reagieren.

1 Modell mit markierten Punkten.

2 ISAR-Bild mit projiziertem Modell und eingetragenen Punkten.

3 Modell mit markierten Punkten.

4 ISAR-Bild mit projiziertem Modell und eingetragenen Punkten.

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

VERKEHR



*Als Hilfsmittel zur Navigation
und für mehr Sicherheit ist Ra-
dar ein unverzichtbarer Sensor
im Land-, Luft- und Seeverkehr.*

INTELLIGENTE SENSOREN FÜR MEHR SICHERHEIT IM VERKEHR

Egal ob in der Luft, zur See oder auf der Straße: Überall ist Radar mit an Bord und unverzichtbar, um für ein sicheres Vorankommen zu sorgen. Im Geschäftsfeld Verkehr entwickelt das Fraunhofer FHR neue, bessere Sensorik und liefert kreative Lösungen für komplexe Aufgabenstellungen seiner Kunden.



Kleiner, günstiger, smarter

Durch zunehmende Miniaturisierung und den Einsatz hochintegrierter Komponenten können Radarsysteme heute so preiswert und kompakt gefertigt werden, dass sie in verschiedensten Fahrzeugtypen Einsatz finden. Das Fraunhofer FHR arbeitet daran, Fahrerassistenzsysteme, die bisher PKW's der Luxusklasse vorbehalten waren, zu einem erschwinglichen Preis auch für Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse verfügbar zu machen. So entwickelte das Fraunhofer FHR im Auftrag für einen Automobilzulieferer ein neuartiges 24 GHz-Radar, das Funktionen bisher unterschiedlicher Systeme vereinigt.

Neben robuster, preiswerter Hardware und ausgeklügelter Signalverarbeitung ist aber auch der Einbauort des Systems am Fahrzeug, unabhängig von der Plattform (Auto, Flugzeug oder Schiff), von großer Bedeutung. Das Chassis, bestehend aus metallischen Trägerkomponenten und diversen Anbauteilen aus Kunststoff, beeinflusst die Leistungsfähigkeit einer Antenne. Das Fraunhofer FHR unterstützt seine Kunden mit seiner umfassenden Kompetenz in der Simulation elektromagnetischer Felder, um das Antennenkonzept bereits in der Planungsphase zu optimieren. Dies ist vor allem in Hinblick auf höhere Frequenzen bei Automobilradaren bis 77 GHz besonders aktuell. Mit seinem fundierten Know-how im Bereich der Hochfrequenzsysteme, der modernen Signalverarbeitung und deren anspruchsvollen mathematischen Umsetzung steht es Ihnen auch beim Bau von Prototypen zur Seite.

Am Puls der Verkehrswege

Das Institut verfügt aufgrund seiner umfassenden Forschungstätigkeit der letzten Jahrzehnte über fundierte physikalische, ingenieurwissenschaftliche und mathematische Fachkenntnisse sowie über eine erstklassige technische Ausstattung auf

dem neuesten Stand der Technik. Seine Arbeiten sind darauf ausgerichtet, Probleme bei der Entwicklung eines neuen Produkts zügig und zeitnah zu lösen. Das Entwicklungsrisiko für die Kunden ist dabei gering, da sich die Wissenschaftler kontinuierlich mit nahezu allen Aspekten der Thematik befassen und auch bei schwierigen Problemen mit kreativen Lösungsmöglichkeiten überzeugen.

Im Bereich der Luftfahrt und Avonik arbeiten die Forscher des Fraunhofer FHR an innovativen Konzepten für Radarsystemen, die den Piloten bei Dunkelheit, schlechten Sichtverhältnissen und bei der Annäherung an gefährliche Hindernisse unterstützen. Insbesondere bei eingeschränkter Sicht, z. B. durch Nebel, Staub oder Rauch, zeigen sich die Stärken der Radartechnologie und hochentwickelter Signalverarbeitung gegenüber optischen Systemen.

Ein weiteres wichtiges Einsatzfeld von Radar ist der Schiffsverkehr. So verwundert es nicht, dass die Wissenschaftler auch hierfür eine neuartige Lösung parat haben: Eine sogenannte Gruppenantenne mit elektronischer Strahlschwenkung, welche die mechanisch rotierende Balkenantenne ersetzt. Dem Fraunhofer-Grundsatz – innovative und wirtschaftliche Produkte für die Praxis – folgend haben die FHR-Forscher diese Technologie für den Massenmarkt erschwinglich gemacht. Für ein neuartiges Konzept zur HF-Signalverteilung wurde den FHR-Wissenschaftlern zum wiederholten Male ein Patent zuerkannt.

Selbst ist das Radar

An der wissenschaftlichen Weltspitze ist das Fraunhofer FHR auch mit seiner Fähigkeit bewegte Ziele am Boden von fliegenden Plattformen aus zu detektieren und zu verfolgen. Damit lässt sich fließender Verkehr abbilden sowie anhand der Menge der Detektionen auch die Verkehrsdichte ermitteln. Für

Verkehrsprognosen und Umleitungsempfehlungen, aber auch kriminalistische Zwecke ein Talent von Interesse. Konzepte bei denen Quadrocopter oder ähnliche Kleinstfluggeräte, die im Schwarm operierend die Lage erfassen und an eine Verkehrszentrale übermitteln, rücken so in greifbare Nähe

Um in Zukunft gezielt auf neue Kundenwünsche eingehen zu können, hat das Fraunhofer FHR eine weitere Kompetenz im Bereich der Silizium-Germanium-Halbleitertechnologie (SiGe) aufgebaut. Durch den rasanten Fortschritt im Bereich der hochintegrierten Komponenten können preisgünstig Radar-on-chip-Systeme gefertigt werden. In Kombination mit den am Fraunhofer FHR entwickelten Technologien, Verfahren und Systemen können so neue, innovative Anwendungsmöglichkeiten in vielen Bereichen erschlossen werden.

Doch die Vision der Forscher geht noch weiter: Der Anwender soll nicht bloß eine Menge von Daten, sondern vor allem relevante Informationen und Entscheidungsempfehlungen erhalten. Genau darauf zielen die Aktivitäten des Fraunhofer FHR mit der Entwicklung eines Kognitiven Radars ab. Dieses Radar passt sich autonom an die vorherrschende Situation an und trägt somit erheblich zur Gefahrenfrüherkennung bei. Dank des erweiterten Leistungsvermögens ermöglicht es, selbständig und zuverlässig Hindernisse oder gefährliche Objekte zu erkennen und Störechos wirkungsvoll zu unterdrücken. Dabei unterstützt es nahezu jeden Verkehrsträger zu Wasser, in der Luft oder auf der Straße bei der Bewältigung zu erfüllender anspruchsvoller Sensorikaufgaben.



Geschäftsfeldsprecher:

Dr.-Ing.

ANDREAS DANKLMAYER

Tel. +49 228 9435-350

andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de



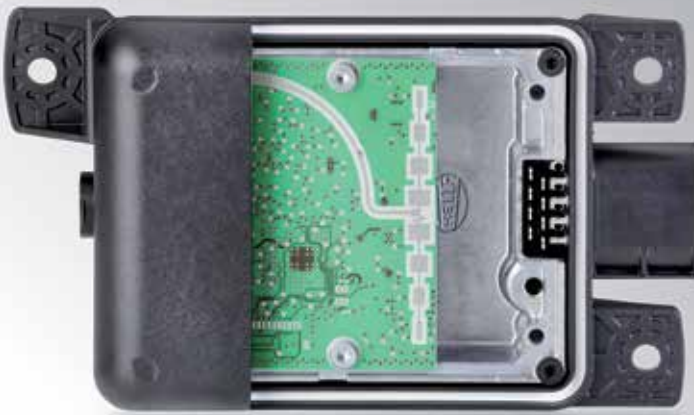
ANTENNEN FÜR AUTOMOTIVE RADAR

Durch den Einsatz moderner Sensorik machen Hersteller unsere Autos sicherer und unterstützen den Fahrer in kritischen Situationen. Damit die Komponenten von Bordradaren unter allen Umständen zuverlässig arbeiten, unterstützen Wissenschaftler am FHR die Automobilindustrie beim Entwurf von Antennen und der Positionierung der Geräte am Fahrzeug.

Unfälle im Straßenverkehr mit Personenschäden sind häufig auf nicht angepasste Geschwindigkeit oder auf ungenügenden Sicherheitsabstand zurückzuführen. Abhilfe schaffen Abstandswarnsysteme auf Basis von Radarsensoren. Sie messen kontinuierlich den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und warnen akustisch, optisch oder haptisch beim Unterschreiten des vorher vom Fahrer selbst eingestellten Abstands. Mit Abstandswarnsystemen lässt sich die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls durch zu dichtes Auffahren deutlich reduzieren.

Wissenschaftler am Fraunhofer FHR arbeiten zurzeit an der Entwicklung neuer Antennen und Hochfrequenzschaltungen für die nächste Generation des Bordradars des deutschen Automobilzulieferers Hella KGaA Hueck & Co. Dieses System basiert auf einem innovativen 24 Gigahertz-Radarsensor und bietet Sicherheitsmerkmale, die bisher Fahrzeugen der Luxusklasse vorbehalten waren, zu einem erschwinglichen Preis – auch für Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse. Das rückwärtige Radar ermöglicht mit nur zwei Sensoren vier unterschiedliche Funktionen:

- Schlecht oder gar nicht einsehbare Bereiche hinter dem Fahrzeug werden überwacht und Objekte im »toten Winkel« erkannt (*Blind Spot Detection, BSD*).
- Der sogenannte Spurwechselassistent warnt den Fahrer vor gefährlichen Situationen beim Spurwechsel und beim Überholen. Die Reichweite von rund 70 Metern gibt dem Fahrer genügend Zeit zur Reaktion, besonders im Autobahnverkehr (*Lane Change Assistant, LCA*).
- Sich von hinten nähernde Fahrzeuge werden permanent überwacht, im Fall einer drohenden Kollision werden Maßnahmen zum Schutz der Insassen ergriffen, z. B. Straffen der Anschnallgurte oder aufladen der Brems hydraulik (*Rear Pre-Crash, RPC*).
- Beim Herausfahren im Rückwärtsgang aus einer Parklücke wird sich nähernder, ansonsten nicht wahrnehmbarer Querverkehr frühzeitig erkannt und der Fahrer gewarnt (*Rear Cross Traffic Alert, RCTA*).



2



3

Die exakte Ermittlung von Abstand, Winkel und Relativgeschwindigkeit der Objekte, korrekte Spurzuordnung sowie das Erkennen und Differenzieren der Straßenrandbebauung eröffnen Potenzial für weitere Applikationen, wie etwa das Geschwindigkeits- und Abstandsregelsystem ACC oder weitere *Pre-Crash*-Funktionen. Inzwischen setzen verschiedene europäische und asiatische Fahrzeughersteller diesen Spurwechselassistenten in der Serie ein. Er findet sich bereits in mehr als 25 unterschiedlichen Baureihen wieder, weitere werden folgen.

Aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung beim Aufbau konformer Antennengruppen und der Integration von Antennen in Fahrzeuge sind die Mitarbeiter des Fraunhofer FHR maßgeblich am Entwurf des 24 Gigahertz-Antennen-Frontends beteiligt. Die Antenne und die dazu gehörigen Hochfrequenzschaltungen werden als mehrlagige gedruckte Schaltung aufgebaut. Zu den Aufgaben des Fraunhofer FHR gehört unter anderem der Schaltungsentwurf mit Vollwellen-Simulationswerkzeugen, die Optimierung des Strahlungsdiagramms, die Charakterisierung der eingesetzten Materialien für die vorgegebene Betriebsfrequenz, die Optimierung von Gehäuse und Radom sowie die Vermessung von Prototypen.

Von besonderer Bedeutung ist die Auswahl eines geeigneten Einbauorts am Fahrzeug, an dem die Charakteristik der Antenne nicht durch Wechselwirkung mit der Karosserie (z. B. Stoßfänger und Halterung) beeinträchtigt wird und die volle Funktion des Sensors gewährleistet ist. Dabei können die im Institut entwickelten Verfahren zur numerischen Modellierung elektromagnetischer Felder einen Beitrag leisten. Schon vor Beginn der Serienproduktion eines neuen Typs soll in kurzer Zeit mit Hilfe von Konstruktionsdaten des Fahrzeugs und der Antenne die Situation simuliert und günstige Einbaupositionen analysiert werden. Bei der – im Vergleich zur betrachteten Wellenlänge – großen Ausdehnung von Fahrzeugen stellt dies auch für leistungsfähige Vollwellen-Simulationswerkzeuge heute noch eine Herausforderung dar.

In Zukunft werden Fahrerassistenzsysteme nicht nur warnen, sondern können – sofern die rechtlichen Voraussetzungen dafür geschaffen sind – im Bedarfsfall auch aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen, z. B. durch Ausweich- oder Bremsmanöver. So werden Kollisionen vermieden und andere Verkehrsteilnehmer geschützt, z. B. Fußgänger oder Radfahrer. Damit wird ein weiterer Schritt auf dem Weg zu mehr Sicherheit im Straßenverkehr genommen.

1 Schon in vielen Fahrzeugen sind Radarsensoren eingebaut. Sie schaffen mehr Sicherheit und Komfort.

2 Blick auf die einzelnen Baugruppen eines 24 GHz Automotive Radar Front-Ends der Fa. Hella KGaA Hueck & Co.

3 Ein rückwärtiger Automotive Radarsensor der Fa. Hella KGaA Hueck & Co. in in einer reflexionsarmen Messkammer.

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

UMWELT

A large flock of birds, possibly swallows, is captured in flight against a bright, hazy sky. The birds are silhouetted, creating a dense pattern of dark shapes across the upper two-thirds of the image. Below them, a dark, textured ground, likely a field or forest, is visible. The overall scene conveys a sense of natural movement and environmental focus.

Am Fraunhofer FHR werden moderne Radartechnologien eingesetzt, um umweltschonende Windenergie nicht zur Todesfalle für geschützte Arten werden zu lassen.

The background image shows a large number of birds, possibly terns, in flight. They are silhouetted against a bright, hazy sky that appears to be a sunset or sunrise. A wind turbine is visible in the background, its tower and nacelle partially obscured by the sheer number of birds. The overall scene suggests a conflict between renewable energy and wildlife.

GRÜNES RADAR FÜR GRÜNE WELLE

Radar und Umwelt – was auf den ersten Blick nicht viel gemeinsam zu haben scheint, bringen Wissenschaftler am Fraunhofer FHR zusammen. Sie entwickeln neue Sensorik, um die natürlichen Ressourcen zu schonen und Tiere und Umwelt zu schützen.

Ein Radar für jede Lage

Umweltmonitoring braucht Lösungen, die zuverlässig rund um die Uhr und unter allen Wetterbedingungen arbeiten. Radartechnologie ist aufgrund ihrer Eigenschaften somit ideal für diese Aufgaben: Sie funktioniert bei Tag und Nacht sowie Nebel, Regen und Sonnenschein oder auch durch Wolken hindurch. Unterschiedlichste Materialien können mit ihr untersucht und deren Eigenschaften bestimmt werden. Damit lassen sich im Bereich des Umweltmonitorings unzählige Parameter erfassen. So kann der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln exakt gesteuert und der optimalen Erntezeitpunkt von Feldfrüchten bestimmt werden. Umweltschädliche Verschmutzungen wie Öllachen auf Wasserstraßen können ebenfalls mittels Radar frühzeitig entdeckt werden.

Seit über 55 Jahren beschäftigen sich die Forscher am Fraunhofer FHR mit Radar. Daher verfügen sie über umfassende und tiefgehende Fachkenntnisse verschiedenster Systemvarianten und -verfahren. Durch seine breit aufgestellte Expertise kann das Institut seinen Kunden auch ein Forschungskomplettpaket anbieten: Von der Machbarkeitsstudie für ein Vorhaben über Beratung bei der Umsetzung bis hin zum Funktionsdemonstrator oder gar Nullserien-Produkt. Die Mitarbeiter des Instituts kommen aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften und besitzen fundiertes Wissen in Hard- und Software. Denn ausgereifte Signalverarbeitung, die auf ihren Einsatzzweck abgestimmt ist, ist ebenso wichtig wie ein sorgfältig aufgebauter Sensor. Aufgrund seiner Kompetenz im Bereich der Systemkonzeption verfügt das Institut über einen umfassenden Gerätepark an aktiven wie passiven Experimentalsystemen und Prototypen.

In aufwändigen Modellen und Simulationen optimieren die Forscher ihr Konzept, ehe sie sich an den Bau des Systems geben. Die notwendigen Algorithmen für die komplexen Be-

rechnungen bei der Signalverarbeitung entwickelt das Institut selbst. Da jedes System eine neue Aufgabe hat, erfinden die Forscher quasi auch jedes Mal einen neuen Algorithmus für die Signalprozessierung. Dank seines Netzwerks mit namhaften Industriepartnern können die Forscher nahezu jedes Gerät auch außerhalb des Labors unter Realbedingungen testen.

Zugvögel auf dem Schirm

Für die Wissenschaftler am Fraunhofer FHR ist ein erfolgreicher Feldtest noch lange nicht das Ende ihrer Arbeit. Ihr erklärtes Ziel ist, gemeinsam mit ihrem Projektpartner ein zuverlässiges Produkt zu entwickeln. So auch im Projekt PARASOL (Passiv Radar basierte Schaltung der Objektkennzeichnung für die Luftfahrt). Gemeinsam mit dem Windparkbetreiber Dirkshof untersuchten die Wissenschaftler am Fraunhofer FHR, wie sich die rote Kollisionswarnbefeuerung auf Windkraftanlagen nur bei Bedarf einschalten lässt: Mit einem Netz aus passiven Radarsensoren werden sich annähernde Flugzeuge erkannt und die Warnbeleuchtung auf den Anlagen nur wenn nötig eingeschaltet. Somit wird die Nacht wieder dunkler, denn die nächtliche Lichtemission – auch Lichtsmog genannt – wird reduziert. Davon profitieren Anwohner sowie nachtaktive Tiere.

Das Fraunhofer-Institut lieferte für PARASOL das Systemkonzept und einen Demonstrator. Ab 2015 wird eine Testvariante für interessierte Energieunternehmen verfügbar sein. In einem nächsten Schritt wird das System dann für die amtliche Zulassung optimiert. Aus dieser erfolgreichen Kooperation ergaben sich weitere Forschungsaufträge auch mit anderen Projektpartnern.

Spektrales Sehen

Doch für eine ganzheitliche Erfassung der Umweltparameter sind mehr Daten notwendig. Am Anwendungszentrum

für multimodale und luftgestützte Sensorik (AMLS), eine Kooperation des Fraunhofer FHR und der Hochschule Koblenz, erforscht eine Gruppe die Fusion von Radar und bildgebenden Sensoren für umfassende Untersuchungen der Erdoberfläche aus der Luft. Die Anwendungsmöglichkeiten hierfür sind ebenfalls vielfältig: von der Erfassung des Zustands von Agrar- und Waldflächen bis hin zur Überwachung und Dokumentation von Naturschutzmaßnahmen.

Dazu nutzt AMLS den selbst konzipierten hyperspektralen »Snapshot Imager«. Das System wird zur fernerkundlichen Erforschung der Vegetation verwendet. Dabei werden Vegetationskennzahlen (z. B. der NDVI) aus Spektraldaten – und nicht nur aus Radar – abgeleitet, um so Rückschlüsse auf den Zustand der Pflanzen ziehen zu können. In Kooperation mit einem Unternehmen aus dem Bereich der luftgestützten, geomagnetischen Exploration wird die Technik auf mehreren hundert Hektar großen Agrarflächen in Südafrika erprobt und weiterentwickelt. Auf Grundlage der Ergebnisse soll ein anwendungsspezifisches multispektrales System entstehen.

Ein luftgestütztes Zwei-Kamerasystem zur thermalen Bildgebung großer Gebiete wurde in diesem Jahr aufgebaut und erfolgreich getestet. Das System besteht aus einer Kamera im langwelligen Infrarot-Bereich (LWIR) zur Detektion der abgestrahlten Wärme. Diese Daten werden mit räumlichen Informationen einer hochauflösenden panchromatischen Kamera ergänzt. Hierdurch werden eine präzise Georeferenzierung sowie eine Mosaikierung der Bilder möglich. Das System kommt bei einem Projekt im Bereich der Gewässerkunde zur Anwendung. Weitere Anwendungen in den Bereichen Landwirtschaft, Industrieanlagen sowie Versorgungstrassen werden zurzeit vorbereitet.



Geschäftsfeldsprecher:

Dipl.-Ing.

HEINER KUSCHEL

Tel. +49 228 9435-389

heiner.kuschel@fhr.fraunhofer.de



OASE - VOGELBEOBACHTUNG IN OFFSHORE-WINDPARKS

Off-shore Windparks und die Avifauna, geht das? Wie nehmen Vögel Windparks wahr, als Hindernisse oder als Habitat? Bedingt durch technische Limitationen konnten bisher noch keine ausreichenden Erkenntnisse zur zeitgleichen Beobachtung von Flugwegen einer Vielzahl von Vögeln im gesamten Beobachtungsraum »Offshore-Windpark« und bei schlechter Witterung sowie bei nächtlichen Flugbewegungen im Bereich von Offshore-Windparks gewonnen werden. Das Projekt OASE (Off-shore Avifauna Surveillance Evaluation), in Zusammenarbeit mit der Fraunhofer IWES und gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) soll hier Umfassende Erkenntnisse liefern.

Da die überwiegende Anzahl der Vögel im Offshore-Bereich nächtliche Flugbewegungen durchführt und Vögel nachweislich verstärkt bei schlechter Witterung mit technischen Strukturen kollidieren, besteht ein hoher Bedarf an einer diese Bedingungen einschließenden, integrativen Monitoring-Methode. Dazu eignen sich insbesondere multistatische Radarverfahren, die durch die Anordnung eines oder weniger Sender und verteilter Empfänger die Detektionswahrscheinlichkeit des richtungsabhängigen Radarrückstreuverhalten von Vögeln gegenüber monostatischen Radarverfahren erhöhen. Dadurch sind bereits systemimmanent wesentliche Kennzeichen seines Einsatzes für die Beantwortung der avifaunistischen Fragen im Offshore-Bereich gegeben. Hinzu kommt, dass insbesondere bei der Betrachtung kumulativer Effekte auf die dreidimensionale Flugbewegung von Vögeln durch die in den Folgejahren entstehenden Windpark-Cluster aussagekräftige Methoden der Detektion unabdingbar sind und sich die Redundanz der Sender- und Empfängerverteilung zur Kostensenkung nutzen lässt. Um über die räumlichen und zeitlichen Beobachtungen eines Windparks hinaus ausgedehnt werden zu können, wird die Skalierbarkeit eine Eigenschaft der eingesetzten Technologie sein.

Ziel des Projektes OASE ist deshalb, erstmals die spezifischeren, technischen Merkmale eines multistatischen Systems und seine Zweckmäßigkeit für das Monitoring von Flugbewegungen in Offshore-Windparks konzeptionell vorzubereiten sowie einen Leitfaden zur seiner Realisierung einschließlich der erforderlichen wissenschaftlichen und technischen Zwischenschritte der Validierung zu erarbeiten.

Zu den Designkriterien gehören u.a. die Verteilung der Detektoren innerhalb und an der Peripherie eines Windparks, um unter verschiedenen räumlichen Blickwinkeln Informationen



über die Flugbewegung der detektierten Vögel zu verbessern, die allwettertaugliche und tageszeitunabhängige Detektion von Flugbewegungen, der wartungsarme Betrieb und Fernbedienbarkeit sowie die Flexibilität bezüglich der Implementierung im Windpark und seine Offshore-taugliche Zuverlässigkeit. Bei der Konzepterstellung des Systems sollen die avifaunistischen Erfahrungen aus dem multistatischen PARASOL System mit nicht-kooperativen Fremdsendern wie z. B. DVB-T Sender zur Detektion und Klassifizierung von Vogelschwärmen genutzt werden.

Auf der Basis des Systemkonzeptes OASE wird es möglich sein, Optionen multistatischer Anwendungen für die Beantwortung der dringlichen avifaunistischen Fragen im Beobachtungsvolumen »Offshore-Windpark« zu bestimmen, so dass zukünftige Entwicklungsrisiken minimiert werden und sich die Aussichten für eine Realisierbarkeit wesentlich verbessern.

Das multistatische Radarsystemkonzept eröffnet die Möglichkeit, gleichzeitig den Sensornahbereich innerhalb des Windparks und die peripheren Bereiche zum Monitoring des Flugverhaltens abzudecken. Es bietet zudem neue Wege, um Störeffekte durch Radarreflexionen an Windenergieanlagen auszublenden und mithilfe von Software-Entwicklung die Objekterkennung zu optimieren. Die multistatische Anordnung erlaubt die Ortung von Vögeln unter verschiedenen Blickwinkeln über eine Impulslaufzeitdifferenz-Messung unabhängig von der Tageszeit und der Witterung. Das Systemkonzept beinhaltet auch die Optimierung der Sensor- und Senderdislozierung im Windpark bezüglich der Detektions- und Objektverfolgungsabdeckung. Die Bandbreite der Radarimpulse wird so gewählt, dass die sich dadurch ergebende Entfernungsauflösung dem mehrfachen der Abmessungen der größten zu ortenden Vögel entspricht. Durch die intermittierende Wahl unterschiedlicher Signalformen, Impulslängen, Bandbreiten und Impulswiederholraten können alternierend oder parallel verschiedene Schwerpunkte gesetzt werden. Ein Ziel ist es, alle Größenklassen von Vögeln zu erfassen und durch die Auswertung von Flügelschlagmustern und anderen Bewegungsparameter wie Flugbahnen und Schwarmverhalten Hinweise auf das Artenspektrum zu erhalten.

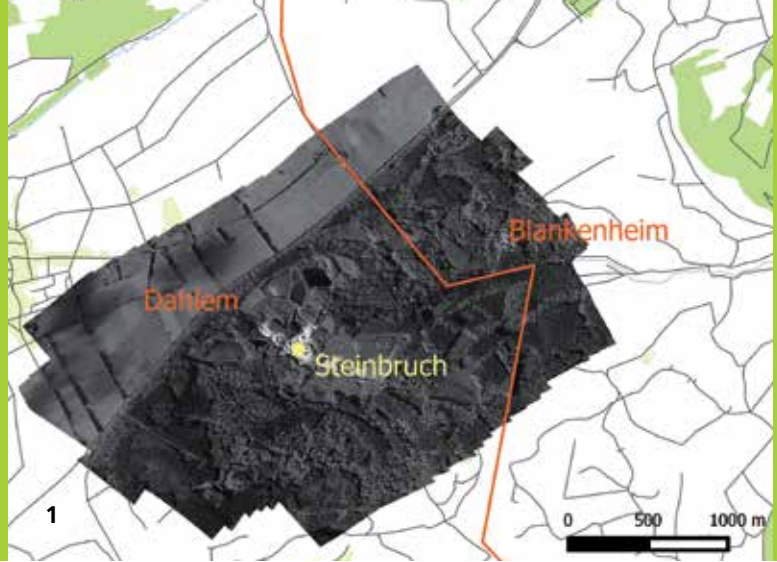
Die Systemkonzeptstudie OASE wird in eine Realisierungsphase münden, an deren Ende die Erprobung eines multistatischen Radarsystems zur Erfassung und Analyse von Vogelflugmustern innerhalb und in der Umgebung von Offshore-Windparks steht.

1 *Wie wirken sich Offshore Windparks auf die AW-Fauna aus?*

2 *PARASOL Antenneneinheit am Mast einer Windenergieanlage im Windpark Reußenköge mit zwei breitbandigen Discone- Antennen zur interferometrischen Höhenmessung.*

3 *OASE-Logo*

*Christoph Wasserzier
Tel. +49 228 9435-228
christoph.wasserzier@
fhr.fraunhofer.de*

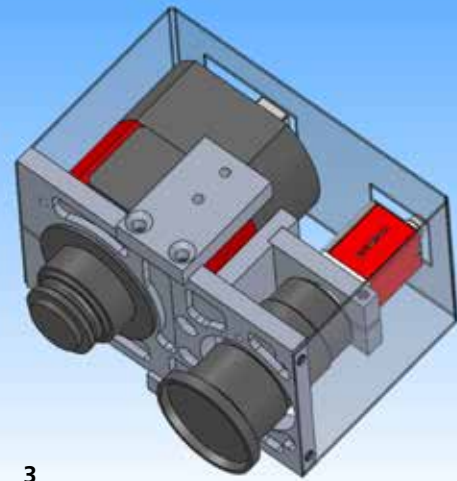
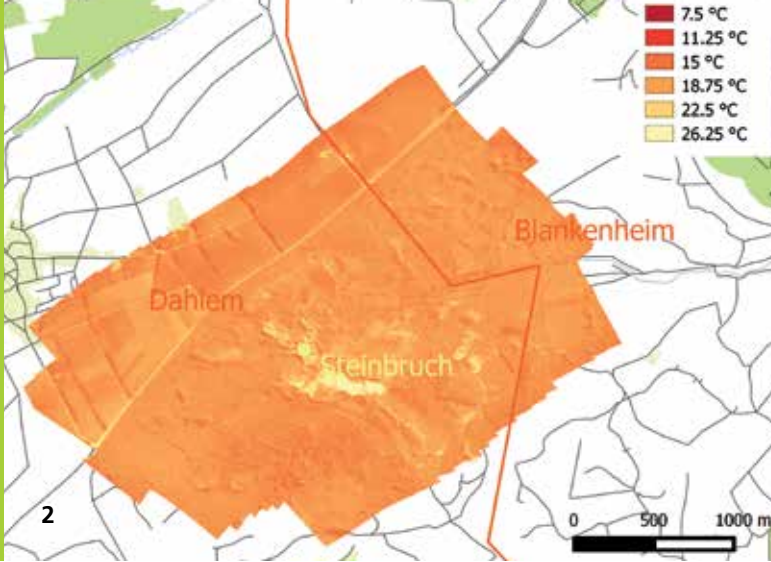


PRÄZISE WÄRMEBILDER AUS DER LUFT

Das Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik (AMLS) hat mit dem PanTIR-System eine kosteneffiziente Möglichkeit geschaffen, aus der Luft präzise Wärmebildkarten zu erstellen.

Mit Hilfe von Wärmebild- bzw. TIR-Kameras kann auf die Temperaturverteilung von Szenen geschlossen werden. Die Erstellung solcher Temperaturkarten ist auch aus der Luft von großem Interesse. Beispielsweise ist die Oberflächentemperatur von Seen und Flüssen ein wichtiger Parameter für die Wasserqualität und über die Wärmeemission von Pflanzfeldern kann auf den Wasserhaushalt bzw. Wasserbedarf geschlossen werden. Beim luftgestützten Einsatz von Wärmebildkameras treten allerdings Aspekte auf, die eine Umsetzung schwierig machen. Generell werden nach einer Befliegung die aufgenommenen Einzelbilder am Computer nachprozessiert. Eine spezielle Software sucht nach identischen Merkmalen in benachbarten Bildern und richtet diese daran aus. Der Computer puzzelt praktisch die Einzelbilder zu einem großen Luftbild zusammen. Man nennt diesen Vorgang auch Mosaikierung. Je kontrastreicher und detaillierter die Bilder sind, desto besser ist das Ergebnis. Um das Luftbild in eine geographische Karte einfügen zu können, muss zudem eine Georeferenzierung durchgeführt werden. Dazu sucht man in dem erhaltenen Luftbild nach Passpunkten, deren exakte geographische Positionen bekannt sind. Solche Passpunkte können Landmarken mit bekannten Koordinaten sein oder extra für die Befliegung ausgelegte Objekte, deren Position zuvor mit einem mobilen Präzisions-GPS-System vermessen wurden. Nach der Identifizierung mehrerer Passpunkte kann das Luftbild in die korrekte geographische Lage transformiert werden und man erhält die Luftbildkarte.

Das Problem bei Wärmebildaufnahmen ist jedoch, dass die Erdoberfläche eine relativ homogene Temperatur aufweist und daher sehr kontrastarm ist. Die geringe Auflösung der Wärmebildkameras verstärkt diesen Effekt. Ferner sind thermisch sichtbare Passpunkte zur Georeferenzierung praktisch nicht realisierbar. Daher ist die beschriebene Methode zur Luftbild-Kartenerstellung für Wärmebilder ungeeignet. Nur mit Hilfe von präzisen Inertial-Messsystem (IMU) können bisher Wärmebilder aus der Luft verarbeitet werden, die sehr exakt die Lage des Fluggerätes und der Kamera im Raum erfassen. Über die direkte Georeferenzierung der Sichtlinie der Kamera kann eine unmittelbare Zuordnung des aufgenommenen Bildes zur Erdoberfläche vorgenommen werden. Nachteilig an IMUs ist der hohe Preis, der bei sehr präzisen Versionen über 100.000 Euro liegen kann.



Der Ansatz beim PanTIR-System ist es, zwei unterschiedliche Kamerasysteme zu kombinieren. Zunächst wird eine panchromatische Kamera verwendet, die über den gesamten sichtbaren Bereich von 400 nm bis 780 nm empfindlich ist. Deren hochauflösende und kontrastreiche Bilder eignen sich hervorragend für die Computer-Nachbearbeitung. Direkt neben der panchromatischen Kamera wird die TIR-Wärmebildkamera installiert. Eine präziser mechanische Halterung sorgt dafür, dass die Kameras exakt zueinander ausgerichtet sind (Bild 3). Beide Kameras werden zeitgleich ausgelöst. Die Bildinformationen der panchromatischen und der TIR-Kamera werden dabei jeweils in der gleichen Bilddatei als unterschiedliche Ebenen gespeichert und sind damit fest miteinander verknüpft. Damit die beiden Ebenen korrekt zueinander passen, müssen einige Vorverarbeitungsschritte zur Korrektur und Registrierung des TIR-Kamerabildes durchgeführt werden. Nach der Erstellung der Gesamtkarte anhand der panchromatischen Bildinformation (Bild 1) kann die Ebene mit der thermischen Bildinformation eingeblendet und überlagert werden. Man erhält somit eine Karte mit korrekt georeferenzierter Temperaturinformation (Bild 2).

In Vorbereitung auf verschiedene hydrologische Befliegungsprojekte im Jahr 2015 wurden im Spätsommer 2014 Testflüge mit dem PanTIR-System durchgeführt. Die Bilder 1 und 2 zeigen die erhaltenen Ergebnisse für einen Flug am späten Nachmittag über einen Steinbruch in der Nähe des Flugplatzes Dahlemer Binz in der Eifel. Man erkennt gut, dass das Gestein des Steinbruchs die Wärme der Sonneneinstrahlung besser speichert als die Umgebung. Die hinterlegte OpenStreetMap-Karte zeigt zudem die gute geographische Passung der Bildinformation. Das PanTIR-System ist ein erster Schritt zur Nutzung einer panchromatischen Kamera für die Mosaikierung und Georeferenzierung von Luftbildern. Neben der gezeigten Kombination mit einer thermischen Kamera wird aktuell ein System mit mehreren Kameras im sichtbaren und nahen Infrarotbereich aufgebaut. Ziel ist die Realisierung einer Luftbild-Multispektralkamera.

1 Aus den panchromatischen Einzelbildern wird mit Hilfe einer speziellen Software eine zusammenhängende Luftbildkarte erstellt.

2 Die Einblendung der thermischen Bildinformation zeigt die Temperaturverteilung der Erdoberfläche

3 Das PanTIR-System besteht aus einer panchromatischen und einer TIR-Kamera, die parallel ausgerichtet sind. Eine elektromechanische Ansteuerung sorgt für eine beliebige Ausrichtung des Kamerasystems.

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

SICHERHEIT

SICHERHEIT DANK DURCHBLICK

Großveranstaltungen, Verkehrsknotenpunkte, öffentliche Plätze – an Orten, wo viele Menschen zusammen kommen, darf Sicherheit nicht fehlen. Das Fraunhofer FHR befasst sich in seinem Geschäftsfeld Sicherheit mit wissenschaftlichen Fragestellungen rund um diese Thematik. Dabei setzt das Institut auf seine umfassende Expertise der Hochfrequenz- und Radartechnik.

Herrenlose Gepäckstücke an öffentlichen Orten sind eine große Herausforderung für die Sicherheitskräfte.



Verborgenes wird sichtbar

Ein Schwerpunktthema der Forschungsarbeiten am FHR ist, auf Basis der Radar- und Hochfrequenztechnologie Unterstützungssysteme zu entwickeln, um Einsatz- und Rettungskräften bei ihrer riskanten Arbeit mehr Schutz bieten zu können und das Alltagsrisiko von Menschen zu reduzieren. Diese Systeme kommen in unterschiedlichsten Anwendungen zum Einsatz und machen das Verborgene – die Gefahr für die Einsatzkräfte – sichtbar.

Herrenloses Gepäck beispielsweise legt immer wieder Bahnhöfe und Flughäfen lahm. So zuletzt Anfang Januar 2015 in Zürich, es kam zu zahlreichen Verspätungen. Meist wurde das einsame Gepäckstück nur vergessen, in seltenen Fällen aber absichtlich und mit terroristischem Hintergrund platziert. Ist es zündfähig, spricht man von einer unkonventionellen Spreng- und Brandvorrichtung, kurz USBV.

Zwar stellte sich der Koffer in Zürich als harmlos heraus, doch sind solche Einsätze für die Polizei immer überaus riskant. Den Beamten fehlt die Technologie, schnell, sicher und am besten berührungslos das Gefährdungspotential solcher Gegenstände festzustellen. Für eine erste Kategorisierung – ist das liegengebliebene Gepäck nun gefährlich oder nicht – eignet sich die Hochfrequenzsensorik aufgrund ihrer Materialdurchdringungseigenschaften besonders gut. Die notwendige Sensorik kann kompakt gebaut und an einem ferngesteuerten Roboter montiert werden. So müssen sich die Einsatzkräfte nicht in eine gefährdete Lage begeben. Das Positionieren eines Detektorpanels, wie es bei Röntgengeräten benötigt wird, ist nicht erforderlich.

Ein weiteres Beispiel ist die Zusammenarbeit der Fraunhofer FHR-Wissenschaftler in einem gemeinsamen Projekt mit örtlichen Hilfsorganisationen in Kambodscha. Dort ist ein

überaus wichtiges Thema das vereinfachte – also nicht manuelle – Aufspüren von Landminen aus dem letzten Krieg. Dabei kommt eine multispektrale Sensorik zum Einsatz, die am Fraunhofer AMLS – einer Kooperation von Fraunhofer FHR und der Hochschule Koblenz – entwickelt wurde. Sie kann unter einen Tragschrauber montiert werden und somit aus der Luft große Gebiete erfassen. Die entsprechenden Möglichkeiten zur Datenauswertung stehen ebenfalls am AMLS zur Verfügung. Die Schadstoffe des Sprengstoffs im Boden werden von Pflanzen aufgenommen und in den Zellen eingelagert. Dadurch verändert sich ihr Reflexionsverhalten von Licht. Dies ist für multispektrale Sensoren sichtbar. Die bei den Überflügen über die verdächtigen Landstriche erhaltenen Informationen können den Räumungsteams in Form von georeferenzierten Karten übermittelt werden und so deren Arbeit sicherer machen.

Unterstützung im Einsatz

Diese Kompetenz, berührungslos Objekte zu erkennen und gar in sie hineinzusehen, ist aber nicht nur für kriminaltechnische Anwendungen von großem Nutzen. Insbesondere Flughafenbetreiber sind an neuen Sicherheitslösungen interessiert. Das Passagieraufkommen bundesweit steigt, gleichzeitig werden immer gründlichere Kontrollen gefordert, was die Wartezeiten verlängert. In mehreren Projekten (ATOM, TeraSCREEN, SARGATE) konnte das Fraunhofer FHR erfolgreich demonstrieren, wie die Hochfrequenztechnik vorbeugend angewendet werden kann: Neue Konzepte für Personenscanner wahren die Persönlichkeitsrechte der Reisenden, erhöhen aber gleichzeitig die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Kontrolle. Dies gelingt durch geschickte Kombination physikalischer Prinzipien mit ausgereifter Signalverarbeitung, die das Herzstück eines jeden Systems ist. Auch im Bereich der Objekt-, Fracht- und Briefkontrolle hat das Fraunhofer FHR innovative Lösungen entwickelt und gemeinsam mit Partnern zur Serienreife gebracht.

Mittels Radar können nicht nur Bilder einer Szene gemacht und Objekte detektiert werden, es lassen sich auch zeitliche Veränderungen, wie beispielsweise Bewegungen von Trümmerteilen, erfassen und analysieren. Darüber hinaus durchdringen Millimeterwellen Trübungen der Luft, beispielsweise durch Rauch oder Staub. Sie eignen sich somit auch für den Einsatz an nur schwer zugänglichen Unglücksorten mit widrigen Bedingungen, wie sie nach einem Hangrutsch oder einem Unfall in einem Verkehrstunnel herrschen. Mittels Radar können künftig Karten und Lagebilder erstellt werden, die von einem mobilen Roboter an die Einsatzkräfte übermittelt werden. So stehen diese wertvolle Informationen für die Einsatzplanung zur Verfügung – wie beispielsweise im Projekt »RAWIS«. Dies ermöglicht kontrolliertes Vorgehen und Agieren anstatt unsicheres Reagieren.

Hochintegrierte Chips auf Basis von Silizium-Germanium (kurz SiGe) lassen sich kostengünstig in der Massenproduktion herstellen. In Kombination mit dem MIMO-Prinzip sind so preiswerte, aber effiziente Systeme realisierbar, die exakt auf ihren Einsatzzweck abgestimmt sind. Das Fraunhofer FHR verfügt neben dem nötigen Verständnis der technischen Grundlagen auch über das Wissen und die Ressourcen, solche Systeme zu entwerfen und zu bauen. Dabei kommen je nach Aufgabenstellung passive Verfahren wie die Radiometrie oder aktive Hochfrequenzsensoren zum Einsatz. Darum deckt das Institut das gesamte Spektrum des erforderlichen Know-hows ab. Seinen Kunden steht das Fraunhofer FHR aber nicht nur als Forschungsdienstleister, sondern auch als kompetenter Berater zur Seite. Durch den Aufbau einer SiGe-Kompetenz am Institut kann die Entwicklung neuer Systeme in Zukunft bereits beim Chipdesign beginnen und das Fraunhofer FHR so seinen Partnern alles aus einer Hand anbieten.



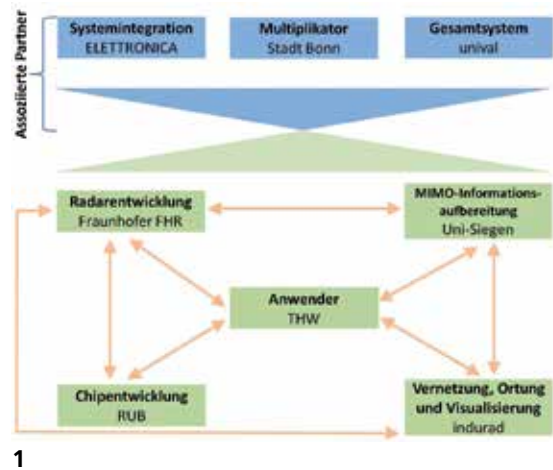
Geschäftsfeldsprecher:

M. Sc.

STEFAN A. LANG

Tel. +49 228 9435-782

stefan.lang@fhr.fraunhofer.de



RADAR WARN- UND INFORMATIONSSYSTEM (RAWIS)

In einem Konsortium von acht Partnern wird das Radar-Warn- und Informationssystem für Anwendungen im Katastrophenschutz (RAWIS) zur Unterstützung von Einsatzkräften bei komplexen Einsatzlagen entworfen und aufgebaut.

Einsatzszenario

Während der Rettungseinsätze in komplexen Einsatzlagen ergeben sich erhebliche Gefahren für die Einsatzkräfte durch instabile Trümmerberge, einsturzgefährdete Gebäudereste, beschädigtes Mauerwerk und einseitig abgerissene Gebäudeteile. Durch beispielsweise herabstürzendes Mauerwerk können so Einsatzkräfte während der Rettungsmaßnahmen selbst verschüttet und erschlagen werden. Durch das Abtragen von Trümmern und Schutt bei der Suche nach Verletzten und verschütteten Personen, ergibt sich eine sich stetig verändernde Gefahrenlage, so dass bis dahin stabile Trümmerreste innerhalb kürzester Zeit in einen instabilen Zustand übergehen können und einzustürzen drohen.

Zur Sicherung einer solch komplexen Einsatzstelle baut das Fraunhofer FHR, zusammen mit sieben weiteren Konsortialpartnern, im Projekt RAWIS ein Radar-Warn- und Informationssystem für Anwendungen im Katastrophenschutz auf. Das Projekt RAWIS wird im Rahmen des Programms »Forschung für die zivile Sicherheit« des BMBF im Themenfeld »Schutz und Rettung bei komplexen Einsatzlagen« gefördert. Ziel dieses Vorhabens ist es, ein Radarsystem zu entwickeln, das die Einsatzstelle unabhängig von Regen, Nebel, Staub und Rauch kontinuierlich und lückenlos überwacht und die Einsatzkräfte vor dem Einsturz von Trümmern, zerstörten Gebäuden und beschädigter Infrastruktur warnt.

Radarsystem

Das Gesamtradarsystem besteht aus einem Hauptradarsystem nach dem MIMO-Prinzip, welches die gesamte Einsatzstelle von einem zentralen Punkt aus flächig und lückenlos überwacht und zusätzlichen Unterstützungsradaren, die nicht einsehbare, aber dennoch gefährliche Stellen (z. B. an der Rückseite eines Gebäudes) punktuell überwachen. Ergänzt wird das Gesamtsystem



durch Active-RFIDs, die an der Kleidung der Einsatzkräfte angebracht, deren räumliche Ortung ermöglichen und somit eine gezielte Alarmgebung erlauben. Im Falle einer Warnung in einem gefährdeten Bereich der Einsatzstelle können somit die Rettungsarbeiten an einer anderen Stelle fortgesetzt werden. Die Sicherheit und die Effizienz der Rettungsarbeiten werden durch RAWIS erheblich erhöht.

Als Hauptradarsystem soll ein stationäres Radar nach dem MIMO-Prinzip realisiert werden, welches bildgebende Funktionalität besitzt und minimale Veränderungen in der zu beobachtenden Szene erkennen kann. Das System soll portabel und schnell einsatzbereit sein, da bei komplexen Einsatzlagen ein schneller Überblick über die Situation von entscheidender Bedeutung ist. Das MIMO-Prinzip hilft dabei, die Kosten des bildgebenden Systems drastisch zu reduzieren, da keine reale und voll besetzte Gruppenantenne, wie bei aktuellen bildgebenden und recht teuren Radarsystemen, benötigt wird. Auch wird keine sich bewegende Mechanik verwendet, so dass Wartungsaufwand und -kosten ebenfalls erheblich reduziert werden können. Zudem ist die Aktualisierungsfrequenz der angezeigten Informationen fast ausschließlich durch die zur Verfügung stehende Computerleistung limitiert, so dass für ein industrielles System, sehr hohe Updateraten möglich werden.

Die Unterstützungsradare bilden als kleine, akkubetriebene »low-cost« -Systeme ein Sensornetzwerk und werden in gefährdeten Bereichen positioniert, die vom Hauptradar aufgrund von Abschattungen nicht überwacht werden können. In diesen schmalen und lokal begrenzten Überwachungsbereichen werden mit den Unterstützungsradaren kleinste Bewegungen detektiert. Lässt nach Beendigung der Rettungsarbeiten das noch vorhandene Gefährdungspotenzial das Einsammeln einzelner Unterstützungsradare nicht zu, so können diese aufgrund der geringen Systemkosten an Ort und Stelle verbleiben, ohne einen allzu großen wirtschaftlichen Verlust nach sich zu ziehen.

Verbund

Neben dem Fraunhofer FHR, das sowohl Hauptradar als auch Unterstützungsradar entwirft und aufbaut, gehören dem Konsortium noch das Technische Hilfswerk (THW), die Universität Siegen, die Ruhr-Universität Bochum, die Firma indurad, sowie als assoziierte Partner die Bundesstadt Bonn und die Firmen Elettronica und unival an.

Die Projektlaufzeit beträgt drei Jahre und endet mit einer Abschlussdemonstration des Gesamtsystems auf einem THW-Übungsgelände Ende 2017.

1 Zuordnung der Partner und Aufgaben im Verbundprojekt RAWIS.

2 Moderne und kompakte MIMO-Radare wie MIRA-CLE Ka können Einsatzkräften in Katastrophengebieten eine wertvolle Unterstützung bieten.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

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



1

SCHNELLE AUFKLÄRUNG MIT DEM »USBV-INSPEKTOR«

An Flughäfen, Bahnhöfen und anderen öffentlichen Plätzen kommt es immer wieder zum Fund unidentifizierter Gepäckstücke oder anderer, verdächtiger Behälter. Die Sicherheitskräfte müssen in diesen Fällen immer von einer mutmaßlichen Bombe ausgehen. Diese Problematik ist seit kurzem Forschungsgegenstand am Fraunhofer FHR.

Das Verbundforschungsprojekt »USBV-Inspektor« hat sich zum Ziel gesetzt, den Einsatzkräften vor Ort neue Unterstützungsmöglichkeiten zu bieten. Dahinter verbergen sich Aspekte wie die Aufklärung der mutmaßlichen unkonventionellen Spreng- und Brandvorrichtung (kurz USBV) mit einem Radarsensor sowie die Tatortvermessung und Beweissicherung mit einer 3D-Umgebungserfassung und einer HDR-Optik im Sinne der Forensik.

Das Fraunhofer FHR entwickelt in diesem durch das BMBF im Rahmen des Programms »Forschung für die zivile Sicherheit 2012 -2017« geförderten Projekt gemeinsam mit dem Landeskriminalamt Nordrhein-Westfalen, der Leibniz Universität Hannover, der ELP GmbH sowie der Hentschel GmbH und den assoziierten Partnern Bundeskriminalamt und Bundespolizei eine multimodale Sensor-Suite, welche die genannten Aspekte und Unterstützungsmöglichkeiten in sich vereint. Diese Sensor-Suite wird auf einem ferngesteuerten Roboter eingesetzt und an die mutmaßliche USBV herangeführt. Innerhalb kürzester Zeit ist dann eine Aussage möglich, ob es sich bei dem verdächtigen Behälter tatsächlich um eine Bombe handelt oder ob es lediglich ein liegen gebliebenes Gepäckstück ist. Das Verbundforschungsprojekt »USBV-Inspektor« läuft noch bis Ende 2017 und wird vom Fraunhofer FHR koordiniert. Der für die schnelle Aufklärung nötige Radarsensor wird ebenfalls am Institut erforscht und entwickelt.

Technologische Basis und Forschung

Als Basis für die abbildende Technik dient dem Fraunhofer FHR ein Millimeterwellenradar mit sehr hoher Bandbreite, welches eine enorm hohe Tiefenauflösung ermöglicht. Der Einsatz dieses Radars im Zusammenspiel mit dem synthetischen Apertur Radar (SAR) Verfahren führt zu einem hochauflösenden Radar-Imaging von beliebigen Objekten. Auf Grund der guten Materialdurchdringungseigenschaften kann in die Behälter hineingesehen werden und deren Inhalte



werden dreidimensional messbar. Mit diesem Radar-Imaging wird die schnelle Identifikation einer USBV anhand der räumlichen Ausprägung und lokalen Ausgestaltung des Objektes im Behälter möglich.

Neben dem Sensor erforschen die Wissenschaftler außerdem, wie die optimale SAR-Trajektorie zur Vermessung des Behälters ermittelt werden kann: Diese hängt von der jeweiligen Form des Behälters, seiner Position in der Umgebung sowie der Position des Roboters ab, wobei zur Ermittlung dieser Rahmenbedingungen auf die Daten der 3D-Umgebungserfassung zugegriffen wird. Der nächste Schritt besteht dann in einer Evaluation, wie diese Rahmenbedingungen genutzt werden können, um damit das bestmögliche Verhältnis aus Geschwindigkeit der Messung und Auflösung zu finden, um die für die Aufklärung benötigte Zeit zu minimieren. Die Form und Umgebung des Behälters geben daher vor, wie die SAR-Trajektorie aussehen kann, und die Datengewinnung sowie Bildrekonstruktion werden darauf abgestimmt.

Da der für die SAR-Abbildung verwendete Roboterarm während der Messung mit einer gewissen Eigenbewegung schwingt, muss diese Form der Eigenbewegung mit einem Inertialsensor mit Zeitstempeln gemessen werden und bei der Berechnung der hochaufgelösten Bilder berücksichtigt werden. Schon kleine, nicht berücksichtigte Positionsabweichungen bei den Messungen können zu Verschmierungeffekten im Bild führen, was natürlich zu einer Verschlechterung der Identifikation führt und mit der Eigenbewegungskompensation verhindert wird.

Innovationen

Neben den technischen Innovationen seitens des Fraunhofer FHR auf dem Gebiet des Radar-Imaging und den Forschungsgebieten der anderen Partner, wird den Einsatzkräften vor Ort mit der multimodalen Sensor-Suite eine ganze Reihe weiterer Innovationen eröffnet. So treten beispielsweise die Aspekte der Forensik zunehmend in den Vordergrund, wenn es darum geht, die Beweisführung gegenüber den Tätern zu verbessern. Die multimodale Sensor-Suite bietet hier mit der dreidimensionalen Tatortvermessung der optischen Beweissicherung die entsprechende Grundlage. Zudem müssen sich die Einsatzkräfte für die schnelle Aufklärung ohne Röntgentechnik nicht mehr selbst direkt der Explosionsgefahr aussetzen, was erst durch die Erforschung und Entwicklung des Radar-Imaging möglich wird.

1 Untersuchung einer verdächtigen Weste auf Sprengstoff.

2 Untersuchung eines verdächtigen Koffers mit dem Fernlenkmanipulator PackBot®.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

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

PRODUKTION



*Mittels Terahertz-Technologie
können (gleichfarbige) Kunst-
stoffe sortenrein sortiert und so-
mit effizienter recycelt werden.*

MIT VIEL HERTZ FÜR DIE PRODUKTION

Im produzierenden Gewerbe kommt es auf jedes Stück an, das hergestellt wird und auch in den Verkauf gelangt. Das Fraunhofer FHR hilft Erzeugern mit neuer, in-line-fähiger Sensorik ihren Ausschuss weiter zu reduzieren, hin zur Null-Fehler-Produktion.



Forschung dicht am Produkt

Zuverlässig und langlebig halten, was die Werbung versprochen hat. Das erwarten Kunden von den Produkten, die sie erwerben – völlig unabhängig vom Einsatzzweck. Darum setzt die Industrie bei ihrer Produktion auf ein ganzes Arsenal an Sensorik, um bereits auf der Bandstraße in der Fabrik etwaige Fehler aufzuspüren und die mangelbehafteten Erzeugnisse auszusortieren.

Relativ neu in der Familie der elektronischen Spürhunde sind Hochfrequenzsensoren. Und sie haben eine Menge zu bieten: Im Frequenzspektrum von einigen Megahertz bis in den unteren Terahertzbereich hinein spüren sie Verunreinigungen in Lebensmitteln auf, helfen bei der sortenreinen Sortierung schwarzer Kunststoffe oder erkennen fehlerhafte Bestückung oder Verpackung unterschiedlichster Produkte – Fragestellungen, so spezifisch, dass verfügbare kommerzielle Lösungen an ihre Grenzen stoßen.

Hier setzt die Forschung des Fraunhofer FHR an. Sensorik für Produktion und Industrieanwendungen sind bereits seit vielen Jahren ein Schwerpunktthema der wissenschaftlichen Arbeiten. Das Institut verfügt über die nötige Basistechnologie und viele Jahrzehnte Erfahrung im Bereich der Hochfrequenzphysik. Daher bekommt der Kunde von der Idee bis zur Nullserie auch alles aus einer Hand. Durch kurze Innovationszyklen sorgen die Wissenschaftler dafür, dass die Technologie stets auf dem neusten Stand ist. Das hilft den Unternehmen, ihre Marktposition zu festigen.

Stahl und Kekse

Bereits binnen sechs bis acht Wochen können die Wissenschaftler in einer ersten Kurzanalyse sagen, ob eine neue Hochfrequenz-Messmethode prinzipiell funktioniert. Eine kon-

krete Machbarkeitsstudie dauert je nach Ausführlichkeit neun bis zwölf Monate. Auch die Konzeptionierung des Systems sowie den Bau eines Prototyps übernehmen die Wissenschaftler auf Wunsch. Natürlich begleiten sie den Kunden auch bei der Integration einer Testanlage in seinen Produktionsbetrieb. So zum Beispiel auch bei einem deutschen Stahl-Hersteller: Die Anfrage an das FHR kam Anfang 2010 – Ende desselben Jahres wurde die erste Testanlage installiert, die seitdem kontinuierlich verbessert wird. Inzwischen möchten auch andere Unternehmen diese Technologie in ihrer Fertigung einsetzen.

Mittels Millimeterwellen können die Wissenschaftler aber nicht nur feststellen, ob die Endabmessungen des Produkts der Bestellung entsprechen, sondern auch erkennen, ob die Klebeschicht zwischen zwei Materialien dick genug aufgetragen ist. Radar kann Glassplitter in Keksen finden – oder detektieren, ob in jedem Stück Schokolade wenigstens eine Mandel steckt. Doch die Hochfrequenzsensorik kann noch mehr: Denkbar wäre es auch, den Reifegrad von Kiwis und Mangos zu bestimmen. So würden nur wirklich reife Früchte in Supermärkten ausliegen und die Kunden könnten bedenkenlos zugreifen. Entsprechende Testmessungen haben die Forscher am Fraunhofer FHR bereits durchgeführt.

In den Frequenzbereichen 30, 60 und 90 Gigahertz kann das Institut schnell verfügbare Lösungen für unterschiedliche Aufgaben anbieten. Zum Beispiel im Bereich der Lebensmittelproduktion kann das Anwendungsspektrum der Radartechnologie von der Rohstoffherzeugung über die Herstellung bis zur heimischen Küche reichen: Sensoren an Agrarmaschinen können bereits auf dem Feld die Erntemenge bestimmen. Auf den Bandstraßen in den Fabriken kontrollieren Hochfrequenzdetektoren *in-line* den Gefrier- oder Garprozess, überwachen die Zusammensetzung oder bestimmen kristalline Struktur – auch bei bereits (metallfrei) verpackten Produkten. So würde Schokolade, die schon einmal aufgeschmolzen war und somit

deutlich an Geschmacksqualität einbüßt, aussortiert, ehe sie in den Handel käme. Die Einsatzmöglichkeiten der Hochfrequenztechnik in und um die Produktion sind vielfältig.

Innovationskompetenz für die Industrie

Das ist der Kerngedanke von Fraunhofer: Kostenbewusstes Forschen für praktische Anwendungen mit Vorteilsnutzen für die Partner. Bei der Entwicklung einer kundenspezifischen Lösung stehen neben Preis und möglichst kurzer Entwicklungsdauer auch Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Anlage im Fokus. Das hauseigene Testlabor verfügt über umfangreiche Ausstattung. Experimentalaufbauten unterschiedlicher Scan-Konzepte können Materialproben von 100 Megahertz bis 2 Terahertz durchleuchten, prüfen und charakterisieren. Das Ganze bei Bedarf auch auf einer Bandstraße bei bis zu einem Meter pro Sekunde Bandgeschwindigkeit. Ergänzend stehen auch ein Terahertzspektrometer sowie weitere Radarsensoren zur Verfügung.

Zur Ergänzung seines Portfolios hat das Fraunhofer FHR eine Kompetenz im Chip-Design am Institut aufgebaut. Die Arbeitsgruppe entwirft kostengünstige und massenmarktaugliche Hochfrequenz-Schaltungen auf Basis von Silizium-Germanium. Ein solches *Radar-on-a-chip* ermöglicht es gleichzeitig, die Systeme kundenspezifisch aufzubauen. Damit folgt das Fraunhofer FHR ganz der Tradition des Namensgebers der Fraunhofer-Gesellschaft: Als Wissenschaftler und Unternehmer hatte Joseph von Fraunhofer nicht nur im Blick, wie es noch besser geht, sondern eben auch preiswerter.



Geschäftsfeldsprecher:

Dipl.-Ing

DIRK NÜßLER

Tel. +49 228 9435-550

dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de



PRÄZISIONSMESSUNGEN IM STAHLWERK

Stahlwerke sind aufgrund der extremen Arbeitsbedingungen eine besondere Herausforderung für die Präzisionsmesstechnik der Qualitätssicherung. Insoweit sind sie das perfekte Arbeitsumfeld für robuste Radarsysteme.

Radartechnik für höchste Anforderungen

Warm- und Kaltwalzprozessen kommt im Rahmen der Stahlproduktion eine besondere Bedeutung zu, da sie maßgeblich die Qualität des Endproduktes, welches als aufgewickeltes Metallband (»Coil«) ausgeliefert wird, beeinflussen. Radarsysteme bieten aufgrund ihrer Robustheit eine sinnvolle Ergänzung zu bestehenden Messverfahren. Dabei sind die Rahmenbedingungen für präzise Messsysteme im Stahlwerk alles andere als optimal: Schmutz, Dampf, Vibrationen und Temperaturschwankungen erschweren den Einsatz empfindlicher Messmittel. Gleichzeitig sind die Anforderungen an die Systeme sehr hoch, 24/7 Betrieb, hohe Ausfallsicherheit und eine Messgenauigkeit, die bei wenigen hundert Mikrometern liegt, sind nur einige der Anforderungen an die Sensoren. Radarsysteme sind bekannt dafür, dass die verwendeten elektromagnetischen Wellen auch unter erschwerten Sichtbedingungen unverfälschte Messungen erlauben. Aus diesem Grunde basieren viele Systeme in sicherheitsrelevanten Anwendungen auf Radartechnologie – sei es bei der Personenkontrolle, der Überwachung des Luftraums zur Kollisionsvermeidung oder bei den Fahrassistenz-Systemen in modernen Fahrzeugen.

Diese Gründe motivierten die Entwicklung von Radar-Sensoren für die Stahlindustrie. Dabei sind die Messaufgaben vielfältig. Sie erlauben die Vermessung der Breite von Bändern, eignen sich aber auch zur Bestimmung der Materialstärke des durchlaufenden Bandes oder halten die Bänder in Kombination mit einer Regelung in der Mitte der Führungsrolle. Die Messungen erfolgen dabei berührungslos auch über mehrere Meter Abstand, bei hohen Bandgeschwindigkeiten von 4 bis 20 Metern pro Sekunde und hoher Messgenauigkeit. Um den Geschwindigkeitsanforderung in den Anlagen gerecht zu werden, laufen die Auswerteprozesse auf modernen FPGAs. Damit ist sichergestellt, dass die Systeme den Anforderungen der Anlagen an eine Echtzeit-Prozessierung gerecht werden. Insbesondere im Warmwalzwerken sind dabei die Sichtbedingungen aufgrund des starken Kühlmitelesinsatzes extrem schwierig. Gerade unter diesen Bedingungen können Radarsysteme ihre besondere Stärke ausspielen und zeigen hervorragende Ergebnisse. Ausschlaggebend ist dabei die hohe Messdynamik, über welche



die eigens entwickelten Radarsysteme verfügen. Der erreichte Dynamikbereich der operativen Systeme liegt je nach Anwendung zwischen 60 dB und 90 dB. Das bedeutet, dass selbst wenn nur der Einmillionenste Teil der ausgesendeten Sendeleistung das Radar wieder erreicht, der Abstand zur Bandkante detektiert werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Radarstrahlung durch den Sprühnebel kaum gedämpft wird.

Präzision durch innovative Verfahren

Diese Präzision lässt sich mit einfachen Standardverfahren nicht mehr erreichen. Aus diesem Grunde wurden speziell auf die Frequenz modulierten Radarverfahren abgestimmte Algorithmen zur Hochauflösung sowie neu Verfahren zur Inline-Kalibration entwickelt und implementiert. In den letzten Jahren konnte in unterschiedlichen Anlagen und Werken die Leistungsfähigkeit moderner Radarsensorik demonstriert werden. Dabei mussten anfänglich eine Vielzahl von Herausforderungen überwunden werden. Bei der Umsetzung von Labormessungen in das reale Arbeitsumfeld entstanden Probleme und Herausforderungen, die umfangreiche technologische Anpassungen erforderlich machten. So mussten mechanische Konstruktionen für die rauen Umgebungsbedingungen gehärtet werden, genauso wie für den Dauerbetrieb ausgelegte Hard- und Softwareschnittstellen entwickelt wurden. Die Anpassungen für das jeweilige Anlagen sind dabei unterschiedlich. So ist sichergestellt, dass jede Anlage ihre maßgeschneiderte Lösung erhält. Das Ergebnis ist ein robuster universell einsetzbarer Radarsensor, der sowohl zur Kontrolle von Kalt- als auch Walzwarmprozessen eingesetzt werden kann.

Die Umsetzung in reale Produkte erfolgt mit industriellen Partnern, die auf die Integration von Messtechnik in Industrieanlagen für die Stahlproduktion spezialisiert sind. Ziel ist dabei immer das Produkt nicht aus den Augen zu verlieren und unsere Kunden von der Idee bis zum fertigen Produkt zu begleiten und zu unterstützen. Im Wettkampf um das beste System wird dabei eine neue Runde eingeläutet. Waren die bisherigen Systeme noch aus diskreten Einzelteilen aufgebaut, wird die nächste Generation von Radarsystemen komplett auf einem einzelnen Chip in günstiger SiGe-Technologie gefertigt. Dieses öffnet die Pforte zu komplexen mehrkanaligen Systemen in der Stahlproduktion und ebnet damit den Weg zu einer völlig neuen Generation von Messsystemen.

1 *Heißer Rohstahl auf dem Fließband.*

2 *Fertige Stahlbänder bereit zur Auslieferung.*

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



BAUSUBSTANZUNTERSUCHUNG

Im Rahmen einer Kooperation mit der Firma Anritsu hat das Fraunhofer FHR eine Machbarkeitsstudie zum Thema Bausubstanzuntersuchung durchgeführt. Es wurden Fragen untersucht wie: Können Infrastrukturen wie Wasserleitungen in den Wänden sichtbar gemacht werden? Die Studie gibt eine eindeutige Antwort.

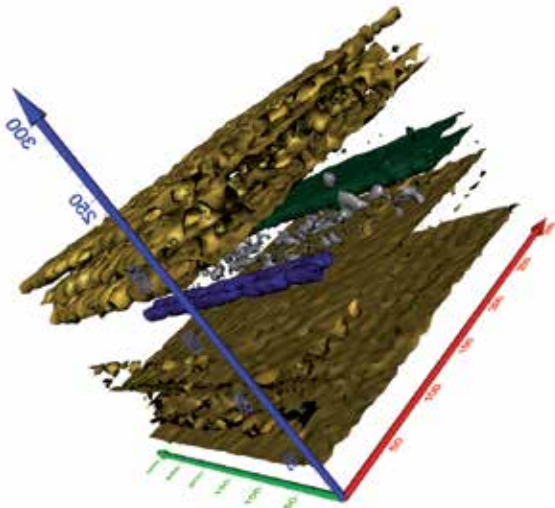
Messprinzip

Für die Studie wurde ein 80 GHz FMCW-Radar mit einer Bandbreite von 25 GHz genutzt, welches auf einem SiGe-Chip basiert. Als mechatronische Basis diente ein XY-Scanner, der mit Hilfe eines vertikalen und eines horizontalen Linearschlittens das Radar auf einer mäanderförmigen Bahn bewegt. Zu jedem Linearschlitten gehört auch ein Schrittmotor, der eine hochgenaue Positionierung des Radars ermöglicht. Während der Radarbewegung wird eine enorme Menge an Messungen von der Wand gemacht, welche in einem späteren Rekonstruktionsprozess zu einem Bild transformiert wird. Hier wird das Prinzip des synthetischen Apertur Radars (SAR) verwendet, um hochaufgelöste Bilder des Wandinneren zu generieren. Das bedeutet, dass die einzelnen Radarmessungen synthetisch am Computer zu einer großen Apertur kombiniert werden. Bei dem computergestützten Rekonstruktionsverfahren handelt es sich um einen dreidimensionalen Matched Filter, der die bestmöglichen Bildergebnisse liefert. Das Innere der gemessenen Wand wird anschließend dreidimensional aufbereitet und visualisiert. Die Ergebnisbilder machen somit das Innenleben der Wand sichtbar.

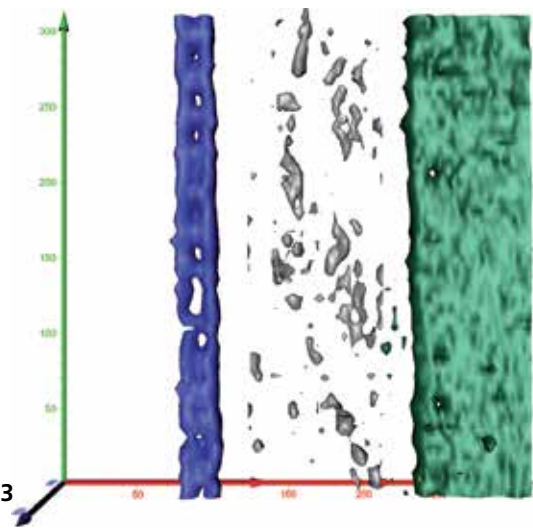
Machbarkeitsstudie

Die in Bild 1 gezeigte Trockenbauwand wurde eigens für die Machbarkeitsstudie angefertigt und bietet die Möglichkeit, von oben verschiedene Objekte in die mit Steinwolle gefüllte Trockenbauwand einzubetten. Die Wand besteht auf jeder Seite aus zwei hintereinander montierten Gipswänden. Diese sind im Ergebnisbild 2 in der dreidimensionalen Darstellung eindeutig als Vorder- und Rückseite erkennbar. Die drei Reflexionsebenen entstehen durch die Übergänge zwischen Luft und Gips und umgekehrt. Die Metallständer der Trockenbauwand sind in den Ergebnisbildern nicht zu sehen, da hier ein zentraler Bildausschnitt in der Mitte der Wand gewählt wurde. Für die Machbarkeitsstudie wurden mehrere Zusammenstellungen verschiedener Objekte vermessen wie beispielsweise Plastikrohre, Holzbretter, elektrische Leitungen, Wasserrohre und eine Hutschiene. Die Bilder 2 und 3 zeigen die Rekonstruktionser-

2



3



gebnisse an dem Sampleset bestehend aus Hutschiene, leerem Plastikrohr und Holzbrett. Die Auflösung ist dabei so gut, dass sogar die Langlöcher der Hutschiene gesehen werden. Zudem ist das System in der Lage, leere Plastikrohre in der Wand zu entdecken, was im Bild 3 durch die zerfaserte Struktur in der Mitte gekennzeichnet ist. Das Holzbrett ist ebenfalls als Infrastruktur erkennbar. Das Radar bietet zudem die Möglichkeit der Tiefeninformation, wodurch die genaue Lokalisation der Infrastruktur in der Wand möglich ist. Als Antwort auf die eingangs formulierte Frage kann also gesagt werden, dass eine dreidimensionale Abbildung des Wandinneren möglich ist und Infrastrukturen eindeutig erkennbar werden.

Applikationen

Die Bausubstanzuntersuchung wie bisher beschrieben ist die naheliegende Anwendung für das dargestellte Messprinzip. Dabei ist die Untersuchung von Objekten nicht nur auf Trockenbauwände reduziert, sondern kann an allen möglichen Wandarten, Böden oder Decken durchgeführt werden. Das Experimentalsystem kann in ein transportables Design für den Einsatz auf Baustellen überführt werden, um Handwerker oder Ingenieure bei der Arbeit zu unterstützen. Auf diese Weise werden Sanierungsarbeiten an bereits vorhandener Bausubstanz ohne Kollateralschäden wie angebohrte Wasser- oder Elektroleitungen möglich. Zudem können trotz dem Vorhandensein von Infrastrukturen in den Wänden Modifikationen an denselben vorgenommen werden, da die genaue Position der Infrastruktur bekannt ist. Eine zusätzliche Anwendung ist die Nutzung des Systems für gutachterliche Stellungnahmen zu vorhandener Bausubstanz. Mit dem System kann das Innere der Bausubstanz hochgenau dargestellt werden, wodurch eine Beurteilung derselben ohne Öffnung möglich wird.

1 Der Millimeterwellenscanner im Einsatz bei der Untersuchung einer Trockenbauwand.

2 Dreidimensionale Rekonstruktion der Trockenbauwand mit innenliegenden Objekten.

3 Rekonstruktion der innenliegenden Objekte.

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

EMERGING TECHNOLOGIES – ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

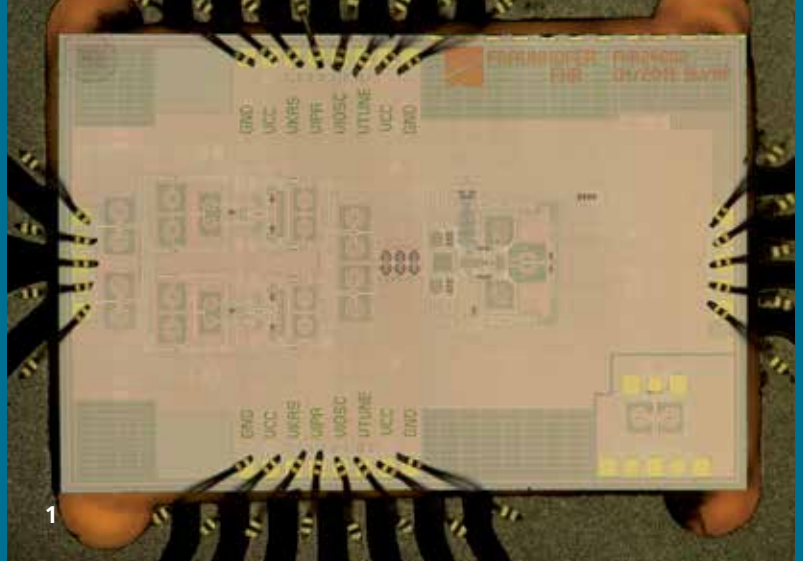


On-Wafer-Prober zur Hochfrequenzvermessung von integrierten Schaltungen.



TECHNOLOGIEN UND VERFAHREN FÜR ALLE GESCHÄFTSFELDER

Am Fraunhofer FHR werden auch geschäftsfeldübergreifend Zukunftstechnologien und Verfahren entwickelt, die für zahlreiche Anwendungen nützlich sind.



VON DER IDEE ZUM ERSTEN SIGE-CHIP AM FHR

Durch ihre beeindruckenden Fähigkeiten erobern moderne Silizium-Germanium-Technologien immer mehr Bereiche in der Radartechnik. Doch die Erzeugung großer Signalpegel galt bisher als Limitierung. Genau dieser Herausforderung stellt sich der erste am Fraunhofer FHR entworfene SiGe-Chip.

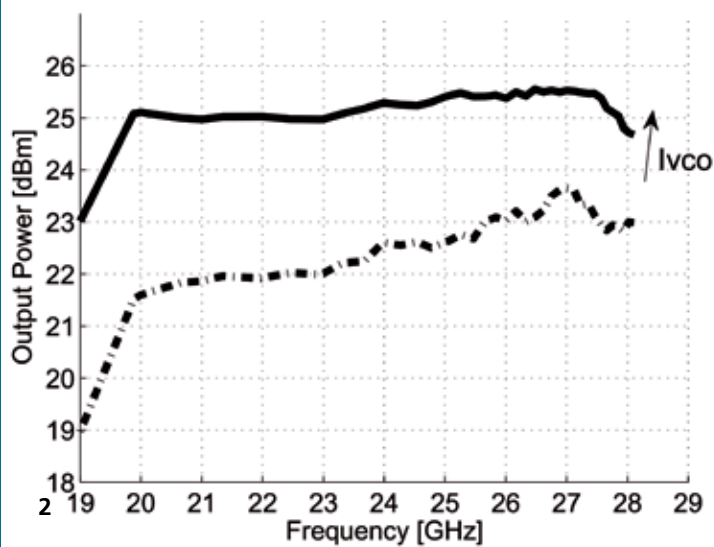
Die Halbleitergeschichte - Vom ersten Transistor zum Radarchip

Gordon Moore war es, der 1965 als erster so mutig war, die gigantischen technologischen Fortschritte der frühen Halbleiterentwicklungen in die Zukunft zu extrapolieren und damit ein exponentielles Wachstum vorher zu sagen. Doch auch er hätte sich damals wahrscheinlich nicht ausmalen können, dass diese Prognose, welche auf gerade einmal sechs Jahren Beobachtungszeit der frühen Halbleiterfortschritte beruhte, auch genau 50 Jahre später noch Bestand haben würde.

Heutzutage werden dadurch nicht nur immer schnellere Computer, leistungsfähigere Smartphones und bald selbstfahrende Autos ermöglicht, sondern beinahe als Abfallprodukt der Hochintegration erreichen die immer kleineren Transistoren auch immer schnellere Schaltfrequenzen. So werden heute schon mit Silizium-Transistoren Grenzfrequenzen von 500 GHz erreicht und damit können Schaltungen für immer komplexere und hochfrequenzere Radarsysteme realisiert werden können. Es ist dabei fast in Vergessenheit geraten, dass auch diese Entwicklung bereits von Gordon Moore vorhergesagt wurde, der schon in seinem damaligen Artikel im Schlusssatz für die ferne Zukunft eine komplette Revolution der Radartechnik prophezeite.

Hohe Sendeleistung als Herausforderung

Heute können insbesondere die Silizium-Germanium-Bipolar-Transistoren mit ihrer guten Linearität, Treiberfähigkeit und ihren Rauscheigenschaften punkten. Somit können auf einem winzigen Chip direkt mehrkanalige Radar-Transceiver samt Digitaltechnik und Mixed-Signal Ansteuerung untergebracht werden und dadurch in kostengünstiger Bauform ganze MIMO-Systeme implementiert werden. Als Kehrseite der Transistorminiaturisierung ergibt sich allerdings automatisch eine stets schrumpfende Spannungsfestigkeit der Schaltungen, so dass moderne Transistoren bereits ab 1,2 V in den Bereich des Durchbruchs kommen können. Für den Einsatz im Radarsystem ergibt sich



dadurch typischerweise eine sehr begrenzte Sendeleistung im Milliwatt-Bereich. Genau an dieser Herausforderung sollte der erste am FHR entworfene SiGe Chip ansetzen, um zukünftig größere Reichweiten zu erlauben und neue Applikationen zu erschließen.

Als Interessent und Auftraggeber für diese neuen Herausforderungen konnte die Firma Anritsu gewonnen werden, die durch diese Technologie zukünftig effizient und kostengünstig die Frequenzvervielfacher ansteuern und somit Millimeterwellen-Messsysteme bei immer höheren Frequenzen entwickeln könnte. Die Zielvorgabe der Erzeugung von deutlich über 100 mW Sendeleistung bei 24 GHz mit einem breitbandig abstimmbaren Synthesizer-Chip geht dabei deutlich über den etablierten Stand der Technik hinaus. Zur Realisierung der Schaltungen wurde die SiGe-Technologie B7HF200 von Infineon Technologies gewählt, welche auch in zahlreichen Automobil-Radarsystemen zum Einsatz kommt und dort ihre Verlässlichkeit unter Beweis stellt.

Vom Entwurf zum Chip

Entscheidend für die Ausgangsleistung eines Synthesizers ist stets die letzte Stufe des Ausgangsverstärkers, auf welcher also im Entwurfsprozess das größte Augenmerk lag. Um den Kollektor-Emitter-Durchbruch des Transistors zeitweise überschreiten zu können, wurde eine differentielle Basisschaltung (mit *Load Line Matching*) gewählt, was dann durch eine gewissenhafte Überprüfung des dynamischen Transistor-Arbeitspunktes verifiziert wurde. Um darüber hinaus die Ausgangsleistung noch weiter zu steigern, wurden auf dem Chip die Ausgangssignale zweier differentieller Endstufen (also insgesamt vier Transistoren) über Koppler kombiniert.

Nachdem der Chip im neugegründeten Chipdesign-Team am Fraunhofer FHR zunächst auf Schaltungsplanebene entworfen, simuliert und optimiert wurde, konnte anschließend das Chip-Layout erstellt, verifiziert und im April 2014 an Infineon zur Herstellung übergeben werden. Als dann nach rund drei Monaten Herstellungszeit die ersten Chips am Fraunhofer FHR eintrafen, wurden diese direkt in den zuvor dafür aufgebauten Laborräumen getestet und ausgiebig vermessen. Alle Komponenten spielten wie erwartet zusammen und das erreichte breitbandige Ausgangssignal erfüllte mit 25 dBm (entspricht 300 mW) die ambitionierten Erwartungen nicht nur, sondern übertraf sie sogar. Außerdem trägt der erreichte Wirkungsgrad (*Power-Added-Efficiency*) von 31% dazu bei, dass die realisierten Schaltungen einen wichtigen Meilenstein für SiGe-Technologie markieren und damit auch für zukünftige hochintegrierte Radarsysteme.

1 Detailaufnahme des gesamten Synthesizer-Chips (ca. 3x2 mm²). Die Bond-drähte verbinden den Chip mit einem Hochfrequenz-substrat.

2 Die Ausgangsleistung erreicht im weiten Abstimm-bereich (20 bis 28 GHz) einen flachen Leistungsver-lauf mit maximal 25 dBm (und ist zusätzlich darunter stufenlos regelbar).

3 Mitarbeiter bei der Ver-messung des Chips im neu-en Chipdesign-Labor.

Prof. Dr.-Ing. Nils Pohl
Tel. +49 228 9435-249
nils.pohl@
fhr.fraunhofer.de



3D-REKONSTRUKTION URBANER SZENEN MIT MAMB-INTERFEROMETRIE

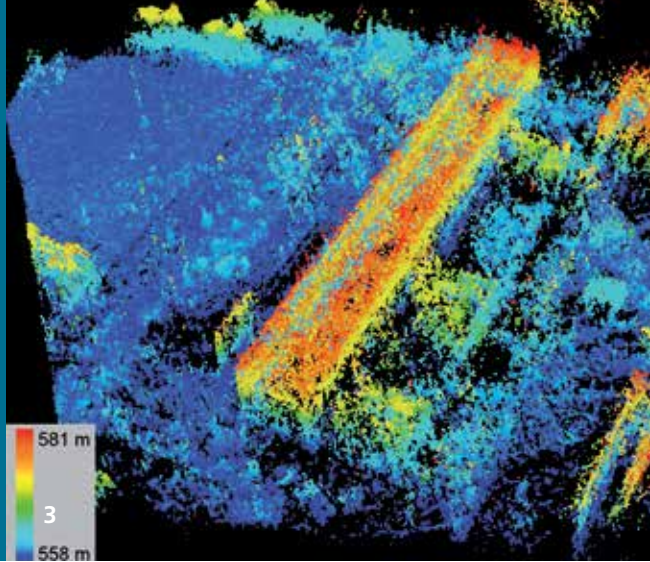
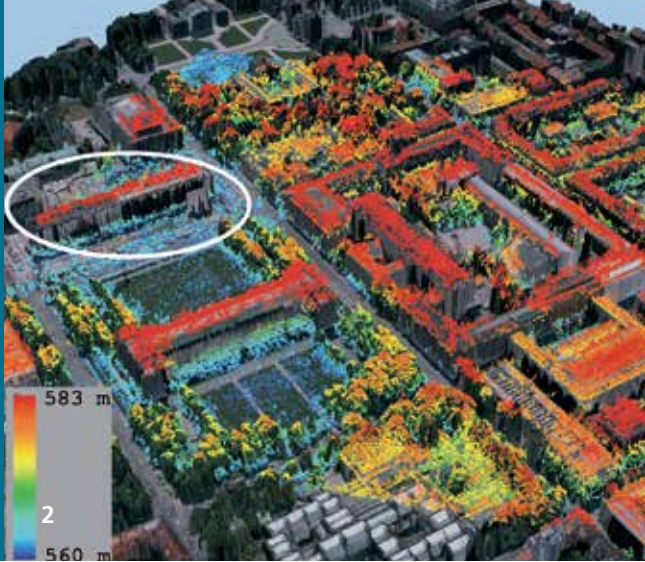
Die interferometrische Auswertung von Millimeterwellen-SAR-Daten mehrerer Aspekte und Basislinien ermöglicht eine flächendeckende und genaue dreidimensionale Rekonstruktion urbaner Szenen.

MEMPHIS – Vorreiter in Sachen Millimeterwellen-SAR am FHR

Schon seit einigen Jahren ist am FHR das Millimeterwellen-Experimentalsystem MEMPHIS zuverlässig in Betrieb und liefert wertvolle Erkenntnisse für die Entwicklung zukünftiger Radarsysteme. Ausgestattet mit insgesamt sechs Antennen (zwei Sende-, vier Empfangseinheiten) zur Gewinnung von polarimetrischen und interferometrischen Aufnahmen im Ka- bzw. im W-Band, bietet es eine Vielzahl unterschiedlicher Aufnahmemodi, darunter eine interferometrische Mehrantennen-Konfiguration zur Realisierung mehrerer Basislinien während eines einzigen Überfluges über die zu erkundende Szene. Um diese Konfiguration hinsichtlich ihres Potenzials zur dreidimensionalen Kartierung von Stadtgebieten zu untersuchen, wurde in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München und der Universität Zürich eine Kreuzbefliegung über der Münchner Innenstadt durchgeführt (vgl. Abb. 1). Die so gewonnenen Multi-Aspekt Multi-Baseline SAR-Daten bieten die Möglichkeit, die bekannten, von der seitwärtsblickenden SAR-Abbildungsgeometrie verursachten Effekte Layover und Radarschatten aufzulösen.

Interferometrische Auswertung von Multi-Aspekt Multi-Baseline SAR-Daten

An der Technischen Universität München wurden zu diesem Zweck in den letzten Jahren neue Algorithmen zur Auswertung derartiger Mehrfachbeobachtungen entwickelt. Eines der Verfahren nutzt mehrere Basislinien in einem SAR-Tomographie-Ansatz, um innerhalb einer Auflösungszelle überlagerte Streuer wieder voneinander zu trennen und letztendlich 3D-Punktwolken für Datensätze unterschiedlicher Blickrichtungen zu rekonstruieren. Im darauffolgenden Schritt werden diese georeferenziert, um dann Punktwolken mehrerer Aspekte mit Hilfe einer voxelraum-basierten Fusionsvorschrift zu einer einzigen, homogenen Punktwolke zusammenzuführen. Mehrfachbeobachtungen, nämlich mehrere Basislinien und mehrere Blickrichtungen, werden in diesem Beispiel nacheinander genutzt. Ein zweites Verfahren stellt demgegenüber auf eine simultane Fusion von Mehrfachbasislinien-Daten mehrerer Aspekte in einem einzigen



Schritt, innerhalb eines geschlossenen Rahmens, ab und fusioniert alle verfügbaren Messungen in einem gemeinsamen Statistik-basierten Schätzverfahren. Da die Prozessierung in diesem Fall auf einer invertierten Geokodierung basiert und Höhenhypothesen von der angestrebten Kartengeometrie in das Radarkoordinatensystem rückprojiziert werden, ist das Resultat hierbei letztendlich eine 2,5D-Höhenkarte.

Flächendeckende Rekonstruktion urbaner Gebiete

Die beiden neuen Auswertelgorithmen wurden zu Evaluierungszwecken anhand von Ka-Band MEMPHIS-Daten getestet. Die Auflösung der aufgenommenen Testdaten liegt mit ca. 10 cm in Azimut- und ca. 17 cm in Entfernungsrichtung klar im Dezimeterbereich und ermöglicht die Analyse auch kleinräumiger Strukturen. Dadurch, dass der Sensor mit vier übereinander angeordneten Empfangsantennen ausgestattet ist, werden in jedem Überflug simultan vier direkt koregistrierte Aufnahmen derselben Szene aufgenommen.

Als Testgebiet für die durchgeführten Experimente wurde der Stadtteil Maxvorstadt in München gewählt. Das Testgebiet umgibt den Innenstadtcampus der Technischen Universität München und enthält in erster Linie dichtgedrängte Gebäudeblocks, aber auch einige größere Gebäude, die von Beton oder Rasen umgeben werden, sowie viele städtische Bäume.

Abbildung 2 zeigt ein aus LiDAR-Daten gewonnenes und mit Hilfe eines Orthophotos texturiertes Referenzhöhenmodell, das mit einer nach Höhenwerten farbkodierten, mittels der MAMB-Verfahren rekonstruierten InSAR-Punktwolke überlagert wurde; eine Detailansicht des markierten Gebäudes findet sich in Abb. 3. Für eine quantitative Evaluierung wurde die erzeugte InSAR-Punktwolke mit einer LiDAR-Referenzpunktwolke verglichen, wobei 3D-Genauigkeiten von bis zu 50 cm bestätigt werden konnten. Dies zeigt das große Potenzial einer SAR-interferometrischen 3D-Kartierung von Stadtgebieten unter Ausnutzung von Mehrfachbeobachtungen, wie sie flugzeug- oder UAV-getragene Systeme zur Verfügung stellen können. Insbesondere wird so erstmals eine tageszeit- und wetterunabhängige 3D-Geodatengewinnung für urbane Szenen in zeitkritischen Szenarien ermöglicht. Die damit nun mögliche Ergänzung von Höheninformationen komplementiert gegebenenfalls bereits vorhandenes 2D-Kartenmaterial in idealer Weise und erlaubt eine robustere Interpretation von städtischer Infrastruktur, z. B. bei Fernerkundungseinsätzen in Katastrophenszenarien oder in militärischen Aufklärungsmissionen.

1 Illustration der Kreuzbefliegung über München. Insgesamt wurden fünf komplementäre Datensätze aufgenommen.

2 Eine mittels MAMB-Interferometrie erzeugte SAR-Punktwolke wird einem texturierten LiDAR-Höhenmodell überlagert und zeigt die gute Übereinstimmung der Messdaten mit dem »Ground Truth«.

3 Das in Abb. 2 markierte Gebäude als 3D-TomoSAR-Punktwolke in Detailansicht. Für die Rekonstruktion wurden Datensätze aus vier Aspekten, bestehend aus je vier koregistrierten MEMPHIS-Aufnahmen, prozessiert.

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

Dr.-Ing. Michael Schmitt
TU München
Tel. +49 89 289-22643
m.schmitt@tum.de



SARABAND – ANTENNENTECHNOLOGIE FÜR BREITBANDKOMMUNIKATION

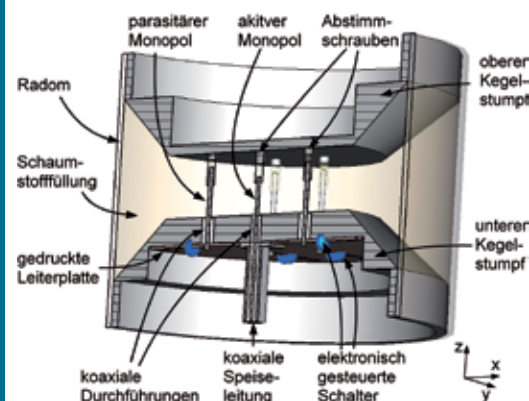
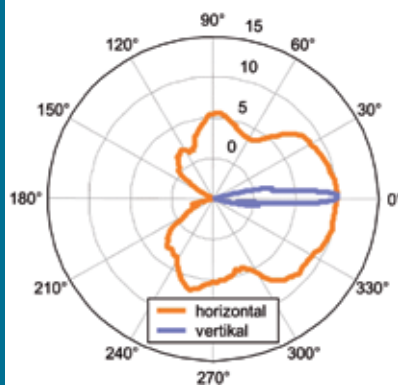
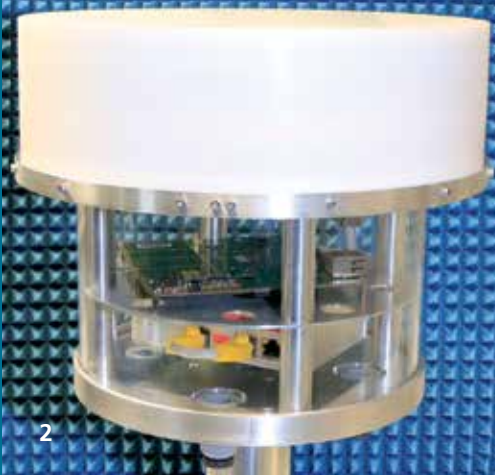
In zukünftigen Mobilfunknetzen mit kleinen Funkzellen stellen drahtlose *Backhails* mit Übertragungsfrequenzen nahe 42 GHz kosteneffiziente Breitbandlösungen dar. In dem EU-Projekt SARABAND wurden entsprechende Technologien für integrierte Netzwerkknoten entwickelt.

Mobilfunknetze mit kleinen Funkzellen

Durch die rasante Verbreitung sogenannter *Smart Terminals* wie Smartphones und Tablets werden die Betreiber von Mobilfunknetzen mit enorm ansteigenden Kapazitätsanforderungen konfrontiert. Um eine hohe Anwendungsqualität zu gewährleisten, müssen Betreiber Netze errichten, die eine lückenlose Abdeckung mit hoher Bandbreite bieten. Damit gewinnt die Technologie kleiner Funkzellen (*Small Cells*) wachsende Bedeutung. Der Betrieb von Small Cell-Netzen wiederum stellt hohe Anforderungen an die Verbindungstechnologie (*Backhaul*) zu den Kernnetzen, die ebenfalls für hohe Kapazitäten ausgelegt, kosteneffizient, sicher und rasch ausbaufähig sein muss. Die Fähigkeit einer kostenneutralen und autonomen Anpassung an eine sich rasch ändernde Netzwerkumgebung ist ein wichtiger Aspekt bei der Auswahl der Netzwerkkomponenten. Für zukünftige Mobilfunknetze mit kleinen Funkzellen stellen drahtlose Millimeterwellen-Backhails kosteneffiziente Lösungen dar. Das Q-Band (40,5 GHz bis 43,5 GHz) ist für diese Anwendung besonders interessant. Es repräsentiert einen guten Kompromiss zwischen erwarteter Performance und anfallenden Kosten.

In diese Nische stößt das von der Europäischen Union geförderte Projekt »*Smart Antenna & Radio for Access and Backhaul for Advanced Network noDes*« (SARABAND), mit einem multi-nationalen Konsortium bestehend aus Industrieunternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen. Im Rahmen des SARABAND-Projekts (www.sarabandfp7.eu) wurden kosteneffiziente Technologien, wie intelligente Antennenlösungen und Radiomodule, für integrierte Hochleistungsnetzwerkknoten entwickelt.

Neben Antennen mit hohem Gewinn und starrem Strahlungsdiagramm für Datenverbindungen über große Entfernungen, werden elektronisch schwenkende Antennen benötigt, um den reservierten Frequenzbereich effektiv auszunutzen, die Installationskosten zu minimieren und einen



Service von konstanter Qualität zu sichern. Die höchste Flexibilität wird mit einem Schwenkbereich von 360° in der horizontalen Ebene erreicht, gepaart mit einer kompakten Bauform und einer schmalen Elevationskeulenbreite, um Interferenzen zu minimieren und den Gewinn zu maximieren.

Circular Switched Parasitic Array Antennen

Das Fraunhofer FHR verfolgt als Mitglied des SARABAND-Konsortiums einen kostengünstigen Ansatz basierend auf dem Prinzip sogenannter *Circular Switched Parasitic Arrays* (CSPA). Dabei werden mehrere parasitäre Antennenelemente in gleichen Winkelabständen entlang einer kreisförmigen Bahn, in deren Mittelpunkt ein aktives, rundum strahlendes Antennenelement sitzt, angeordnet. Die parasitären Antennenelemente können über elektronisch steuerbare Schalter zwischen zwei Zuständen umgeschaltet werden. Dadurch sind diese parasitären Elemente für die vom zentralen Antennenelement ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen entweder transparent oder sie wirken wie Reflektoren. Mit einer solchen Konfiguration ist eine elektronische Strahlschwenkung in einer Ebene mit einem Schwenkbereich von 360° möglich. Die meisten Umsetzungen des CSPA-Prinzips arbeiten bei Frequenzen bis zu einigen Gigahertz und verwenden Monopole als Antennenelemente, die auf einer gemeinsamen, kreisscheibenförmigen Metallplatte sitzen. Wie bei der für das C-Band entwickelten CSPA-Antenne in Abb. 4 kann eine Fokussierung des Strahlungsdiagramms in der Elevationsrichtung mit einer weiteren Metallplatte oberhalb der Antennenelemente und einer kegelstumpfförmigen, mit Schaumstoff verfüllten Aufweitung der umlaufenden Strahlungsfläche erzielt werden.

Eine CSPA-Antenne für das Q-Band

Bei Frequenzen im Millimeterwellenbereich sind Monopole schwierig zu realisieren. Daher wurde am Fraunhofer FHR eine neuartige CSPA-Antenne mit gedruckten Antennenelementen für das Q-Band entwickelt. Um die Abmessungen der Antenne möglichst klein zu halten, wurde aus der Schaumstofffüllung zwischen den beiden Kegelstümpfen eine omni-direktionale Linse geformt (Abb. 1). Unterhalb der eigentlichen Antenne wurde ein Gehäuse zur Aufnahme des Q-Band Radiomoduls und der Ansteuerelektronik integriert (Abb. 2).

Der am Fraunhofer FHR hergestellte Prototyp soll Anfang 2015 in einem drahtlosen Demonstrationsnetzwerk der Telekommunikationsindustrie zusammen mit weiteren innovativen Entwicklungen des SARABAND-Projekts vorgeführt werden. Eine bereits weit fortgeschrittene Weiterentwicklung der Antenne, mit deutlich geringeren Abmessungen und ebenfalls deutlich verbesserten Antenneneigenschaften, wird derzeit am Fraunhofer FHR ersten Tests unterzogen.

1 Komponenten der Q-band CSPA-Antenne.

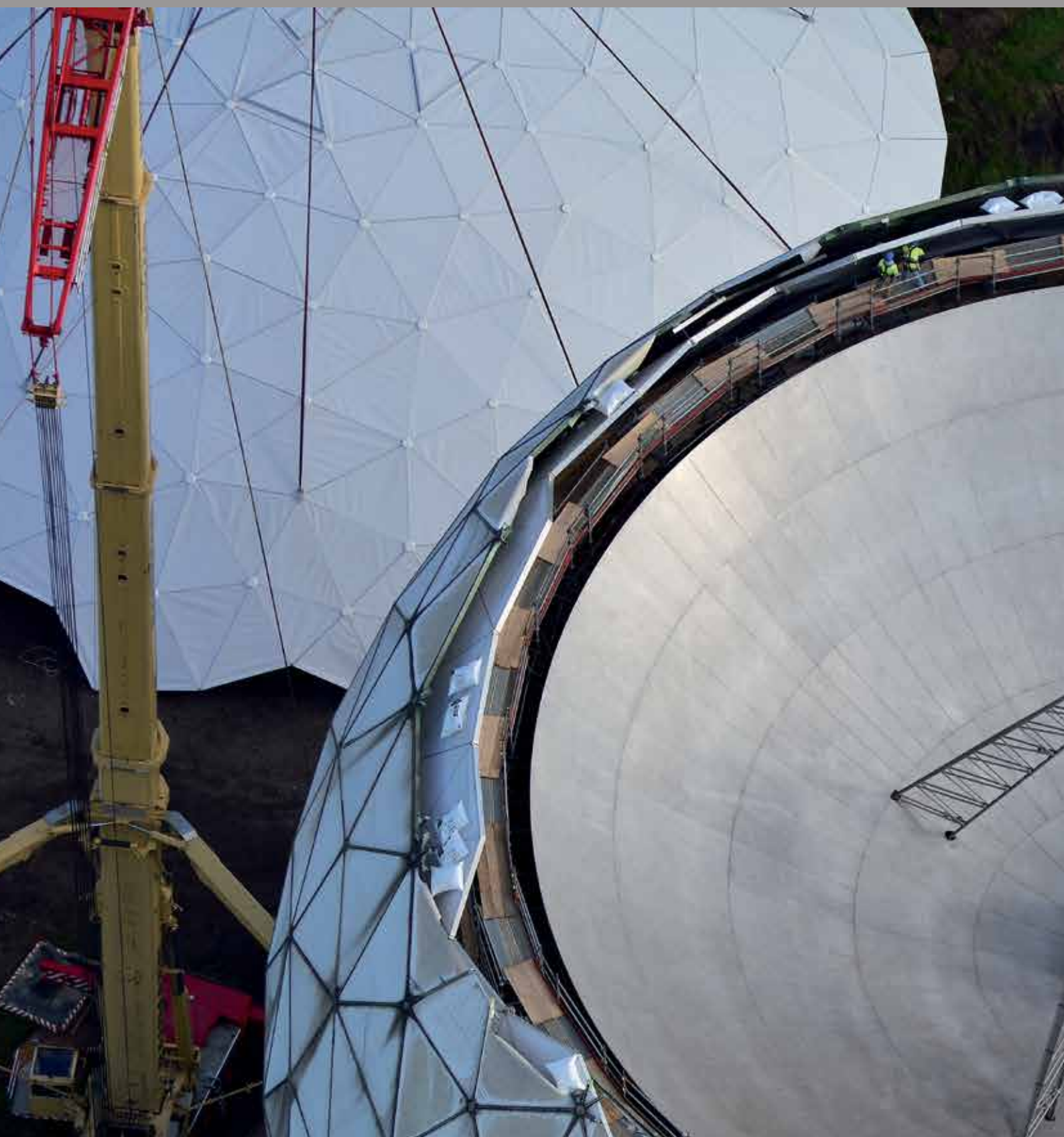
2 Der Q-band Prototyp mit einem Gehäuse unterhalb der Antenne zur Aufnahme von Kommunikations- und Steuerelektronik.

3 Gemessene Strahlungsdiagramme für eine ausgesuchte Schwenkrichtung in der horizontalen und der vertikalen Ebene bei 42 GHz.

4 Prinzipskizze einer CSPA-Antenne auf Monopol-Basis für das C-Band.

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

AUS DEM INSTITUT



An aerial photograph showing the massive, circular radar dome of the TIRA facility. The dome's surface is a complex grid of metal panels. A large section of the outer shell is being replaced, with a new, lighter-colored section visible on the right side. A tall, white, lattice-structured tower stands to the left of the dome. In the background, a modern building with a blue facade and several windows is visible. The sky is clear and blue.

EINE NEUE HÜLLE FÜR DAS WELTRAUMBEOBACHTUNGSRADAR TIRA

Fast 50 Jahre nach Errichtung des Weltraumbeobachtungsraders TIRA wurde seine Hülle vollständig erneuert. Das sogenannte Radom schützt das hochsensible Radarsystem vor Wind und Wetter. Damit das Radar nicht mehrere Monate der Witterung ausgesetzt gewesen wäre, wurde das neue Radom zuerst von innen aufgebaut und danach das alte von außen entfernt. Das neue Radom wird mit einem Durchmesser von 47,5 m etwas kleiner sein als das alte. Die Größe bleibt aber immer noch Weltrekord.





Sonne, Regen und Wind haben über die Jahrzehnte seit dem Bau der Anlage ihre Spuren hinterlassen. In der exponierten Lage in Wachtberg war es nach fast 50 Jahren Zeit, das gesamte Radom zu erneuern.

Nach jahrelanger Planung und Vorbereitung der Baumaßnahme zur Erneuerung des weltweit größten Radoms, der Hülle des Weltraumbeobachtungsradars TIRA in Wachtberg, begannen die Bauarbeiten im Januar 2014 mit dem Aufbau des Gerüsts im Innern der Hülle. Ziel war es, in mehreren Schritten das Gerüst bis kurz über den Parabolspiegel aufzubauen, also bis zu einer Höhe von ca. 44 Metern. Bei Erreichen der maximalen Höhe im Frühsommer waren letztendlich 780 Tonnen Gerüst verbaut.

1800 Bohrungen zum Befestigen des Auflagerings

Damit die neue Hülle auch im Innern aufgebaut werden konnte, musste zuerst eine neue Auflagefläche geschaffen werden. Am oberen Rand des Betongebäudes wurde dafür ein neuer Auflagering aus Stahlbewehrung und Beton an das Gebäude angebaut. Damit das auch

wirklich hält, wurden mit über 1800 Bohrungen – mit Durchmessern bis 20 mm und bis 120 cm Tiefe – Stahlstäbe in das vorhandene Gebäude eingebracht und mit Betonschalungen der ein Meter breite Auflagering erstellt.

Parallel dazu wurden die neuen Dreiecke, bestehend aus Aluminiumstreben und der für elektromagnetische Wellen gut durchlässigen Membrane, im Werk der Spezialfirma in Irland gefertigt. Ab April lieferten dutzende LKWs die 1330 Paneele direkt neben die „Kugel“. Kurz darauf begannen die Monteure aus Irland und den USA mit der Montage der ersten Dreiecke. Zum Transport der Dreiecke nach oben wurden vier große Aufzüge im Gerüst genutzt. Passend zum Baufortschritt wurde das Gerüst weiter erhöht.

Im August war die neue Hülle soweit fertig, dass sie schon über den Rand des Parabolspiegels hinaus ragte. Damit waren über dreiviertel des neuen Radoms fertig. In der Zwischenzeit wurde neben der »Kugel« die Kappe des neuen Radoms zusammengebaut. Nun war alles vorbereitet für den sogenannten »Kappentausch«.



Vervollständigung des neuen Radoms mit dem »Kappentausch«

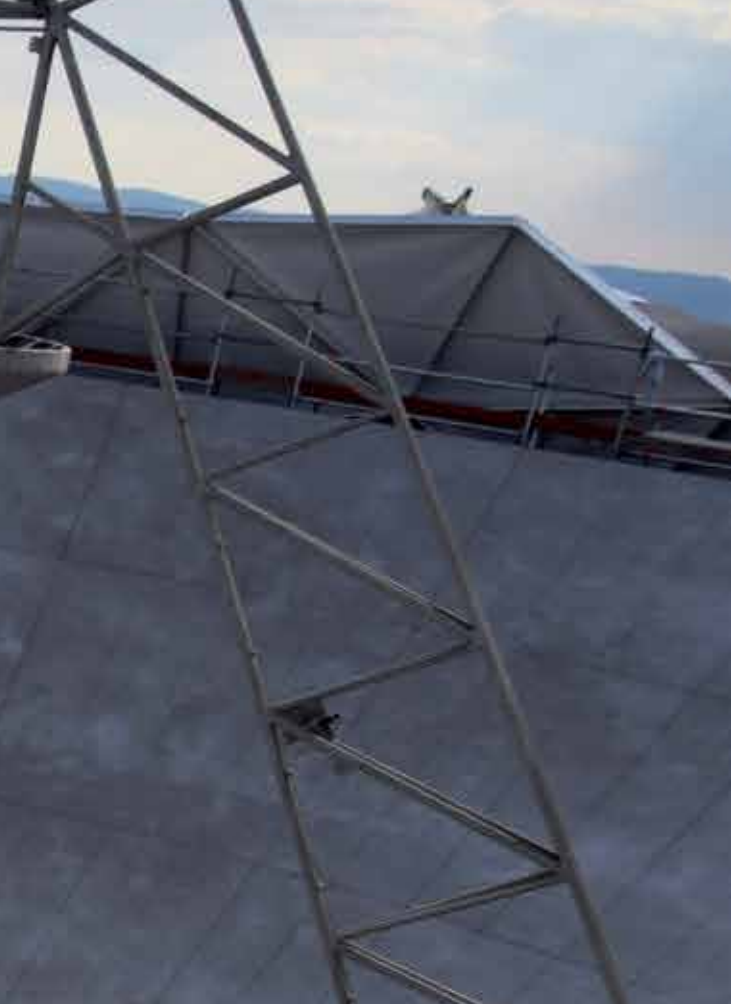
Nach wochenlangem Warten und Studieren des Wetterberichtes waren endlich Anfang September vier Tage trockenes und windstilles Wetter vorhergesagt. Am 1. September wurde der über 91 Meter hohe Kran aufgebaut, der die tonnenschwere alte Kappe abheben und die neue wieder aufsetzen sollte. Mit Sonnenaufgang am 2. September begannen die Arbeiter damit, die Seile des Krans an der alten Hülle zu befestigen und sie vom Rest abzutrennen. Gegen 14 Uhr war der obere Teil der Hülle abgetrennt und wurde angehoben. Nach nicht einmal 15 Minuten lag die sie am Boden und die »Kugel« sah aus wie ein geköpftes Ei. Zum ersten Mal seit dem Bau der Anlage konnte man den 34 Meter großen Parabolspiegel wieder von außen aus der Luft sehen – sogar über Nacht bis zum nächsten Morgen.

Am Morgen des 3. September montierten die Arbeiter die Seile des Krans von der alten Kappe an die neue. Dann wurden die Sicherungsleinen zum Boden entfernt, die Kappe angehoben und in die richtige Position gedreht. Langsam bewegte der Kran die Kappe über die »Kugel«, um sie dann nach unten in die richtige Stelle abzusetzen. Schon am Mittag war das Radom wieder geschlossen. Nachdem die Kappe fest mit der Hülle

verbunden war, wurde mit dem Abbau der alten Hülle begonnen. Um zu verhindern, dass die alte Hülle bei starkem Wind die neue Hülle beschädigt, wurden zuerst alle alten dreieckigen Membranen ausgeschnitten, so dass zum Schluss nur noch das Metallgestänge übrig blieb.

In den nächsten Wochen wurde nun das alte Gestänge Schritt für Schritt mit drei LKW-Kränen abgebaut. Dabei mussten hunderte Streben zum Teil einzeln abgetrennt und zum Boden gebracht werden. Parallel dazu wurde das Radom gegen Wasser abgedichtet und das Gerüst im Innern abgebaut. Bis November wurde das komplette Gerüst aus dem Radom entfernt und TIRA konnte wieder den Betrieb aufnehmen.

Wegen des anstehenden Winters wurden die Restarbeiten auf das Frühjahr 2015 verschoben, so dass das gesamte Bauvorhaben bis Ende Juni 2015 abgeschlossen sein wird. „Nach jahrelanger Planung bin ich froh und erleichtert, dass der überwiegende Teil der Arbeiten mit Erfolg abgeschlossen wurde. Und ich bin zuversichtlich, dass nach vollständiger Fertigstellung das neue Radom lange das wertvolle Radarsystem schützen wird.“ so FHR-Projektleiter Jürgen Marnitz.



	ALTES RADOM	NEUES RADOM
Durchmesser	49 m	47,5 m
Anzahl Dreiecke	760	1330
Anzahl Knotenpunkte	400	686
Kantenlänge Dreiecke	4 bis 5,6 m	2,1 bis 4,5 m
Höhe des Gebäudes	54,5 m	53,7 m

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

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

AUS DEM INSTITUT



BESONDERE EREIGNISSE 2014

3.-5. Februar 2014

DWT-Forum »Angewandte Forschung für Sicherheit und Verteidigung in Deutschland«, Berlin

Beim Treffen der wehrtechnischen Forschungsinstitute und Industrieunternehmen beteiligte sich das Fraunhofer FHR mit einem Messestand mit den Themen »Weltraumbeobachtung mit Radar« und »Luftgestützte Aufklärung mit Radar«.

10. Februar 2014

Gründung der Fraunhofer-Allianz Space

Gemeinsam mit 11 anderen Fraunhofer-Instituten gründete das FHR die Fraunhofer-Allianz Space. Ziel ist es die technologischen Kompetenzen in der Gesellschaft zu bündeln. Die Geschäftsstelle der Allianz ist am Fraunhofer INT in Euskirchen.

13. März 2014

MBDA 1-Star Innovation Award für FHR-Forscher

Die Forscher Josef Worms, Stefan Briskens, Christoph Wasserzier, Theresa Haumtratz, Alexander Saam, Dietmar Matthes und Torsten Mathy wurden mit einem MBDA 1-Star Innovation Award für Ihre Arbeiten im Bereich »Multi Site Radar System« im Rahmen des MBDA-Technologietages ausgezeichnet.

19.-20. März 2014

Workshop Millimeterwellenradar

Gemeinsam mit unseren Partnern aus Industrie und Bundeswehr präsentierte das FHR aktuelle technische Entwicklungen und neue Anwendungsfelder von Millimeterwellen im Bereich der Sicherheitstechnik.

27. März 2014

Evaluation des Fraunhofer FHR

Die sehr erfolgreiche Evaluation durch anerkannte Experten der Radarforschung sowie Vertretern von Bundes- und Landesministerien war der letzte wichtige Meilenstein auf dem Weg der Integration in die Fraunhofer-Gesellschaft.

*Messestand des Fraunhofer
FHR bei der ILA Berlin Air
Show*

27. März 2014

Girls' Day

Zum 11. Mal empfing das Fraunhofer FHR interessierte Mädchen, um sie für Hochfrequenztechnik zu begeistern. Sie erhielten einen kleinen Einblick in die technischen Tätigkeiten im Institut und besuchten natürlich die »Kugel«.

1.-4. April 2014

Analytica Messe, München

Zum ersten Mal beteiligte sich das Fraunhofer FHR am Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft auf der internationalen Leitmesse für Labortechnik, Analytik und Biotechnologie mit dem SAMMI-System zur Prüfung von Materialien auf Verunreinigungen, Materialfehler und Fertigungsschwankungen.

1. April 2014

Absolventenmesse Praxis@Campus, Remagen

Zahlreiche Studierende der Hochschule Koblenz erstellten bereits Ihre Abschlussarbeiten am Fraunhofer FHR und einige davon wurden übernommen. Zur Anwerbung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nahm das Institut mit einem Stand an der Messe Praxis@Campus am Rhein-Ahr-Campus Remagen der Hochschule Koblenz teil.

6.-9. Mai 2014

Control Messe, Stuttgart

Bei der vierten Teilnahme des Fraunhofer FHR an der Control (Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung) in Stuttgart präsentierte das Institut das Projekt blackVALUE® zum Recycling schwarzer Kunststoffe auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Vision.

20.-25. Mai 2014

ILA Berlin Air Show, Berlin

Das Fraunhofer FHR zeigte gleich zwei Kernthemen des Instituts bei der ILA Berlin Air Show, der internationalen Leistungsschau im Bereich Aerospace: Die »Sicherheit der Infratstruktur im erdnahen Weltraum« auf dem Stand der Allianz Space und »Luftgestützte Aufklärung mit Radar« auf einem eigenen FHR-Stand. Präsentiert wurden dort die Pro-



jekte PAMIR (Weitreichende Aufklärung mit hochaufgelösten Radarabbildungen), SUMATRA (Nahbereichsaufklärung mit Echtzeitübertragung zur Bodenstation mit dem kleinsten Radarsensor der Welt), CSPA (Elektronisch gesteuerte Antenne für Breitband-Kommunikation aus der Luft) und den Tragschrauber des AMLS als Multisensorplattform.

28. Mai 2014

6. Kuratoriumssitzung des Fraunhofer FHR

Dr. Hans-Otto Feldhütter ernannte als Vertreter des Fraunhofer-Vorstandes in diesem Jahr Dr. Holger Krag (ESA/ESOC) zum neuen Kuratoriumsmitglied.

3.-5. Juni 2014

EUSAR Best Paper Award für FHR-Wissenschaftler

Bei der European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR) in Berlin wurden die FHR-Wissenschaftler Dr. Diego Cristallini und Dr. Ingo Walterscheid für Ihren Beitrag »SAR-GMTI enhanced with simultaneous monostatic and bistatic detections« mit dem Best Paper Award ausgezeichnet.

25. Juni 2014

Workshop: Inauguration of the SiGe Laboratories

Zur Einweihung des Silizium-Germanium Labors zeigte das FHR die bereits erfolgten Arbeiten und die neuen Möglichkeiten der Technologie für Radaranwendungen.

26. Juni 2014

4. Wachtberg-Forum

Zum vierten Mal veranstaltete das Fraunhofer FHR für seine Partner und Kunden das Wachtberg-Forum. Wie in den letzten Jahren gab es ein ausgewogenes Programm mit Fachvorträgen und Ausstellung. Rund 100 Gäste folgten der Einladung und informierten sich über die neuen Technologien bei bestem Sommerwetter. Am Abend gab es ein besonderes Ereignis für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und deren Familien

und Freunden: Das gemeinsame Ansehen des Fußball-Weltmeisterspiels Deutschland gegen die USA.

4.-11. Juli 2014

6th International Summer School on Radar / SAR

International anerkannt und gefragt ist unsere *Summerschool* zum Thema Radar. Zum sechsten Mal veranstaltete das Fraunhofer FHR diese in Remagen-Rolandseck. 51 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt trafen sich für eine Woche am Rhein, um von international anerkannten Radarexperten zu lernen und nebenher die Kultur des Rheinlandes zu erleben. In diesem Jahr kamen die Teilnehmer aus den Ländern Aserbaidschan, Deutschland, England, Estland, Italien, Niederlande, Österreich, Polen, Rumänien, Russland, Saudi Arabien, Schottland, Spanien, Sri Lanka, Südafrika, Südkorea, USA und Türkei.

9.-12. September 2014

Shipbuilding, Machinery & Marine Technology SMM Messe, Hamburg

Auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz Verkehr präsentierte das Fraunhofer FHR sein neues kostengünstiges Schiffsradar mit elektronisch gesteuerter Gruppenantenne.

23.-26. September 2014

Windenergy Messe, Hamburg

Die Firma Dirkshof präsentierte auf ihrem Messestand gemeinsam mit dem Fraunhofer FHR das Passiv-Radar-System PARASOL zur bedarfsgerechten Warnbefeuerung von Windenergieanlagen.

6.-10. Oktober 2014

European Microwave Week, Rom, Italien

Gemeinsam mit dem Fraunhofer IAF stellte das Fraunhofer FHR auf Europas größter Messe und Konferenz zum Thema Hochfrequenztechnik und Radar in Rom aus. Das Institut prä-



sentierte ein System zur Breitenmessung in der Stahlproduktion sowie aktuelle Millimeterwellen-SAR-Systeme.

15.-16. Oktober 2014

Fraunhofer-Vision Technologietag, München

Das Fraunhofer FHR stellte beim Technologietag »Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung« ein System zur hochpräzisen Positionsmessung durch Millimeterwellen-Radartechnik vor.

23. Oktober 2014

Kalaydo-Karrieretag, Bonn

Das Fraunhofer FHR war bei der regionalen Jobmesse im Telekom-Dome in Bonn mit einem Stand vertreten, um neue Mitarbeitende zu finden.

26.-27. November 2014

Absolventenkongress Deutschland, Köln

Auf Deutschlands größter Karrieremesse auf dem Messegelände Köln beteiligte sich das FHR mit vier anderen Instituten am Fraunhofer-Gemeinschaftsstand. Zahlreiche qualifizierte Bewerberinnen und Bewerber aus ganz Deutschland stellten sich vor.

12. Dezember 2014

Auszeichnung für FHR-Diplomarbeit von Siying Wang

Im Rahmen des Tages der Elektrotechnik an der RWTH Aachen wurde der FHR-Wissenschaftlerin Siying Wang für ihre herausragende Diplomarbeit mit dem Thema »Entwicklung eines Algorithmus für ein hochfrequentes FMCW-Radarmesssystem zur berührungslosen Überwachung von Vitalparametern« der »Viktor und Mirka Pollak-Preis« verliehen.

1 Die Summer School Teilnehmer am Abend nach den Kursen am Rolandsbogen mit Blick auf den Rhein.

2 Das System zur hochpräzisen Positionsmessung durch Millimeterwellen-Radartechnik wurde beim Fraunhofer-Vision Technologietag am 15./16.10.2015 in München ausgestellt.

3 Die Preisträgerin Siying Wang bei der Preisverleihung für ihre herausragende Diplomarbeit mit ihren Betreuern Prof. Pohl (Fraunhofer FHR) und Prof. Leonhardt (RWTH Aachen).



Interne und externe Kommunikation

Dipl.-Volksw.

JENS FIEGE

Tel. +49 228 9435-323

jens.fiege@fhr.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

ÜBERBLICK

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

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

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

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

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

Präsident

Prof. Dr.-Ing. habil.

Reimund Neugebauer

Telefon: +49 89 1205-0

info@zv.fraunhofer.de

www.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-ALLIANZEN

ALLIANZ SPACE

Die Fraunhofer-Allianz Space ist ein Zusammenschluss von 15 Instituten, die im Bereich Raumfahrt-technologie angewandte Forschung für den Welt-raum betreiben.

Die Raumfahrt stellt eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien einer modernen Industriegesellschaft dar. Ob Wettervorhersage, Navigation, Direktübertragungen im Satellitenfernsehen oder globale Internetverfügbarkeit; aus dem täglichen Leben eines Jeden sind Raumfahrt, ihre Anwendungen oder Dienste nicht mehr weg zu denken.

In der Allianz Space bündeln die Institute ihre technologischen Kompetenzen, um der Raumfahrt-Industrie und Zuwendungsgebern wie der ESA oder der Europäischen Kommission einen zentralen Ansprechpartner zu bieten. Fraunhofer tritt dadurch vor Kunden als Systemanbieter auf, der verschiedenartige Komponenten auf höchster Qualitätsstufe entwickelt und zu einem Gesamtsystem integriert an den Kunden übergibt. Durch das vielfältige technologische Know-How der beteiligten Institute bietet die Fraunhofer-Allianz Space ihren Kunden ein einzigartiges Spektrum an.

Thomas Loosen
Tel.: +49 2251 18-308
thomas.loosen@
int.fraunhofer.de
www.space.fraunhofer.de

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.

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

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

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

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

FRAUNHOFER-VERBÜNDE

VERBUND VERTEIDIGUNGS- UND SICHERHEITSFORSCHUNG

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

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

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

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

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

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

Mitglieder

Fraunhofer-Institute für

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

Caroline Schweitzer
Tel.: +49 7243 992-361
caroline.schweitzer@iosb.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 11 Institute (und fünf Gastinstitute) mit ca. 3000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das jährliche Budget beträgt etwa 345 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 in seinen Geschäftsfeldern gebündelt.

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

Querschnittsgeschäftsfelder

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

Anwendungsorientierte Geschäftsfelder

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

Mitglieder

Fraunhofer-Institut bzw. -Einrichtung für

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

Dr.-Ing. Joachim Pelka

Tel.: +49 30 688 3759-6100

joachim.pelka@mikroelektronik.fraunhofer.de

www.vue.fraunhofer.de

AUSBILDUNG UND LEHRE

Vorlesungen

Bertuch, T.: „Antennen und Ausbreitung, Vorlesung, Übungen und Praktikum“, Hochschule Aachen, Aachen, WS 2014/15

Caris, M.: „Measuring Techniques“ (Praktikum), Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, SS 2014 und WS 2014/2015

Cerutti-Maori, D.: „Signal processing for radar and imaging radar“, RWTH Aachen, WS 2013/2014

Danklmayer, A.: „Aerospace Remote Sensing“ TU Chemnitz, WS 2014/2015

Ender, J.: „Radar-Verfahren und -Signalverarbeitung, Vorlesung und Übungen“, Universität Siegen, SS 2014

Flegel, S.: „Beobachten von Weltraummüll mittels Radar, Vorlesung und Übungen“, Beitrag zur Vorlesung „Raumfahrtrückstände“, Technische

Universität Braunschweig, WS 2014/2015

Knott, P.: „Antenna Engineering“ RWTH Aachen, WS 2014/2015

Lorenz, F. P.: „Physik“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, SS 2014

Lorenz, F. P.: „Measuring Techniques“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Rheinbach, WS 2014/2015

Pohl, N.: „Integrierte Digitalschaltungen“, Ruhr-Universität Bochum, SS 2014

Pohl, N.: „Integrierte Hochfrequenzschaltungen für die Mess- und Kommunikationstechnik“, Ruhr-Universität Bochum, WS 2014/2015

Stanko, S.: „Atomphysik“, Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus, WS 2013/2014

Stanko, S.: „Ultrasonic Imaging“, Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus, WS 2013/2014

Promotionen

Brüggenwirth, S.: „Entwicklung einer kognitiven Systemarchitektur mit zentraler Ontologie und spezifischen Algorithmen“, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Universität der Bundeswehr München, Dr. Ing.

Flegel, S.: „Multi-Layer Insulation as Contribution to Orbital Debris“, Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig, 2014

Diplom-, Master- und Bachelorarbeiten

Alshrafi, W.: „Design of a Compact Controlled Reception Pattern Antenna (CRPA) for GNSS Applications“, RWTH Aachen, Master of Engineering

Alt, T.: „Konzeptionierung und Entwicklung eines Kalibrationsverfahrens für ein THz-Zeitbereich-Spektrometer-System unter Realisierung einer gleichbleibenden Atmosphäre“, RheinAhrCampus Remagen, Bachelor of Science

Apfeld, S.: „Development and Implementation of an FPGA-based signal processing system with adaptive waveform control of a 30GHz radar for distance measurements“, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Master of Science

Arpe, O.: „Entwicklung eines XY-Scanners zur Materialana-

lyse im mm-Wellen Bereich“, RheinAhrCampus, Remagen, Bachelor of Science

Chetik, V.: „Systemkomponenten für die digitale Signalverarbeitung eines Zielverfolgungsradars“, Hochschule Koblenz, Master of Engineering

Graf, J.: „Entwicklung, Aufbau und Vermessung einer 8-fach Antennengruppe mit Leistungsverstärkerstufe in LTCC Technologie für ein bildgebendes 34 GHz Radarsystem“, RWTH Aachen, Master of Science

Hauffen, J.: „Entwicklung einer Antenne für eine Radarzeilenkamera bei 94GHz, sowie Aufbau und Charakterisierung von Hochfrequenzkomponenten für das Systemkonzept“, Hochschule Bielefeld, Bachelor of Engineering

Hommen, S.: „Entwicklung, Aufbau und Test eines HF-Steuermoduls zum Sende-Beamforming und zur digitalen Pulsprofilformung von Hochleistungs-Phased-Array Radaren im L-Band“, Hochschule Niederrhein, Master of Engineering

Höfer, C.: „Mikrocontrollerbasierte Ansteuerung und Charakterisierung des Frequenzverhaltens zweier Direct Digital Synthesizer“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Bachelor of Engineering

Kanesan, B.: „Konzeptionierung und Realisierung eines mechanischen Herz-Atemmodells für ein FMCW-Radarmesssystem zur berührungslosen Überwachung von Vitalparametern“, Hochschule Koblenz, Bachelor of Science

Kleinen, M.: „An Omnidirectional Offset-Reflector Fed by a Circular Switched Parasitic Array Antenna“,

ANHANG

AUSBILDUNG UND LEHRE

RWTH Aachen, Master of Engineering

Klöp, I.: „Entwicklung und Realisierung eines Messplatzes zur Charakterisierung von Hochfrequenzsystemen bei variablen Klimabedingungen“, Hochschule Koblenz, Bachelor of Engineering

Komrowski, C.: „Entwicklung eines Gerätes für THz-Scanner zur Synchronisierung der Schwenkbewegung einer Reflektorplatte mit Taktvorgabe“, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Bachelor of Engineering

Lütz, T.: „Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus zur Bestimmung des Flächengewichtes und der Feuchtigkeit von Holz und auf Holz basierenden Materialien, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Bachelor of Engineering

Müller-Bluhm, P.: „Implementierung eines 2-stufigen Super-HET-Empfängers mit einstellbarer Verstärkung zum Empfang

digitaler Wellenformen im UHF-Frequenzbereich“, Wilhelm-Büchner-Hochschule Darmstadt, Dipl.-Ing.

Thielen, J.: „Konzipierung der zentralen Betriebsüberwachungseinheit einer prototypischen Radarstation“, Hochschule Koblenz, Bachelor of Engineering

Wang, S.: „Entwicklung eines Algorithmus für ein hochfrequentes FMCW-Radarmesssystem zur berührungslosen Überwachung von Vitalparametern“, RWTH Aachen, Diplom-Ingenieur

Westhöfer, K.: „Entwicklung und Optimierung einer doppelt polarisierten CBSP-Antenne und Charakterisierung im Phased-Array Demonstrator“, Hochschule Koblenz, Bachelor of Engineering

Dozententätigkeiten bei Fachseminaren und Beratungsveranstaltungen

Bartsch, G.: „Weltraumlage – Erfassung und Bewertung von Lageinformationen“, Fachseminar „Staatliche Sicherheitsvorsorge im Luft- und Weltraum“, Bundesakademie für Sicherheitspolitik (BAKS), Berlin, 22.-26.9.2014

Bartsch, G. / Wiedemann, C.: „SSA - From Building Blocks to Operational Systems“, Sonderlehrgang an der Führungsakademie der Bundeswehr, Hamburg, 20.-31.10.2014

Bertuch, T.: „Dispersion Properties of Periodically Loaded Parallel-Plate Waveguides Analysis and Leaky-Wave Antenna Application“, European School of Antennas (ESoA) 2014, Leaky Waves and Periodic Structures for Antenna Applications, Sapienza Università di Roma, 16.4.2014

Briskin, S.: „Multistatische Abbildung (ISAR)“, CCG-Seminar SE 2.43, Passive und multistatische Radare, 4.-5.11.14

Caris, M.: „Millimeterwellen und THz-Warnsensorik“, CCG-Seminar SE 3.11, Warnsensorik und Gegenmaßnahmen, 19.11.2015

Kuschel, H.: „Grundlagen und Übersicht Passives Radar“, CCG-Seminar SE 2.43, Passive und multistatische Radare, 4.-5.11.14

Patzelt, T.: „Techniques for Space Reconnaissance with Radar“, Fundamentals of Space Situational Awareness 2014, Führungsakademie der Bundeswehr, Clausewitz-Kaserne, Hamburg, 20.10.-31.10.2014

Rosebrock, J.: „Techniques for Radar Based Imaging of Satellites“, Fundamentals of Space Situational Awareness 2014, Führungsakademie der Bundeswehr, Clausewitz-Kaserne, Hamburg, 20.10.-31.10.2014

Ummenhofer, M.: „Anwendungsbeispiele PARASOL“, CCG-Seminar SE 2.43, Passive und multistatische

Radare, 4.-5.11.14

Ummenhofer, M.: „Nutzung digitaler Rundfunkbeleuchter für Passiv Radar“, CCG-Seminar SE 2.43, Passive und multistatische Radare, 4.-5.11.14

Wasserzier, C.: „Multistatisches Radar zur Vogelbeobachtung“, CCG-Seminar SE 2.43, Passive und multistatische Radare, 4.-5.11.14

Weinmann, F.: „Elektromagnetische Modellierung von Streufeldern und Multistatischem Rückstreuquerschnitt“, CCG-Seminar SE 2.43, Passive und Multistatische Radare, 5.11.2014

Weiß, M.: „Compressive Sensing in multistatischen Systemen“, CCG-Seminar SE 2.43, Passive und multistatische Radare, 4.-5.11.14

VERÖFFENTLICHUNGEN

Veröffentlichungen in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften und Büchern

Baer, C.; Jaeschke, T.; Mertmann, P.; Pohl, N.; Musch, T.: „A mmWave Measuring Procedure for Mass Flow Monitoring of Pneumatic Conveyed Bulk Materials „, IEEE Sensors Journal, Vol. 14, No. 9, p. 3201-3209, September 2014

Biallawons, O.; Klare, J.; Saalmann, O.: „Realization and Calibration of the MIMO Radar MIRA-CLE Ka“, International Journal of Microwave and Wireless Technologies, Vol. 6, No. 3-4, p. 405-413, June 2014

Briskin, S.; Martorella, M.; Mathy, T.; Wasserzier, C.; Worms, J.G.; Ender, J.H.G.: "Motion estimation and imaging with a multistatic ISAR system," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 50, No.3, pp. 1701-1714, July 2014

Briskin, S.; Martorella, M.: "Multistatic ISAR autofocus with an image entropy-based technique," Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE , Vol. 29, No.7, pp. 30-36, July 2014

Canavero, M.; Murk, A.; Mätzler, C.; Nötzel, D.; Huck, J.: „Radiometric Active Indoor Imaging in the W-Band“, Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, February 2014, Volume 35, Issue 2, pp 218-241

Capatano, I., Soldovieri, F. and Gonzalez-Huici, M.A.: „Performance assessment of a microwave tomographic approach for Forward Looking Radar configuration“, Sensing and Imaging, April 2014

Caris, M.; Stanko, S.; Malanowski, M.; Samczyński, P.; Kulpa, K.; Leuther, A.; Tessmann, A.: „mm-Wave

SAR demonstrator as a test bed for advanced solutions in microwave imaging“, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 29, No. 7, p. 8-15, July 2014

Cerutti-Maori, D.; Sikaneta, I.; Klare, J., Gierull, C.: „MIMO SAR Processing for Multichannel High-Resolution Wide-Swath Radars“, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 52, No. 8, p. 5034-5055, August 2014

Colone, F.; Cristallini, D.; Cerutti-Maori, D.; Lombardo, P.: „Direction of arrival estimation performance comparison of dual cancelled channels space-time adaptive processing techniques“, IET Radar, Sonar and Navigation, Vol. 8, No. 1, p. 17-26, January 2014

Fromentin-Denozière, B.; Simon, J.; Tzoulis, A.;

Weinmann, F.; Anastassiou, H. T.; Escot Bocanegra, D.; Poyatos Martínez, D.; Fernández Recio, R.; Zdunek A.: „Comparative study of miscellaneous methods applied to a benchmark, inlet scattering problem“, IET Radar, Sonar and Navigation, 2014

Gonzalez-Huici, M.A., Soldovieri, F. and Capatano, I.: „A Comparative Study of GPR reconstruction approaches for Landmine Detection“, IEEE STARS, August 2014

Jaeschke, T.; Bredendiek, C.; Küppers, S.; Pohl, N.: "High Precision D-Band FM-CW-Radar Sensor Based on a Wideband SiGe-Transceiver MMIC", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 62, no. 12, pp 3582-2597, Dec. 2014

Kahle, R.; Weigel, M.; Kirschner, M.; Spiridonova,

- S.; Kahr, E.; Letsch, K.:** „Relative Navigation to Non-Cooperative Targets in LEO: Achievable Accuracy from Radar Tracking Measurements“, *International Journal of Space Science and Engineering*, Vol. 2, No. 1, p. 81-95, 2014
- Kuschel, H.; Ummenhofer M.; Lombardo, P.; Colone, F.; Bongionanni, C.:** „Passive Radar Components of ARGUS 3D“, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 29, No. 3, p. 15-25, March 2014
- Magnard, C.; Frioud, M.; Small, D.; Brehm, T.; Essen, H.; Meier, E.:** „Processing of MEMPHIS Ka-Band Multibaseline Interferometric SAR Data: From Raw Data to Digital Surface Models“, *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, Vol. 7, No. 7, p. 2927-2941, July 2014
- O'Hagan, D.W.; Basavarajappa, V.; Knott, P.; Kuschel, H.; Ummenhofer, M.; Simeoni, M.:** „A wideband antenna array for DVB-T based passive bistatic radar applications“, *IET Radar, Sonar and Navigation*, Vol. 8, No. 2, p. 106-113, February 2014
- Rial, F. I., Mendez-Rial, R., Lawadka, L., Gonzalez-Huici, M.:** „Digital Terrestrial Video Broadcast Interference Suppression Forward-Looking Ground Penetrating Radar-Systems;“, *Sensing and Imaging*, Vol. 115, No. 87
- Schiller, J.; Rosenbach, Kh.:** „Comparing classifier effectiveness“, *Radar Automatic Target Recognition (ATR) and Non-Cooperative Target Recognition (NCTR)*, *Radar, Sonar and Navigation Series* 33 (Buchkapitel Nr. 6), p. 157-175
- Sikaneta, I.; Gierull, C.H.; Cerutti-Maori, D.:** „Optimum Signal Processing for Multichannel SAR: With Application to High-Resolution Wide-Swath Imaging“, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 10, p. 6095-6109, October 2014
- Vilar, R.; Czarny, R.; Lee, M.-S.L.; Loiseaux, B.; Sypek, M.; Makowski, M.; Martel, C.; Crepin, T.; Boust, F.; Joseph, R.; Herbertz, K.; Bertuch, T.; Marti, J.:** „Q-Band Millimeter-Wave Antennas: An Enabling Technology for MultiGigabit Wireless Backhaul“, *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 15, No. 4, p. 121-130, June 2014
- Weiß, M.:** „Passive WLAN Radar network using Compressive Sensing Techniques“, *IET Radar, Sonar & Navigation* DOI:~10.1049/iet-rns.2014.0073 *IET Digital Library*, <http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-rsn.2014.0073>

Konferenzbeiträge

Baer, C.; Musch, T.; Jaeschke, T.; Pohl, N.:

„Contactless Determination of Gas Concentration and Pressure based on a low Jitter mmWave FMCW Radar“, Proceedings IEEE SENSORS Applications Symposium 2014, February 2014

Balasubramanian, Manushanker; Toccafondi, A.; Maci, S.: „Including high-frequency surface diffraction in a hybrid FEBI-MLFMM-UTD method“, 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2014, Den Haag (NL), 2603-2606, April 2014

Biallawons, O.; Klare, J.: „Person localization by detection of breathing with the MIMO radar MIRA-CLE Ka“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, p. 888-891, June 2014

Bournaka, G.; O'Hagan, D.; Kuschel, H.: „Array pattern synthesis techniques for circular array antennas for passive radar applications“, European Radar Conference 2014, Rom, Italy, Oktober 2014, CD Rom

Briskin, S.: „Multistatic ISAR“, Radar2014, Lille, France, Oktober 2014, CD Rom

Catapano, I.; Soldovieri F.; Gonzalez-Huici, M.: „Micro-wave tomography enhanced Forward Looking GPR: a feasibility analysis“, 15th International Conference on Ground Penetrating Radar GPR 2014, Brüssel

Caris, M.; Stanko, S.; Wahlen, A.; Sommer, R.; Wilcke, J.; Leuther, A.; Tessmann, A.; Pohl, N.: „Very High Resolution Radar at 300 GHz“, Proceedings 44th European Microwave Conference, October 2014

Cerutti-Maori, D.; Klare, J.; Sikaneta, I. C.; Gierull, H. C.: „Signal Reconstruction

with Range Migration Correction for High-Resolution Wide-Swath SAR Systems“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, p. 110-113 June 2014

Cerutti-Maori, D.; Prünke, L.; Ender, J.; Sikaneta, I.: „High-Resolution Wide-Swath SAR Processing with Compressed Sensing“, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2014, p. 3830-3833, July 2014

Cerutti-Maori, D.; Sikaneta, I.; Gierull, C.: „Detection and Imaging of Moving Objects with High-Resolution Wide-Swath SAR Systems“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 977-980, June 2014

Cristallini, D.; Walterscheid, I.: „SAR-GMTI enhanced with simultaneous monostatic and bistatic detections“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 989-992, June 2014

Ender, J.; Knott, P.; Brenner, A.; Klare, J.; Vaupel, T.; Worms, J.; Wilden, H.: „Advanced antenna concepts and experimental setups for DOA and tracking at Fraunhofer FHR“, Proceedings IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC) 2014, 202-205, August 2014, Aruba

Ender, J.; Knott, P.; Wilden, H.; Kohlleppe, R.; Pohl, N.; Bertuch, T.; Caris, M.; Klare, J.; Kuschel, H.: „RADAR for Security & Defence – Recent Developments at Fraunhofer FHR“, 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2014, Den Haag (NL), April 2014

Flegel, S.; Letsch, K.; Krag, H.: „Theoretical Analysis of South-Staring Beam Park Configurations for the TIRA System“, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2014, September 2014

Flegel, S.; Vörsmann, P.; Schildknecht, T.: „Reevaluation of the MASTER-2009 MLI and H-10 Debris Mo-

deling", 65th International Astronautical Congress 2014, September 2014

Fontana, A.; Berens, P.: „Super-Resolution ISAR Imaging of Maritime Targets Using PAMIR Data", 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 1196-1199, June 2014

Gierull, C.; Sikaneta, I.; Cerutti-Maori, D.: „Improved SAR-GMTI via Optimized Cramér-Rao Bound", 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 670-673, June 2014

Gracheva, V.; Ender, J.: „Multichannel Analysis of Medium Grazing Angle Sea Clutter", 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 1065-1068, June 2014

Hasenaecker, G.; Storch, R.; Musch, T.; Pohl, N.: „Ultra Low Noise Signal Synthesis for the use in a FMCW MIMO Radar System", Proceedings

IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC) 2014, August 2014

Hägelen, M.; Nowok, S.; Nöthen, D.; Lang, S.: „An active personal screening method at 360 GHz based on an FMCW-MIMO approach – A TeraSCREEN subsystem", 9. Sicherheitsforschungskonferenz Future Security, Berlin, September 2014

Hommes, A.; Shoykhet-brod, A.; Pohl, N.: „A Fast Tracking 60 GHz Radar Using A Frequency Scanning Antenna", Proceedings 39th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), September 2014

Jacome-Munoz, J.; Gonzalez-Huici, M.; Klimek, J.; Brüggewirth, S.: "Cognitive Radar for Automotive Application", EuRAD Conference, Presentation, Rome, 2014

Jaeschke, T.; Bredendiek, C.; Pohl, N.: „3D FMCW SAR Imaging based on a 240

GHz SiGe Transceiver Chip with Integrated Antennas", Proceedings of German Microwave Conference (GeMiC) 2014, March 2014

Jaeschke, T.; Bredendiek, C.; Pohl, N.: „SiGe-MMIC based D-Band Radar for Accurate FMCW Multi-Target Vibration Measurements", IEEE International Microwave Symposium (IMS) 2014, June 2014

Johannes, W.; Stanko, S.; Wahlen, A.; Sommer, R.; Pohl, N.: „Implementation of a 35 GHz SAR Sensor and a high resolution camera to enable real-time observation", 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, June 2014

Klare, J.; Biallawons, O.: „Disaster Management with the MIMO Radar MIRA-CLE Ka: Measurements of a Slowly Moving Wall", 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 880-883, June 2014

Klemm, R.; Cristallini, D.: „STAP techniques for real-time processing in heterogeneous clutter", 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 1073-1076, June 2014

Kohlleppel, R.; Mertens, M.: „Ground Target Tracking with Experimental Data of the PAMIR System", FUSION 2014, March 2014

Krisko, P.H.; Flegel, S.; Matney, M.J.; Jarkey, D.; Braun, V.: „ORDEM 3.0 and MASTER-2009 modeled small debris population comparison", 65th International Astronautical Congress 2014, September 2014

Liontas, C.: „A modular implementation of the boundary integral method for dielectric bodies using electromagnetic duality", 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2014, Den Haag (NL), 1325-1329, April 2014

Moll, J.; Krotzer, V.; Zimmermann, R.; Rolef, B.;

- Jaeschke, T.; Pohl, N.:** „Luggage Scanning at 80 GHz for Harbor Environments“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, June 2014
- Nüßler, D.; Küls, J.; Hein, K.; Stein, D.; Pohl, N.:** „THz imaging for recycling of black plastics“, Proceedings of German Microwave Conference (GeMiC) 2014; Proceedings of, March 2014
- Palm, S.; Johannes, W.; Pohl, N.; Stilla, U.:** „Monitoring weitreichender Gebiete durch SAR-Video Echtzeitprozessierung auf Kleinflugzeugen“, Proceedings Gemeinsame Tagung der DGfK, der DGPF, der GfGI und des GiN 2014, March 2014
- Palm, S.; Wahlen, A.; Stanko, S.; Pohl, N.; Wellig, P.; Stilla, U.:** „Real-Time Onboard Processing and Ground Based Monitoring of FMCW-SAR Videos“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, June 2014
- Pamies, M.; Bertuch, T.:** „Experimental interference analysis of an S-band AESA antenna demonstrator“, German Microwave Conference (GeMiC) 2014, 1-4, March 2014
- Prünke, L.:** „Detection performance of GMTI from SAR images with CS“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 1227-1230, June 2014
- Prünke, L.:** „GMTI from SAR images under off-grid considerations“, SET-213 „Compressive Sensing for Radar/SAR and EO/IR Imaging“, 12-1 - 12-4, May 2014
- Radtke, J.; Flegel, S.; Roth, S.; Krag, H.:** „Deriving the spacecraft criticality from Monte-Carlo simulations of the space debris environment“, 65th International Astronautical Congress 2014, September 2014
- Radtke, J.; Dominguez-Gonzalez, R.; Flegel, S.K.; Sanchez-Ortiz, N.; Merz, K.:** „Impact of Eccentricity Disposal Strategies on MEO Navigation Constellations“, 40th COSPAR Scientific Assembly 2014, August 2014
- Ribalta, A.:** „Chirp scaling algorithm using the least-squares approximation“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 178-180, June 2014
- Ribalta, A.:** „On the effects of the atmospheric refractive index on airborne SAR“, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2014, 451-453, July 2014
- Riché, V.; Klare, J.; Cerutti-Maori, D.:** „Adaptive waveform design based on optimisation algorithm“, SET-204 „Waveform Diversity“, 15-1 - 15-12, September 2014
- Rodriguez-Ulibarri, P.; Beruete, M.; Falcone, F.; Crepin, T.; Martel, C.; Boust, F.; Loecker, C.; Herbertz, K.; Salzburg, C.; Bertuch, T.; Martinaud, J.-P.; Dousset, T.; Marcotegui, J.A.:** „Metaradome for blind spot mitigation in phased-array antennas“, 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2014, Den Haag (NL), 2504-2508, April 2014
- Searle, S.; Palmer, J.; Davis, L.; O'Hagan, D.W. & Ummenhofer, M.:** „Evaluation of the ambiguity function for passive radar with OFDM transmissions“, IEEE Radar Conference 2014, 1040-1045, May 2014
- Shoykhetbrod, A.; Hommes, A.; Pohl, N.:** „A Scanning FMCW-Radar System for the Detection of Fast Moving Objects“, International Radar Conference 2014, October 2014
- Sikaneta, I.; Cerutti-Maori, D.; Klare, J.; Gierull, C.:** „Comparison of multi-channel high-resolution wide-swath SAR processing methods“, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2014, 3834-3837, July 2014

Sikaneta, I.; Gierull, C.H.; Cerutti-Maori, D.: „Enhancing global maritime domain awareness through SAR with multiple apertures“, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2014, 1128-1131, July 2014

Valerio Minero, O.; Kästner, B.; Ribalta, A.; Berens, P.: „On-board SAR data processing and visualization for PAMIR“, 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of EUSAR 2014, 438-440, June 2014

Vaupel, T.: „Design of End Fire Substrate Integrated Waveguide Antenna Elements Using in House Planar -3D Integral Equation Frameworks and Commercial Full-HD Methods“, 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2014, Den Haag (NL), April 2014

Wagner, S.: "Combination of Convolutional Feature Extraction and Support Vector Machines for Radar ATR", Fusion 2014

Weinmann, F.: „Accurate Prediction of EM Scattering by Wind Turbines“, 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2014, Den Haag (NL), April 2014

Weinmann, F.: „Adaptive Multi-Level Uniform Space Partitioning Algorithm for High-Frequency Electromagnetics Simulations based on Ray Tracing“, 1st IEEE International Conference on Numerical Electromagnetic Modeling and Optimization for RF, Microwave, and Terahertz Applications NEMO 2014, May 2014

Weinmann, F.: „High-Frequency Electromagnetic Simulation of Wind Turbines in Realistic Scenarios and Approximation Techniques for Reducing the Complexity of Computations“, 9th Security Research Conference „Future Security“, September 2014

Wiedemann, C.; Flegel, S.; Kebschull, C.: „Additional orbital fragmentation events“, 65th International Astronautical Congress 2014, September 2014

Worms, J.: „Wideband DOA Estimation Using Spiral Antennas“, ICEAA 2014, Palm Beach/Aruba, 3.-9. August 2014, CD Rom

Worms, J. & Vaupel, T.: „Wideband DOA estimation using spiral antennas“, International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA) 2014, 327-330, August 2014

Worms, J. & Rieck, W. (MBDA): „Multi-Side Radar Systems for Ballistic Missile Defence“, 10th International Conference on Missile Defence, Mainz, Germany, 17.-20. Juni 2014

Sonstige Vorträge auf wissenschaftlichen Veranstaltungen

Bartsch, G.; Fiedler, H.; Weigel, M.: „Nachhaltige Konzepte für die Welt-
raumüberwachung“, 4.
DWT-Forum Weltraum,
9.-10.9.2014, Bonn/Bad
Godesberg

Cerutti-Maori, D.: „Merh-
kanalige Signalprozessierung
für zukünftige SAR-Satelliten-
systeme“, Kuratoriumssitzung
des FHR, Wachtberg, Mai
2014

Ender, J.: „Sicherheit im
Weltraum – Weltraum-
lageerfassung mit Radar“,
DWT-Forum „Angewandte
Forschung für Verteidigung
und Sicherheit in Deutsch-
land“, Berlin, Februar 2014

Ender, J.: Workshop „Auto-
focussing ISAR Images with
sparse Representation“,
NATO SET213, Tallin, Estland,
Mai 2014

Ender, J.: „Compressed Sens-
ing Applied to Radar“, 6th
International Summerschool
on Radar/SAR, Remagen, Juli
2014

Ender, J.: „Sparse Recovery
for Radar Appliactions“,
Böhme and Fettweis-Work-
shop, Ruhr-Universität
Bochum, September 2014

Ender, J.: Workshop: „An
overview on CS radar applica-
tions and statistical analyses“,
European Microwave Week,
Rom, Italien, Oktober 2014

**Giovanneschi, F.;
Gonzalez-Huici, M.:**
"Sparse representation
based Classification of
GPR Data", NATO SET-213
Specialist Meeting, Tallin,
Estland

González-Huici, M.:
„Ground Penetrating Radar
Modeling for Recognition
of buried Landmines“,
Kuratoriumssitzung des FHR,
Wachtberg, Mai 2014

Gracheva, V.: „Multichannel
Analysis of Sea Clutter“, Fall
presentations, Universität
Siegen, Oktober 2014

Lang, S, Nübler, D.:
„Hochfrequenzsensoren
zur Gefahrendetektion“, 2.
Forschungs- und Technolo-
giesymposium der Polizei,
Münster, Mai 2014

Lang, S.: „Hochfrequenz-
sensoren für die polizeiliche
Anwendung“, 17. Europäi-
scher Polizeikongress, Berlin,
Februar 2014

Letsch, K.: „Methoden zur
Erfassung und Beobachtung
von Weltraummüll“, 4.
Forum Weltraum (DWT),
September 2014

Letsch, K.: „Weltraumschrott
im Visier - Gefahren und
Gegenmaßnahmen“, Säch-
sischer Tag der Schulastrono-
mie, Dresden, April 2014

Nübler, D.: „blackValue
– Recycling schwarzer Kunst-
stoffe“, Kuratoriumssitzung
des FHR, Wachtberg, Mai
2014

Pohl, N.: „Current and future
application requirements of
mm-Wave radar sensors“,
IEEE International Solid-State
Circuits Conference
(ISSCC), Forum on mm-Wave
Advances for Active Safety
and Communication Systems,
San Francisco, USA, Februar
2014.

Pohl, N.: „Hochpräzise
Positionsmessung durch Mil-
limeterwellen-Radartechnik“,
7. Fraunhofer Vision-Technol-
ogietag, München, Oktober
2014

Pohl, N.: „Distance Evalua-
tion by FMCW Radar“, 44nd
European Microwave Confer-
ence (EuMC), Workshop on
Industrial Radar Technologies,
Rome, Italy, Oktober 2014

Wagner, S.: „Ground Clutter
Removal in SAR Images by

Sonstige Veröffentlichungen

Morphological Component Analysis", Fall Presentations Universität Siegen, Oktober 2014

Weiss C.; Nordsiek, P; Lang, S.; Jaeschke, T.; Pohl, N:
„Radar based depth perception for safe navigation in smoke filled surroundings“, European Robotic Forum, Italien, März 2014

Weiß, M.: „Radar Fundamentals“, 6th International Summerschool on Radar/SAR, Remagen, Juli 2014

Bertuch, T.: „Marine radar with an extremely agile modular phased array antenna“, Fraunhofer Group for Microelectronics portrait 2014

GREMIENTÄTIGKEITEN

Bartsch, G.

- EDA's CapTech Networks of experts: CapTech-Member
- Fraunhofer-Allianz SPACE: Sprecher Geschäftsfeld Sensorsysteme und Analyse
- DGLR-Fachausschuss 2.5 „Sicherheit und Verteidigung“: Gründungsmitglied
- DGLR-Fachausschuss 2.6 „Umweltaspekte der Raumfahrt“: Mitglied

Berens, P.

- EUSAR 2014: Program Committee

Brenner, A.

- EUSAR 2014: Program Committee

Cerutti-Maori, D.

- EUSAR 2014: Program Committee

Danklmayer, A.

- EUSAR 2014: Program Committee
- IGARSS 2014: Program Committee
- GeMiC 2014: Program Committee
- VDE ITG Fachauschuß 7.5 Wellenausbreitung, Appointed Member

Ender, J.

- Fellow des IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers)
- VDI-ITG Fachbereich 7: Fachbereichsleiter Hochfrequenztechnik
- NATO Science & Technology Organisation (STO) Sensors & Technology (SET) Panel: Member at large
- Institut für Sicherheitsforschung der Hochschule Bonn-

Rhein-Sieg: Kuratoriumsmitglied

- EUSAR 2014: Program Board
- EuRad 2014: Technical Program Committee
- Future Security 2014: Programm Komitee Mitglied
- IRS 2014: Technical Program Committee
- Mitglied im Rat der DGON (Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation)
- Mitglied des IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.)

Flegel, S.

- 65th International Astronautical Congress 2014, Toronto: Co-Chairman

Klare, J.

- RADAR 2014: Reviewing Committee
- EUSAR 2014: Program Committee
- EuRAD 2014: Technical Programme Committee
- NATO SET-204 „Waveform Diversity“: Meeting Chairman

Klemm, R.

- EUSAR 2014: Conference Board, Honorary Member; Program Committee

Knott, P.

- 7.1 Antennen der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG), Member
- Capability Technology Area (CapTech) IAP2 - RF Sensor Systems & Signal Processing Panel, European Defence Agency (EDA), CapTech Governmental Expert (CGE)
- European Association on Antennas and Propagation (EurAAP), Regional Delegate (Proxy)

- Executive Committee (Vorstand) des IEEE Microwave Theory and Techniques (MTT) / Antennas and Propagation (AP) Joint Chapter, Vice-Chair
- ICT COST Action IC1102 Versatile, Integrated, and Signal-aware Technologies for Antennas (VISTA), Member

Kuschel, H.

- DMPAR verification of Short term solution (SET 195): Chairman

Letsch, K.

- 32nd IADC Meeting, Peking: Nationaler Vertreter in der WG 1 (Measurements)

Leushacke, L.

- Deutscher Vertreter im IADC, WG1

Matthes, D.

- NATO SCI 252 Coherent Electronic Attack to Advanced Radar Systems: Chairman

Nüßler, D.

- Fraunhofer Vision
- DGZfP -Mitglied

O'Hagan, D.

- NATO SET 207 Advanced Situation Specific Modeling, Sensing and Vulnerability Mitigation using Passive Radar: Chairman

Pohl, N.

- VDE ITG Fachausschuss 7.3 Mikrowellentechnik, Member
- IEEE MTT Technical Committee MTT-16, Microwave Systems, Member
- URSI, Kommission A, Elektromagnetische Metrologie, Member
- IEEE BCTM, Technical Program Committee, Member of the Wireless Subcommittee

Uschkerat, U.

- EDA-RFST: National Expert
- NATO SET 208 Signal processing for implementation in hand-held multi sensor ground penetrating system: Co-Chairman
- CEPT-SE24: Mandat zum WI37

Walterscheid, I.

- EUSAR 2014: Program Committee

Weiß, M.:

- EUSAR: EUSAR-Executive, Program Committee

Wilden, H.

- EDA CapTech IAP2: Member

AUSZEICHNUNGEN

Auszeichnungen

Crépin, T.; Martel, C.; Gabard, B.; Boust, F.; Martinaud, J.-P.; Dousset, T.; Rodriguez-Ulibarri, P.; Beruete, M.; Löcker, C.; Bertuch, T.; Marcotegui, J. A.; Maci, S.: „Disruptive Concept award“ des International Radar Conference 2014
Award Committee and Technical Program Committee

Cristallini, D.; Walterscheid, I.: Best Paper Award der EUSAR 2014 für den Beitrag „SAR-GMTI enhanced with simultaneous monostatic and bistatic detections“

Wang, S.: „Viktor und Mirka Pollak-Preis für Medizinische Technik 2014“ für ihre Diplomarbeit "Entwicklung eines Algorithmus für ein hochfrequentes FMCW-Radarmesssystem zur berührungslosen Überwachung von Vitalparametern".

Worms, J.; Mathy, T.; Wasserzier, C.; Saam, A.; Briskin, S.; Haumtratz, T.: „MBDA 1-Star Innovation Award“, MBDA Deutschland GmbH, Schrobenhausen

VERANSTALTUNGEN

Tagungsorganisation

„Workshop Millimeterwellen-radar“, 19. - 20. März 2014, Wachtberg

„Workshop: Inauguration of the SiGe Laboratories“, 25. Juni 2014, Wachtberg

„Wachtberg-Forum“, 26. Juni 2014, Wachtberg

„6th International Summer School on Radar / SAR“, 4. - 11. Juli 2014, Remagen

„NATO STO Specialists' Meeting SET-204 on Waveform Diversity“, 29.-30. September 2014, Berlin

„NATO STO Specialist' Meeting SET 270 Electronic Warfare on new Radar“, 1.-2. Dezember 2014, Berlin

Beteiligung an Messen und Fachausstellungen

Messestand beim DWT-Forum „Angewandte Forschung für Verteidigung und Sicherheit in Deutschland“, 3. - 5. Februar 2014, Berlin

Messestand bei der „German Microwave Conference (GeMiC)“, 10. - 12. März 2014, Aachen

MitAussteller beim Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft bei der Messe „analytica“ vom 1. - 4. April 2014, München

Messestand bei der Firmenkontaktmesse „Campus & Praxis“ der Fachhochschule Koblenz, 1. April 2014, Remagen

MitAussteller beim Gemeinschaftsstand von der Fraunhofer-Allianz Vision bei der Messe „Control“, 6. - 9. Mai 2014, Stuttgart

Messestand und Beteiligung am Gemeinschaftsstand von der Fraunhofer-Allianz Space bei der Messe „ILA Berlin Air Show“, 20. - 25. Mai 2014, Berlin

MitAussteller beim Gemeinschaftsstand von der Fraunhofer-Allianz Space beim DWT-Forum „Welt-raum“, 9. - 10. September 2014, Bonn

MitAussteller beim Gemeinschaftsstand von der Fraunhofer-Allianz Verkehr bei der Messe „Shipbuilding, Machinery & Marine Technology (SMM)“, 9. - 12. September 2014, Hamburg

MitAussteller bei der Konferenz „Future Security“, Berlin, 16. - 18. September 2014

MitAussteller am Messestand der Firma Dirkshof bei der Messe „Windenergy“, Hamburg, 23. - 26. September 2014

Gemeinsamer Messestand mit Fraunhofer IAF bei der „European Microwave Week“, 6. - 10. Oktober 2014, Rom, Italien

Aussteller beim 7. Fraunhofer Vision-Technologietag, 15. - 16. Oktober 2014, München

Messestand beim „Kalaydo Karrieretag“, 23. Oktober 2014, Bonn

Beteiligung am Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft beim "Absolventenkongress Deutschland", 26. - 27. November 2014, Köln

PRESSESPIEGEL

Datum	Titel	Medium
03.02.2014	Wind Farms to blink when necessary	Physorg.us
06.02.2014	Windparks blinken nur bei Bedarf	Maschinenmarkt Online
05.03.2014	Windräder die nur bei Bedarf blinken	Neue Westfälische
07.03.2014	ESA macht Jagd auf Weltraumschrott	VDI Nachrichten
08.03.2014	Neues Alarmsystem für Windanlagen	Magdeburger Volksstimme
10.03.2014	GEMIC2014 Highlights in der Mikrowellentechnik	relevant online
04.04.2014	Von Tradition bis Moderne	General-Anzeiger Bonn
10.04.2014	Fraunhofer institute selects 145 GHz VNA	EPDTonthenet.de
14.04.2014	Fraunhofer selects Anritsu 145 GHz vector network analyser system	Microwave Journal
23.04.2014	Schwanfeld will keine weiteren Windräder mehr haben	Main Post
25.04.2014	Angehende Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik besuchten Hannovermesse	Rhein-Zeitung
17.05.2014	Kein Bonus für die schöne Landschaft	Bonner Rundschau
19.05.2014	Experte für Luf terkundung - Tragschrauber von Remagener Institut	dpa
11.06.2014	Der Tragschrauber aus Remagen	Siegener Zeitung
16.06.2014	Wirtschaftsministerin Lemke besucht den Rhein-Ahr-Campus	General-Anzeiger Bonn
18.06.2014	Blinken nur noch bei Bedarf - Neues Radarsystem geht in Serie	Flensburger Tagesblatt
18.06.2014	Blinken bei Bedarf - Windkraft-Innovation geht nach Testphase bald in Serie	Husumer Nachrichten
23.06.2014	Die Technologien des bildgebenden Radars befruchten viele Bereiche	Huffington Post
10.07.2014	Radartechnik	WDR
25.07.2014	Lauschangriff aus der Eifel	General-Anzeiger Bonn
23.08.2014	Bilderrätsel: Der größte Golfball im Bonner Raum	General-Anzeiger Bonn
23.08.2014	Radaranlage bekommt neue Kappe	Bonner Rundschau
26.08.2014	Radaranlage bekommt neue Kappe	Kölnische Rundschau
01.09.2014	Windparks blinken nur bei Bedarf	Innovation Energie
03.09.2014	TIRAs neue Kappe schwebt heran	Bonner Rundschau
03.09.2014	Wie ein geköpftes Frühstücksei	Bonner Rundschau
03.09.2014	Radom-Golfball wird zum Frühstücksei	Express Bonn
03.09.2014	Kugel ohne Kappe	General-Anzeiger Bonn
03.09.2014	Neuer Deckel für das Wahrzeichen Wachtbergs	General-Anzeiger Bonn
19.09.2014	Wachtberg wächst und wächst	General-Anzeiger Bonn

Datum	Titel	Medium
19.09.2014	Radarverfahren und viele IT-Techniken	Göttinger Tageblatt
06.10.2014	Wind farms flash only when needed	Innovation & Energy
23.10.2014	Windmühlen werden erträglicher	Flensburger Tageblatt
24.10.2014	Jede Menge Jobs im Angebot	General-Anzeiger Bonn
07.11.2014	Radar an, Licht aus	Neue Energie
03.12.2014	Tests an der Küste	Husumer Nachrichten
05.12.2014	Förderung für Warnsystem aus Wachtberg	Bonner Rundschau
05.12.2014	Zuschuss für Warnsystem	General-Anzeiger Bonn
09.12.2014	Windpark Jalm offiziell eröffnet	Flensburger Tagesblatt
10.12.2014	Innovative application of metamaterials to improve radars	Physorg
11.12.2014	Innovative application of metamaterials to improve radars	ECN.us
15.12.2014	Licht aus im Windpark	Energie & Management
18.12.2014	Zwei Millionen Euro für Forschung vom Bund	General-Anzeiger Bonn
29.12.2014	Das Radom strahlt weiß wie lange nicht	General-Anzeiger Bonn

ANFAHRT



STANDORTE

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

Hauptsitz und Postanschrift:

Fraunhofer FHR
Fraunhoferstr. 20
53343 Wachtberg

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

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

Institutsteil Wachtberg-Villip

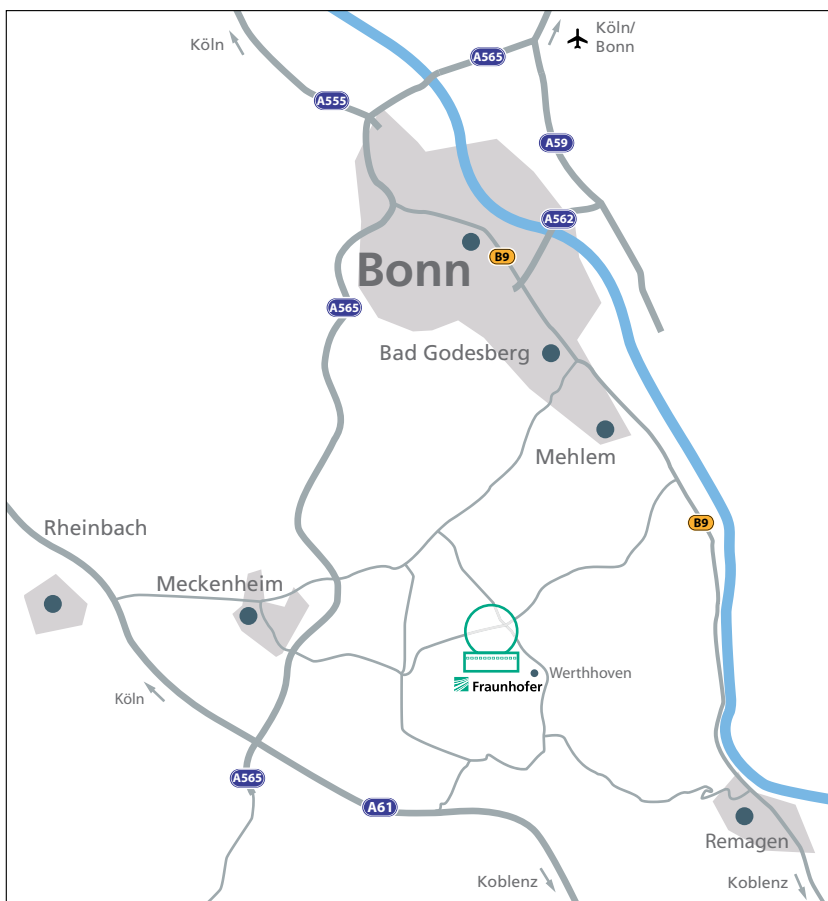
Fraunhofer FHR
Siebengebirgsblick 22
53343 Wachtberg-Villip

Tel.: 0228 9435-159
Fax: 0228 9435-192

Anwendungszentrum Remagen

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

Tel. 02642 932-427
Fax 02642 905440 427



IMPRESSUM

Herausgeber

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

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

Bilder

Bilder:

© Fraunhofer FHR, außer:

S. 3, S. 10-11, S. 17, S. 23, S. 43, S. 51, S. 57, S. 65, S. 67, S.
70-71, S. 73, S. 76, S. 78-79, S. 81 Abb. 3, S. 95 Abb. 2: ©

Uwe Bellhäuser, Saarbrücken

S. 14, S. 48-49, S. 54-55, S. 62-63, S. 75: © Shutterstock

S. 17: © Komposition aus CC BY 2.5 Wikipedia/Oren Peles;
Shutterstock; Haykin, Simon: "Cognitive radar: a way of the
future." Signal Processing Magazine, IEEE 23.1 (2006): 30-40.

S. 18: Abb. 1, 6: © Uwe Bellhäuser; Abb. 2: © ESA, Abb. 3-5:
© Shutterstock

S. 20-21, S. 33: © Bundeswehr/Bienert; Uwe Bellhäuser

S. 29 Abb. 3: © Fraunhofer FHR/Universität Zürich

S. 40-41: © ESA

S. 53: © Hella KGaA Hueck & Co

S. 58: © Stephan Giesers, Wilhelmshaven

S. 59 Abb. 2: © Dirkshof/Fraunhofer FHR

S. 68: © Bundeswehr/Bienert

S. 69: © Landeskriminalamt Nordrhein-Westfalen

S. 82-83: © TU München/Michael Schmitt

Redaktion

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

Layout und Satz

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

Social Media



Facebook

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



Twitter

http://www.twitter.com/Fraunhofer_FHR

Alle Rechte vorbehalten.

Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der
Redaktion.

Wachtberg, April 2015

