



**JAHRESBERICHT**  
**2019**

*Mit dem zukünftigen mehrkanaligen  
Radarzielsimulator ATRIUM können im  
Fahrzeug installierte Radarsensoren mit  
realistischen Szenarien hoher  
Komplexität getestet werden.*

# **JAHRESBERICHT 2019**



# VORWORT

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

das Jahr 2019 war für unser Institut ein Jahr zum Feiern: 70 Jahre Fraunhofer-Gesellschaft, 10 Jahre Fraunhofer FHR und 5 Jahre Abteilung Kognitives Radar. Hinter diesen drei Jubiläen stehen jeweils wahre Erfolgsgeschichten, die wir mit Gästen aus Wissenschaft, Verteidigung, Wirtschaft und Politik im Rahmen unseres 9. Wachtberg-Forums gebührend gefeiert haben (siehe Seite 11).

Ein weiterer Höhepunkt in unserem Kalender war der erstmalige Besuch des Generalinspektors der Bundeswehr auf unserem Campus. Am 5. Juli hatten wir die Ehre, General Eberhard Zorn das Institut präsentieren und über die Fähigkeiten der Weltraumradarsysteme TIRA und GESTRA informieren zu können. (siehe Seite 8).

Auch organisatorisch gab es Neuigkeiten: Zum 1. Juni 2019 übernahm Dr. Christine Mauelshagen die neugegründete Stabstelle Strategie und Organisationsentwicklung. Vor dem Hintergrund unseres kräftigen Wachstums wird eine kontinuierliche Strategiearbeit immer relevanter. Frau Dr. Mauelshagen unterstützt die Institutsleitung in diesen wichtigen Belangen.

Ein nicht nur für die Radarwelt historisches Ereignis erfuhr am 19. Oktober unter Mitwirkung des Fraunhofer FHR eine große Würdigung: Das *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) als weltweit größter Berufsverband von Ingenieuren würdigte die Arbeit des Radarpioniers Christian Hülsmeier als einen IEEE Milestone. An der Kölner Hohenzollernbrücke, wo Hülsmeier 1904 erstmals sein „Telemobiloskop“ vorführte, wurde nach einem Festakt mit der Kölner Oberbürgermeisterin Henriette Reker eine Gedenkplakette enthüllt (siehe Seite 6).

Unsere hochkarätigen Forschungsleistungen wurden auch im vergangenen Jahr wieder international anerkannt. Wir freuen uns über den NATO SET Early Career Award für Prof. Dr.

Daniel O'Hagan und die IEEE Dennis J. Picard Medal for Radar Technologies and Applications für unseren ehemaligen Mitarbeiter Richard Klemm. Auch die Forschung zweier Studenten von Prof. Knott an der RWTH Aachen wurde gewürdigt: Giovanni D'Apice erhielt den AFCEA Studienpreis 2019 und Jannik Springer den ARGUS-Award 2019. Den Jahresabschluss machte die Auszeichnung der Kollegen Andrej Konforta, Dr. Christos Lontas und Dr. Thomas Bertuch mit dem 2019 IEEE Antennas and Propagation Ulrich L. Rohde Innovative Conference Paper Award on Antenna Measurements and Applications.

Auch im vergangenen Jahr haben unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit vollem Einsatz unsere Forschungsprojekte vorangetrieben. Eine spannende Projektauswahl aus den sechs Geschäftsfeldern möchten wir Ihnen in diesem Jahresbericht vorstellen.

Wir wünschen eine interessante Lektüre!

Peter Knott

Dirk Heberling

Geschäftsführender Institutsleiter:

**Prof. Dr.-Ing. Peter Knott**  
Tel. +49 228 9435-227  
peter.knott@fhr.fraunhofer.de

Institutsleiter:

**Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling**  
Tel. +49 228 9435-176  
dirk.heberling@fhr.fraunhofer.de

# INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	3
<b>AUS DEM INSTITUT</b>	
<hr/>	
Highlights des Jahres 2019	5
Wachtberg-Forum im Zeichen von drei Jubiläen	11
Fraunhofer Köpfe	15
Promotion am Fraunhofer FHR	19
<b>ÜBERBLICK</b>	
<hr/>	
Fraunhofer FHR im Profil	21
Fraunhofer FHR in Zahlen	23
Organigramm	25
Das Kuratorium	27
Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)	29
<b>GESCHÄFTSFELD VERTEIDIGUNG</b>	
<hr/>	
Höhere Auflösung, dreidimensionale Abbildungen: Kreis-SAR	33
»Um-die-Ecke«-Radar: Indirekte Lokalisierung von Objekten	35
Multimodale Antennen aus dem 3D-Drucker	37
Minen jeglicher Art aufspüren? Aber sicher...	38
Messkampagne der NATO: Radarsysteme des Fraunhofer FHR beteiligt	39
Aus Hundert mach Eins: Antennen auf Fregatten und Co. zusammenfassen	40
<b>GESCHÄFTSFELD WELTRAUM</b>	
<hr/>	
GESTRA: Den erdnahen Orbit stehts »im Blick«	43
Rückführung von Weltraumschrott: Weltraumbeobachtungsradar TIRA kann unterstützen	45
Schärfere ISAR-Bilder von Satelliten und anderen Weltraumobjekten	47
Weltraumschrott im Fokus: Hochgenaue Bahnbestimmung mit TIRA	48

<b>GESCHÄFTSFELD SICHERHEIT</b>	
<hr/>	
Umgebung auf dem Boden und in der Luft überwachen	51
Politische Kundgebungen? Sportveranstaltungen? Drohnen aufspüren...	52
<b>GESCHÄFTSFELD VERKEHR</b>	
<hr/>	
»Selbstfahrende« Autos: So kommen sie sicher auf die Straße	55
Schiffbrüchige zuverlässig aufspüren – Mit einem neuartigen Radarsystem	57
Autonomes Fahren: Hindernisse erkennen und ihre Höhe analysieren	58
<b>GESCHÄFTSFELD PRODUKTION</b>	
<hr/>	
Qualitätskontrolle in der Produktion: Radarbasierte Oberflächenabbildung	61
Fremdkörper in Lebensmitteln via Radar aufspüren	62
<b>GESCHÄFTSFELD MENSCH UND UMWELT</b>	
<hr/>	
Verschüttete großflächig und schnell aufspüren: Per mobilem Radar-Gerät	65
<b>ANHANG</b>	
<hr/>	
Ausbildung und Lehre	68
Veröffentlichungen	71
Gremientätigkeiten	73
Standorte	75
Impressum	77

# HIGHLIGHTS DES JAHRES

# 2019

Remagen, 5. - 12. Juli

**11th International Summer School on Radar/SAR**

## AUS 16 LÄNDERN AN DEN RHEIN

Bereits zum 11. Mal lud das Fraunhofer FHR zur *International Summer School on Radar/SAR*. 45 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus 16 Nationen kamen vom 5.-12. Juli ins Haus Humboldtstein nach Remagen, um sich intensiv zum Thema Radar/SAR fortzubilden und auszutauschen. Auf die Studenten, Doktoranden und jungen Wissenschaftler wartete eine hochkarätige Agenda mit 10 Vorträgen und einem von sechs 1,5-tägigen Workshops internationaler Radarexperten. Außerdem stand ein Besuch des Instituts auf dem Programm. Kollegen verschiedener Abteilungen hielten mit viel Engagement Vorträge organisierten Messkammerführungen und präsentierten ihre Projekte den Gästen. Darüber hinaus kam das *Social-Life* nicht zu kurz: bei einem Ausflug nach Köln, einer Radtour in Bonn rund um den Rhein oder beim traditionellen »Bergfest«, einem Grillabend am Haus Humboldtstein, ergaben sich reichlich Gelegenheiten zum Networking und Austausch.



Paris, Frankreich, 29. September - 4. Oktober  
**European Microwave Week (EuMW)**

## RADARINNOVATIONEN UNTER DEM EIFELTUM

Mit einem großen Team war das Fraunhofer FHR auf der *European Microwave Week* in Paris vertreten. Auf einem Gemeinschaftsstand mit der niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung TNO und dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF sowie dem Gemeinschaftsstand der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland FMD präsentierten die Experten unter anderem die Projekte GESTRA, ATRIUM, ORAS. Ebenso hielten die Wissenschaftler sechs Fachvorträge, veranstalteten einen Workshop und beteiligten sich an zwei weiteren zu Radar- und Hochfrequenzthemen an dieser Leitmesse und Konferenz für Mikrowellentechnologie, Hochfrequenztechnik und Radar.

Köln, 19. Oktober

**Festakt zum IEEE Milestone für Christian Hülsmeier Medallie**

## IEEE MILESTONE FÜR CHRISTIAN HÜLSMEYER

Das *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, der weltweit größte Berufsverband von Ingenieuren, hat den Radar Pionier Christian Hülsmeier an historischer Stelle in Köln gewürdigt. Am 17. Mai 1904 führte der erst 22-Jährige Erfinder Hülsmeier an der Hohenzollernbrücke zum ersten Mal sein »Telemobiloskop« vor, mit dem Schiffe selbst bei Dunkelheit und Nebel verlässlich geortet wurden. Mit Unterstützung durch Fraunhofer FKIE und Fraunhofer FHR hat der *IEEE* diese Geburtsstunde des Radars nun als *IEEE Milestone* aufgenommen, eine besondere Ehrung, denn in Deutschland wurden bisher nur fünf technische Errungenschaften damit ausgezeichnet. Am 19. Oktober fand nach einem Festakt mit der Kölner Oberbürgermeisterin Henriette Reker im historischen Rathaus die feierliche Enthüllung der Gedenkplakette am Rhein statt. Auf der anschließenden Abendveranstaltung sprachen internationale Radarexperten über die Bedeutung von Hülsmeyers' Erfindung.



# 2019

Darmstadt, 22. - 24. Januar  
**ESA NEO and Debris Detection Conference**

Wachtberg, 26. Februar  
**Radarpraktikum mit Studierenden der RWTH Aachen am Fraunhofer FHR**



Wachtberg, 21. Februar  
**TIRA-Bild von Tiangong-1 erscheint im Brockhaus**



Berlin, 14. - 15. März  
**Future Security**

Boston, USA, 22. - 26. April  
**IEEE Radar Conference und Besichtigung des Weltraumradars HUSIR (Haystack Ultrawideband Satellite Imaging Radar)**



Stuttgart, 7.-10. Mai  
**Control**

Wachtberg, 7. - 8. Mai  
**PCL Focus Days**

Wachtberg, 5. Juli  
**Generalinspekteur informiert sich über Weltraumbeobachtung**  
Hoher Besuch in Wachtberg: Erstmals besuchte der Generalinspekteur der Bundeswehr das Institut. Prof. Knott führte General Eberhard Zorn über das Gelände und präsentierte ihm die Fähigkeiten von TIRA und GESTRA. Der General zeigte sich beeindruckt von der Leistungsfähigkeit der Systeme und unterstrich deren Beitrag zum Schutz der Weltrauminfrastruktur. Das Fraunhofer FHR ist ein wichtiger Partner für die Bundeswehr im Rahmen der Raumfahrtstrategie der Bundesregierung. »Es war uns eine Ehre, zum ersten Mal den Generalinspekteur der Bundeswehr begrüßen zu dürfen. und wir freuen uns auf eine weiterhin konstruktive und erfolgreiche Zusammenarbeit mit der Bundeswehr«, bedankte sich Prof. Knott für das Interesse von General Zorn.



Remagen, 5. - 12. Juli  
**11th International Summer School on Radar/SAR**

Wachtberg, 4. Juli  
**Wachtberg-Forum (s. S. 12)**

Wachtberg, 5. Juli  
**Kuratoriumssitzung**

Aachen, 3. Juli  
**Bonding Automotive Day**

Köln, 13. August  
**ICPS Jobfair**

Bonn, 12. September  
**Firmenlauf**



Frankfurt/Oder, 12. - 13. September  
**FMD Innovation Day**

Ulm, 25. September  
**ARGUS Award für Jannik Springer**

Bonn, 10. Oktober  
**Karrieretag**

Bonn, 16. - 17. Oktober  
**ELIV (Electronic in Vehicles): Hochfrequenztechnologie für autonomes Fahren**



Köln, 19. Oktober  
**Festakt zum IEEE Milestone für Christian Hülsmeier Medaille (s. S. 6)**

Wachtberg, 8. November  
**Nacht der Technik Bonn-Rhein-Sieg**

Bremen, 19. - 21. November  
**Space Tech Expo Europe: Weltraumkompetenz im Fokus**

Bali, Indonesien, 25. Oktober  
**IEEE Award für Andrej Konforta, Christos Liontas und Prof. Dr. Thomas Eibert (TUM)**



Brüssel, 14. November  
**EDA-Workshop »Radar Signatures & EM Benchmarks«**

JANUAR

FEBRUAR

MÄRZ

APRIL

MAI

JUNI

JULI

AUGUST

SEPTEMBER

OKTOBER

NOVEMBER

DEZEMBER

Wachtberg, 27. Februar  
**Besuch des Sinziger Dreigestirns mit Mitarbeiter Dirk Wedhorn als Bauer**



WDR ZeitZeichen, 30. April  
**115 Jahre Radar – Radiointerview mit Prof. Ender über den Erfinder Christian Hülsmeier**

Wachtberg, 23. - 24. April  
**Counter-UAS Symposium**



Salamanca, Spanien, 8. Mai  
**Nato Early Career Award für Daniel O'Hagan**

Stuttgart, 21. - 23. Mai  
**Automotive Testing Expo: Eine gelungene Premiere mit ATRIUM**



San Diego, USA, 17. Mai  
**IEEE Medaille für Richard Klemm**

Bonn, 4. - 5. Juni  
**SGW-Forum UNBEMANNTE SYSTEME**

Koblenz, 15. Juni  
**Tag der Bundeswehr**

Wachtberg, 20. Juni  
**Der Landrat des Rhein-Sieg-Kreises Sebastian Schuster besucht das Fraunhofer FHR**

Ulm, 26. - 28. Juni  
**International Radar Symposium (IRS)**

Wachtberg, 9. Juli  
**Nach 50 Jahren ein neuer Schleifring für Weltraumbeobachtungsradar TIRA**



Eckernförde, 29. August  
**Abschlusspräsentation: Fraunhofer FHR entwickelt neuartige Multibandantennen für Schiffsradar SEERAD**



Frankfurt, 10.-13. September  
**Internationale Automobil-Ausstellung (IAA)**

Bonn, 17. - 21. September  
**Highlights der Physik: TIRA und GESTRA auf dem Wissenschaftsfestival**

München, 9. September  
**Kooperationsvertrag zwischen der Universität Siegen und dem Fraunhofer FHR zum Aufbau gemeinsamer Lehrstühle**

Koblenz, 5. September  
**AFCEA Preis für Giovanni D'Apice**



Düsseldorf, 16. - 23. Oktober  
**K-MESSE**

Die Fähigkeiten des am Fraunhofer FHR entwickelten Millimeterwellen-Scanners SAMMI® im Kunststoffbereich präsentierten die Kollegen auf der K 2019, der Weltleitmesse für die Kunststoff- und Kautschukindustrie vom 16.-23. Oktober in Düsseldorf. Vor den Augen der interessierten Fachbesucher, die auch selber Proben mit zum Stand bringen konnten, wurden verschiedenste Kunststoffherzeugnisse durchleuchtet und im Hinblick auf Verunreinigungen, Luftfeinschlüsse, innere Struktur, Form, Dichte, Homogenität und vielem mehr geprüft. Ein spannendes Video von der Messe gibt es auf dem Fraunhofer FHR-YouTube-Kanal zu sehen. Reinschauen lohnt sich!



Aachen, 7. November  
**Bonding**

Wachtberg, 27. November  
**Neue Ära in der Weltraumüberwachung:** Das im Auftrag des Raumfahrtmanagements im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte und gebaute Radar-system GESTRA empfing mithilfe des Weltraumbeobachtungsradars TIRA erste Signale von Weltraumobjekten (s. S. 43).





## WACHTBERG-FORUM IM ZEICHEN VON DREI JUBILÄEN

70 Jahre Fraunhofer-Gesellschaft, 10 Jahre Fraunhofer FHR, 5 Jahre Abteilung Kognitives Radar: 2019 gab es für das Institut neben dem großen Jubiläum der Fraunhofer-Gesellschaft gleich noch zwei weitere Gründe zu feiern. Das 9. Wachtberg-Forum am 4. Juli bot dafür einen angemessenen Rahmen.

Auf dem Wachtberg-Forum 2019 feierte das Fraunhofer FHR ein Jahrzehnt als Teil der Fraunhofer-Gesellschaft. Im Jahr 2009 wurden die Institute der Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften (FGAN) in die Fraunhofer-Gesellschaft integriert. Seitdem wurden zahlreiche renommierte Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft realisiert. Das Budget des Fraunhofer FHR verdoppelte sich auf 38,4 Millionen Euro und die Zahl der Mitarbeitenden stieg von rund 200 auf über 350.

Das Wachtberg-Forum wurde parallel zu der Öffnung des Instituts für Aufträge aus der Industrie als Plattform für den Austausch mit Kunden und Auftraggebern ins Leben gerufen. Seit 2010 präsentiert das FHR hier jährlich die neuesten Entwicklungen und Zukunftsperspektiven im Bereich der Radarforschung mit einem Ausstellungs- und Vortragsbereich. Das Wachtberg-Forum 2019 war das bislang größte, knapp 200 Fachbesucher kamen auf das Institutsgelände mit der »Kugel«, dem weithin sichtbaren Weltraumbeobachtungsradar TIRA. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer FHR zeigten anschaulich und praxisnah die vielseitigen Einsatzgebiete von Radar. Im Mittelpunkt standen die Weltraumbeobachtung mit Radar, Systeme zur Drohnenabwehr und Anwendungen zur Erhöhung der Sicherheit autonomer Fahrzeuge.

### Politik, Wissenschaft und Verteidigung würdigen Entwicklung des Instituts

Zur Begrüßung sprachen Susanne Schneider-Salomon, Gruppenleiterin Außeruniversitäre Forschungsorganisationen im Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Generalleutnant Klaus Habersetzer, Kommandeur Zentrum Luftoperationen, Renate Offergeld, Bürgermeisterin Wachtberg, Elisabeth Ewen, Direktorin Personal der Fraunhofer-Gesellschaft und Prof. Dr. Peter Martini, Stellvertretender Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Verteidigungs- und Sicherheitsforschung VVS und Institutsleiter Fraunhofer FKIE. Ebenso informierten sich Dr. Norbert Röttgen, MdB, Sebastian Schuster, Landrat des Rhein-Sieg-Kreises und Oliver Krauß, MdL über die Neuheiten des Fraunhofer FHR.

Die Glückwünsche des Landes überbrachte Susanne Schneider-Salomon aus dem Ministerium für Kultur und Wissenschaft: »Ich gratuliere dem Institut zu seinem Erfolg. Wir sind stolz, Europas führendes Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik in Nordrhein-Westfalen zu haben – im Besonderen im Hinblick auf die wissenschaftlichen Leistungen, die hinter den stark gewachsenen Budget- und Mitarbeiterzahlen stehen.«

Die große Bedeutung des Fraunhofer FHR als wichtigen Partner der Bundeswehr unterstrich Generalleutnant Klaus



Habersetzer: »Ihre Produkte stellen eine wichtige Grundlage für die Arbeit im Weltraumlagezentrum da. Ihre Expertise und Ihr Fachwissen sind auf höchstem Niveau. Darauf kann man sich verlassen. Vielen Dank dafür.«

Durchweg positiv blickte die Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft auf zehn Jahre Fraunhofer FHR: »Die Integration des Instituts in die Fraunhofer-Gesellschaft war die richtige Entscheidung. *Dual-Use* Themen, also Entwicklungen, die ursprünglich für das Militär gemacht wurden, finden zunehmend Einsatz im zivilen Bereich und werden dort zu einem Erfolg oder sogar zum *Game Changer*«, sagte Elisabeth Ewen im Namen des Fraunhofer-Vorstands.

Auch die beiden Institutsleiter Prof. Dr. Peter Knott und Prof. Dr. Dirk Heberling ziehen eine erfreuliche Bilanz: »Unter dem Dach der Fraunhofer-Gesellschaft hat das Institut den Schritt in den freien Markt erfolgreich vollzogen. Wir sind stolz auf die vergangenen zehn Jahre und freuen uns, heute sowohl zuverlässiger Partner für den Bereich Verteidigung und Sicherheit als auch kompetenter Ansprechpartner für Lösungen in Industrie und Wirtschaft zu sein«, so Prof. Knott zum Jubiläum. »Ohne unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die mit vollem Einsatz bereit sind und waren, sich auf Neuland zu begeben, wäre diese Erfolgsgeschichte nicht möglich«, ergänzte Prof. Heberling.

### Hervorragende Entwicklung der Abteilung Kognitives Radar

Gefeiert wurde auf dem Wachtberg-Forum ebenso 5 Jahre Abteilung Kognitives Radar am Fraunhofer FHR. Auf Initiative des damaligen Institutsleiters, Prof. Dr. Joachim Ender wurde 2014 die neue Abteilung KR gegründet. Prof. Ender erkannte den Paradigmenwechsel und das Potenzial, das der Einsatz künstlicher Intelligenz in der Radarsignalverarbeitung bedeutet. Weg von den klassischen analytischen Verfahren, hin zu datengetriebenen Ansätzen. Darüber hinaus kam der Trend zu autonomen Systemen in der Automobil- und Luftfahrtbranche

auf, die auch auf ein hochautomatisiertes Radarsystem übertragbar waren. Die Leitung der neuen Abteilung übernahm Dr.-Ing. Stefan Brüggewirth.

In den vergangenen fünf Jahren wurde viel erreicht: Um das Fraunhofer FHR als weltweit führenden Akteur in diesem neuen Forschungsgebiet zu etablieren, galt es exzellente Expertise zum Thema künstliche Intelligenz und *High-Level-Informationsverarbeitung* aufzubauen. Durch die frühzeitige Initiative von Prof. Ender und die Strategie, explizit Mitarbeiter aus der Informatik bzw. mit einem Hintergrund in der KI oder maschinellen Lernverfahren einzustellen, war das Fraunhofer FHR von Anfang an bei diesem inzwischen vollumfänglich etablierten Forschungsgebiet mit dabei. Das Institut verfügt im Jahr 2020 über eine der größten Forschungsabteilungen für kognitives Radar weltweit. Meilensteine sind die gemeinsame Definition einer kognitiven Radararchitektur mit der Industrie und der unlängst erschienene IEEE AESS Special Issue zu kognitivem Radar.

Seit 2014 ist die Abteilung von 14 auf 31 Mitarbeitenden angewachsen. Die Zukunftsaussichten sind hervorragend, da der Trend zu KI und autonomen Systemen weiter anhält. Die Herausforderung bleibt dabei, im Wettbewerb mit der Industrie die besten Köpfe beim Thema KI zu gewinnen. »Hier bewirkten das junge, dynamische Team und das spannende Forschungsthema, dass die Abteilung stetig aufwachsen konnte und dies auch für die Zukunft abzusehen ist«, so Dr. Stefan Brüggewirth zum fünfjährigen Jubiläum seiner Abteilung.

### KONTAKT

Dipl.-Volksw. Jens Fiege  
+49 151 613 653 67  
jens.fiege@fhr.fraunhofer.de

# FRAUNHOFER-KÖPFE AM FRAUNHOFER FHR

Fraunhofer ist Vielfalt. Fraunhofer ist Zukunft. Fraunhofer ist Exzellenz. Im Jahr ihres 70. Jubiläums hat die Fraunhofer-Gesellschaft das Projekt »70 Jahre. 70 Köpfe« gestartet. Es stellt Fraunhofer-Mitarbeitende in den Mittelpunkt – Menschen, die in ihrer Vielfalt und vielfältigen Exzellenz für die Zukunft arbeiten und forschen.

70 JAHRE  
FRAUNHOFER  
**70 JAHRE  
ZUKUNFT**  
#WHATSNEXT

»Wir brauchen ein ganzes Bündel kluger Ideen, um die große Herausforderung unserer Zeit zu meistern: z. B. die umweltschonende Erzeugung und Speicherung von Energie! Allgemein gilt es standortübergreifende, interdisziplinäre Forscherteams zu bilden. Gemeinsam mit Menschen aus verschiedensten Kulturkreisen nach kreativen Lösungen zu suchen, darauf freue ich mich in der immer vernetzteren Welt der Zukunft besonders.«

70 JAHRE  
ZUKUNFT  
#WHATSNEXT

**DR. DIRK NÜBLER**

ABTEILUNGSLEITER  
INTEGRIERTE SCHALTUNGEN  
UND SENSORSYSTEME

*Dr. Dirk Nübler ist Abteilungsleiter Integrierte Schaltungen und Sensordysteme am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg, Nordrhein-Westfalen. Er treibt die Entwicklung von Radarsystemen voran, z. B. kompakte, intelligente Sensoren zur Produktionsüberwachung.*

KONTAKT

**Dr.-Ing. Dirk Nübler**

Tel. +49 228 9435-550

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

# #WHATSNEXT THOMAS DALLMANN

## TEAMLEITER FORSCHUNGSGRUPPE AACHEN

*Dr.-Ing. Thomas Dallmann ist Teamleiter der Forschungsgruppe Aachen des Fraunhofer-Instituts für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR. Über den Austausch zwischen Universität und angewandter Forschung und über die Zukunft von Radarsystemen sprach Dallmann bei einem Ortstermin.*

»Wir bringen frischen Wind  
in die Radarforschung!«

70 JAHRE  
ZUKUNFT  
#WHATSNEXT

#### KONTAKT

**Dr.-Ing. Thomas Dallmann**

+49 228 80-22271

thomas.dallmann@fhr.fraunhofer.de

## DIE ZUKUNFT AUF DEM RADAR

Die Zukunft entsteht in der Melatener Straße in Aachen, in einem Bau, ausgerechnet, der wirkt wie aus der Zeit gefallen: Der Hochschul-Solitär aus den 1950er-Jahren gehört zur RWTH Aachen, der größten Hochschule für technische Studiengänge in Deutschland. Hier arbeitet Thomas Dallmann mit seiner Forschungsgruppe, die eigentlich zum Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg gehört. Der Mittdreißiger führt seine Besucher in den ersten Stock des Instituts, um ein Kernstück seiner Arbeit vorzustellen.

Dallmann referiert über ein Forschungsprojekt, mit dem Kunden aus dem Automobilbereich und Zulieferer neue Radare viel einfacher testen können als bisher: ATRIUM ist eine Art virtuelle Umgebung, die einer hohen Zahl verschiedenartiger Fahrzeugtypen angepasst werden kann und mit der sich das Verhalten neuer Technik auch in komplexen Verkehrssituationen exakt überprüfen lässt – für eine schnellere, kostenschonende Entwicklung neuer, fehlerfrei funktionierender Radare. Und Radarsensoren werden zukünftig schließlich noch relevanter, weil sie anstelle der Passagiere in selbstfahrenden Autos durchgängig auf den Verkehr achten. Bereits heute erkennen Radarsensoren selbstständig Hindernisse und leiten Bremsungen ein. »Derzeit werden solche Sensoren auf mehreren Tausend Kilometer Fahrtstrecke getestet.« Thomas Dallmann schaut versonnen aus dem Fenster. »Das ist ein ausgesprochen zeit- und kostenintensiver Prozess – und einer, dessen Sicherheit bisweilen noch zu wünschen übrig lässt.« Mit ATRIUM können viele dieser Tests ins Labor verlegt werden; erläutern lässt sich dies anhand der heute angeschlossenen Version des Simulators. »Mittels Radarzielsensoren können wir Fahrscenarien nachbauen und damit ganze Echolandschaften simulieren«, erklärt Dallmann. »Radarsensoren, welche darauf basieren, Signale auszusenden und deren Reflektionen wieder zu empfangen, benötigen solche Echolandschaften, um anhand der Empfangssignale die sie umgebenden Objekte detektieren und analysieren zu können.« Menschen, Ampeln, Bäume, Autos: bis zu 300 Reflexionen wird ATRIUM bald generieren können, da sich Dallmann sicher. »Damit können wir neue Sensoren für das autonome Fahren realitätsnah in vollem Umfang testen.«

Ganz generell ist Thomas Dallmann überzeugt, dass die Präsenz von Radarsystemen zunehmen wird – weit über den Bereich des autonomen Fahrens hinaus. »Netzwerke von Radaren werden immer relevanter – vor allem angesichts intelligenter, vernetzter Fabriken, die ohne Radar kaum funktionieren werden«, so der Wissenschaftler. Insgesamt würden die Anwendungen aber immer kleiner – wie etwa beim gestengesteuerten Google-Handy Pixel 4, das kleine Fingerbewegungen bereits mit dem Radar-Chip »Soli« erkennt.

Dallmann selbst nahm übrigens schon als Schüler mit einem Funkpeilsystem an »Jugend forscht« teil, bevor er Elektrotechnik und Informationstechnik an der Exzellenzuniversität RWTH Aachen studierte. Danach war er erst als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Hochfrequenztechnik der RWTH tätig, dann als Teamleiter der Forschungsgruppe Aachen des Fraunhofer FHR. »Dass wir vom Fraunhofer-Institut aus als eine Art Satellit mitten in der Universität sitzen, von diesem Wissenstransfer profitieren Forschung und Hochschule gleichermaßen.« Auf der Autofahrt zum Fraunhofer-Institut in Wachtberg gerät der Forscher ins Schwärmen. »Das Fraunhofer FHR ist eines der größten Radarinstitute der Welt. Hier sehen wir eindrucksvoll, was für eine Bandbreite Radartechnologie heute in Forschung und Anwendung bietet.«

Das Thomas Dallmann zugeordnete Fraunhofer-Institut in Wachtberg bei Bonn erkennt man schon von Weitem an einem ganz besonderen Wahrzeichen: Das Weltraumbeobachtungsradar TIRA, eine kreisrunde Radarkuppel, ist mit seinem beeindruckenden Durchmesser von 47,5 Metern nicht zu übersehen. Im Auftrag von Raumfahrtorganisationen aus der ganzen Welt werden mit seiner Hilfe Radarverfahren zur Erfassung und Aufklärung von Objekten im Weltall entwickelt – von der Interkontinentalrakete bis hin zum Elektroschrott. Im Inneren der in Europa einzigartigen Kugel indes ist der Forscher nur sehr selten anzutreffen: Zwar sei das Radom vor Ort das größte der Welt. Mit seiner Forschungsgruppe beschäftige er sich aber, gewissermaßen gegenteilig, mit den aller kleinsten Anwendungen von Radar in Sensorform. Aber, das weiß Thomas Dallmann ganz genau: »Auch die kommen jetzt schon ganz groß raus!«

## PROMOTION AM FRAUNHOFER FHR

Das Fraunhofer FHR bieten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern optimale Bedingungen, um am Institut ihre Dissertation zu schreiben. Dabei unterstützt das Institut die Mitarbeitenden jeweils genau zugeschnitten auf ihre individuellen Interessen und Wege zur Promotion. Zwei Mitarbeiter, die im Jahr 2019 promoviert haben, berichten über ihre Erfahrungen.

### DR. BENEDIKT WELP

Systemkonzept und Schaltungen für breitbandige MIMO-FMCW-Radarsysteme bis 60 GHz in modernen SiGe-Bipolartechnologien

Ruhr-Universität Bochum  
<https://s.fhg.de/welp>

#### KONTAKT

Tel. +49 228 9435-79007  
[benedikt.welp@fhr.fraunhofer.de](mailto:benedikt.welp@fhr.fraunhofer.de)



Von der Ruhr Universität Bochum kam Dr. Benedikt Welp im März 2013 an das Fraunhofer FHR. Nachdem er seine Masterarbeit in Elektro- und Informationstechnik bei Professor Nils Pohl geschrieben hatte, folgte das Angebot aus Wachtberg, in der damaligen Abteilung von Prof. Pohl (heute Abteilung ISS) ein neues Team für Chipdesign mit aufzubauen. »Am Anfang

meiner Tätigkeit stand der komplette Aufbau der Infrastruktur des neuen Teams, dessen erster Mitarbeiter ich war sowie die Entwicklung von Chips für Industriepartner - von der Anschaffung der entsprechenden Software über die Einrichtung der Labore mit Chipmesstechnik bis hin zur Entwicklung der ersten am Fraunhofer FHR designten SiGe-Chips,« so Dr. Benedikt Welp.

Die Idee zu promovieren hatte der 31-jährige dabei bereits länger im Hinterkopf. Nachdem er an verschiedenen Projekten mit Industriekunden und öffentlichen Forschungsprojekten gearbeitet hatte, zeichnete sich sein Schwerpunkt im Bereich der breitbandigen Signalgenerierung mit hohen Ausgangsleistungen für FMCW-Radarsysteme ab. So fand sich auch sein Dissertationsthema mit dem Titel »Systemkonzept und Schaltung für breitbandige MIMO-FMCW-Radarsysteme bis 60 GHz in modernen SiGe-Bipolartechnologien«.

Der Fokus seiner Arbeit lag in der Forschung bei Projekten im Bereich der Hochfrequenz- und Radartechnik und im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms (LuFo) des BMWi. »Neben der Projektarbeit für Kunden wurde mir vor allem durch meinen Vorgesetzten und Doktorvater ermöglicht, sehr selbständig an meiner Dissertation zu arbeiten. Es schadet sicher nicht, wenn man eine starke Eigenmotivation und selbständige Arbeitsweise für eine Promotion mitbringt. Das Chipdesign-Team und Dr. Dirk Nüßler und Prof. Pohl als meine Vorgesetzten hatten dabei immer offene Ohren für Fragen oder neue Ideen, die ich ausprobieren wollte. Das Institut hat mir viele Möglichkeiten eröffnet, ich konnte Artikel publizieren und hatte Gelegenheit, an internationalen Kongressen, unter anderem auf Hawaii, teilzunehmen und mich mit Experten aus der ganzen Welt austauschen. Das war für mich als Wissenschaftler extrem reizvoll. Besonders freue ich mich auch darüber, dass sich aus meiner Forschungsarbeit neue Projekte, Kunden und Einsatzgebiete ergeben haben«, resümiert Dr. Benedikt Welp seine im Januar 2019 abgeschlossene Promotion.

Direkt von der Universität ging es für Dr. Philipp Wojaczek ans Fraunhofer FHR. Nach seinem Studium der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg startete er am 1. März 2015 seine Karriere am Institut und forscht in der Abteilung PSR. »Mein Teamleiter Dr. Diego Cristallini hat mir vorgeschlagen, bei Prof. Pierfrancesco Lombardo an der Universität La Sapienza Rom zu promovieren. Prof. Lombardo kannte ich durch seine Vorlesung im Rahmen der International Summer School on Radar/SAR und so habe ich mich für das dreijährige Doktorandenprogramm in Rom beworben«, erzählt Dr. Philipp Wojaczek. Nach erfolgreicher Bewerbung und Vorstellung vor einem Konsortium aus Professoren in Rom erfolgte die Aufnahme als PhD Student.

Die Themenfindung der Doktorarbeit mit dem Titel »Passive Radar on Moving Platforms Exploiting DVB-T Transmitters of Opportunity« ergab sich aus seiner Forschungstätigkeit am Fraunhofer FHR. »Der Bereich des Passivradars auf bewegten Plattformen ist für mich ein besonders spannendes Thema, da es hier noch nicht viel Forschung gab und gibt. Ich hatte also den Freiraum und die Herausforderung, vieles von Grund auf anzufangen«, so der 32-jährige.

Die Zusammenarbeit mit der Universität in Italien lief reibungslos. »Ich habe meine Ergebnisse nach Italien geschickt und wir haben uns in Telefonkonferenzen regelmäßig besprochen. Ebenso konnte ich mich mit Prof. Lombardo im Rahmen der Summer School und auf Konferenzen treffen und persönlich austauschen. Sehr wertvoll war auch die Möglichkeit, im zweiten Jahr für drei Monate am Lehrstuhl in Rom mit anderen PhD Studenten und Prof. Lombardo arbeiten zu können«, so Dr. Philipp Wojaczek. Nach Abgabe der Dissertation folgte die Verteidigung im Februar 2019 in Rom. »Die Promotionsbedingungen waren für mich alles in allem hervorragend. Das Institut hat mich in jeder Phase der Doktorarbeit voll unterstützt und mein Team war immer für mich da, wenn es Fragen

### DR. PHILIPP WOJACZEK

Passive Radar on Moving Platforms Exploiting DVB-T Transmitters of Opportunity

L'Università degli Studi di Roma »La Sapienza«  
<https://s.fhg.de/wojaczek>

#### KONTAKT

Tel. +49 228 9435-967  
[philipp.wojaczek@fhr.fraunhofer.de](mailto:philipp.wojaczek@fhr.fraunhofer.de)

gab. Durch die Forschungsarbeit in der Abteilung PSR hatte ich die nötigen Eckdaten für meine Arbeit zur Verfügung auf deren Basis ich meine Simulationen machen konnte«, bilanziert Dr. Philipp Wojaczek.



## FRAUNHOFER FHR IM PROFIL

Das Fraunhofer FHR ist eines der führenden und größten europäischen Forschungsinstitute auf dem Gebiet der Hochfrequenz- und Radartechnik. Für seine Partner entwickelt das Institut maßgeschneiderte Konzepte, Verfahren und Systeme für elektromagnetische Sensorik vom Mikrowellen- bis in den unteren Terahertzbereich.

Kernthema der Forschungsarbeiten am Fraunhofer FHR sind Sensoren für präziseste Abstands- oder Positionsbestimmung sowie bildgebende Systeme mit Auflösungen bis zu 3,75 mm. Das Anwendungsspektrum dieser Geräte reicht von Systemen für Aufklärung, Überwachung und Schutz bis hin zu echtzeitfähigen Sensoren für Verkehr und Navigation sowie Qualitätssicherung und zerstörungsfreies Prüfen. Dabei zeichnen sich die Systeme des Fraunhofer FHR durch Zuverlässigkeit und Robustheit aus: Radar- und Millimeterwellensensoren eignen sich auch unter rauen Umweltbedingungen für anspruchsvolle Aufgaben. Sie arbeiten bei hohen Temperaturen, Vibrationen oder Null-Sicht-Bedingungen aufgrund von Rauch, Dampf oder Nebel. Radar und artverwandte Hochfrequenzsysteme sind damit auch Schlüsseltechnologien für Verteidigung und Sicherheit. Hier unterstützt das Institut das Bundesministerium für Verteidigung (BMVg) seit der Institutsgründung 1957.

Die am Fraunhofer FHR entwickelten Verfahren und Systeme dienen einerseits der Erforschung neuer Technologien und Macharten. Andererseits entwickelt das Institut gemeinsam mit Unternehmen, Behörden und anderen öffentlichen Einrichtungen Prototypen zur Bewältigung bisher ungelöster Herausforderungen. Dabei liegt besonderes Augenmerk auf der Ausgereiftheit und Serientauglichkeit der Systeme, sodass diese gemeinsam mit einem Partner zeitnah in ein Produkt überführt werden können. Durch seine interdisziplinäre Aufstellung verfügt das Institut über das fachliche Know-how, um die gesamte Wertschöpfungskette von Beratung über Studien bis zur Entwicklung und Fertigung einer Nullserie abzudecken. Die verwendeten Technologien reichen von klassischer Hohlleiterbasis bis hin zu hochintegrierten Silizium-Germanium-Chips mit Frequenzen bis zu 300 GHz.

Die Fähigkeit der berührungslosen Messung und die Durchdringung von Materialien eröffnen viele Möglichkeiten zur Lokalisation von Objekten und Personen. In immer mehr Anwendungsbereichen sind Hochfrequenzsensoren des Fraunhofer FHR mit ihren besonderen Fähigkeiten durch

den Fortschritt der Miniaturisierung und Digitalisierung eine bezahlbare und attraktive Option.

### Personal- und Budgetentwicklung

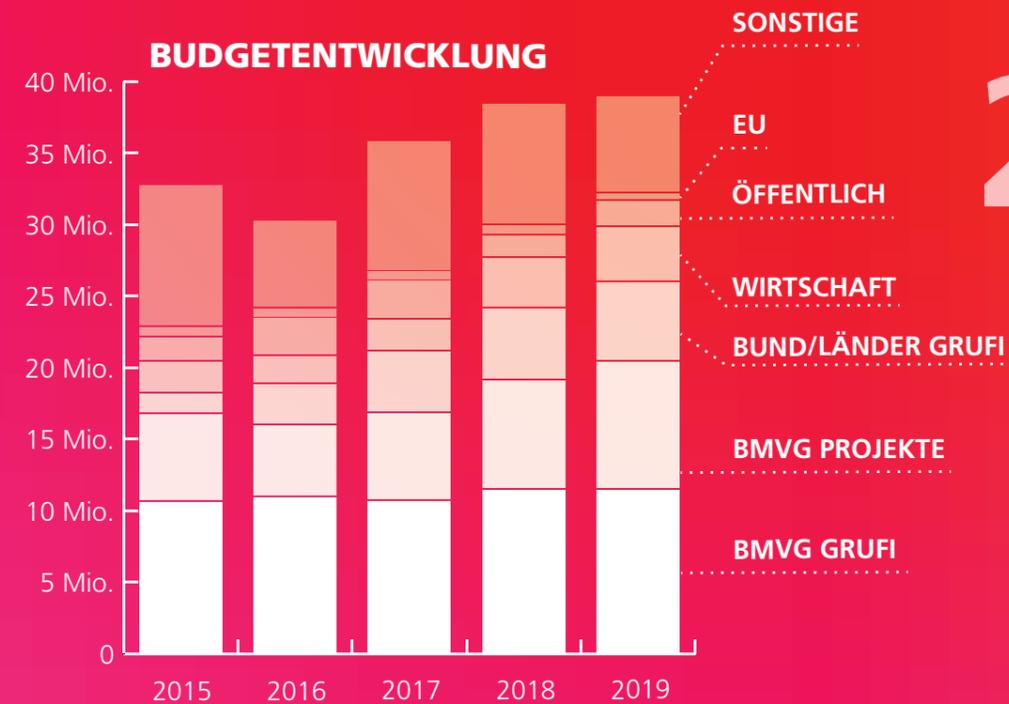
Das Budget des Instituts ergibt sich aus mehreren Finanzierungsquellen: Der Grundfinanzierung durch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), der Projektfinanzierung aus Mitteln des Verteidigungshaushaltes und den Einkünften aus dem Vertragsforschungsbereich (VfA), der wiederum unterteilt werden kann in Wirtschaftserträge, öffentliche Erträge, EU-Erträge, sonstige und Grundfinanzierung von Bund und Ländern. Im Jahr 2019 erwirtschaftete das Fraunhofer FHR im wehrtechnischen und im zivilen Institutsteil einen Gesamtertrag in Höhe von 39,0 Mio. €.

Zum Jahresende 2019 waren am Fraunhofer FHR insgesamt 374 Mitarbeiter beschäftigt, ein Wachstum von 5,9 % im Vergleich zum Vorjahr. Davon sind 196 unbefristet und 123 Personen befristet beschäftigt. Hinzu kommen noch 55 Studierende und Auszubildende.

### KONTAKT

**Dipl.-Volksw. Jens Fiege**  
+49 151 613 653 67  
jens.fiege@fhr.fraunhofer.de

# FRAUNHOFER FHR IN ZAHLEN



# 2019

LEHR-  
VERANSTALTUNGEN

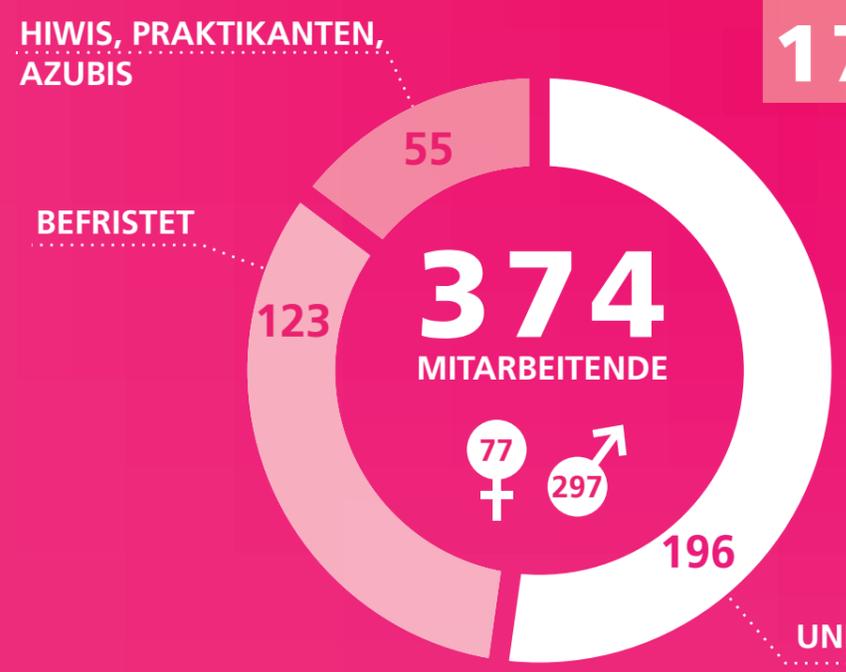
WS 18/19    SS 19

**13    19**



ABSCHLUSS  
ARBEITEN

**22** MASTER  
PROMOTIONEN **7**

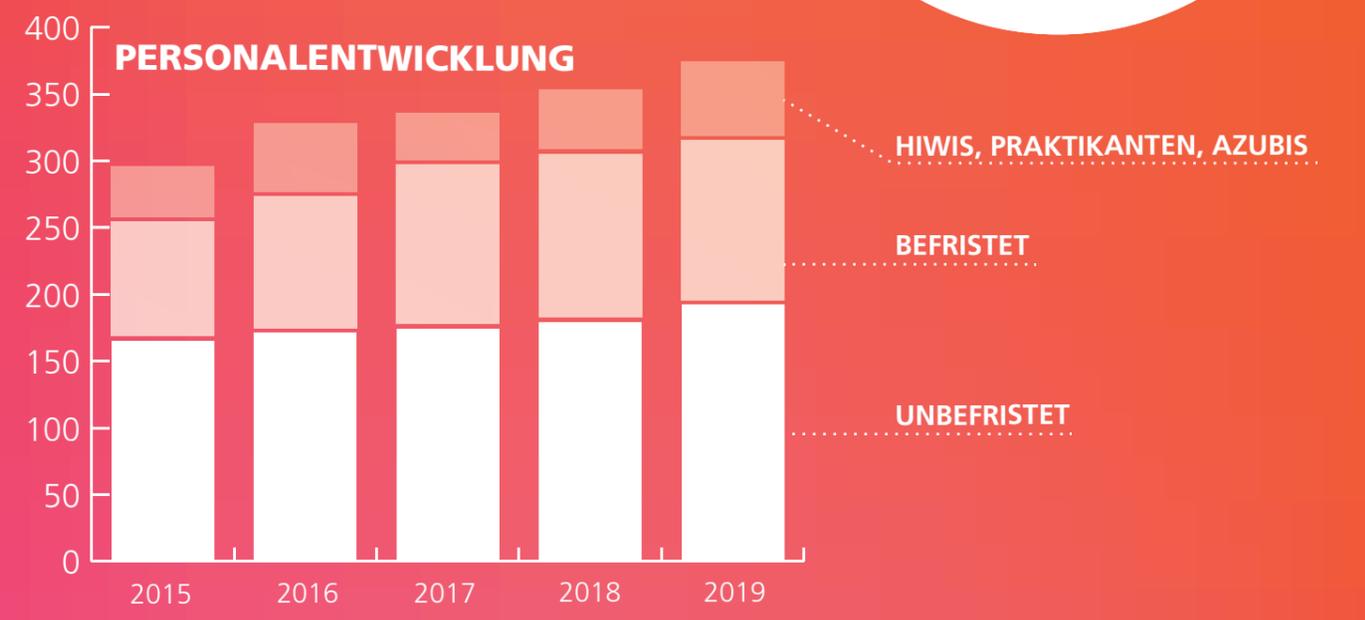


**58** MEDIENANALYSE  
BEITRÄGE IN DEN MEDIEN

**15** PRESSEMITTEILUNGEN

**17,4** Mio. ERREICHTE KONTAKTE

**4** PROFESSUREN



# ORGANIGRAMM

## Verteidigung



Dr.-Ing.  
**UDO USCHKERAT**  
Tel. +49 151 721 243 27  
udo.uschkerat@fhr.fraunhofer.de

## Weltraum



M. Sc.  
**YOUNGKYU KIM**  
Tel. +49 160 263 3836  
youngkyu.kim@fhr.fraunhofer.de

## Sicherheit



Dr. rer. nat.  
**JENS KLARE**  
Tel. +49 228 9435-311  
jens.klare@fhr.fraunhofer.de

## Verkehr



Dr.-Ing.  
**ANDREAS DANKLMAYER**  
Tel. +49 228 9435-350  
andreas.danklmayer@fhr.fraunhofer.de

## Produktion



**DANIEL BEHRENDT**  
Tel. +49 151 120 101 64  
daniel.behrendt@fhr.fraunhofer.de

## Mensch und Umwelt



Prof. Dr. rer. nat.  
**JENS BONGARTZ**  
Tel. +49 2642 932-427  
bongartz@hs-koblenz.de

## Forschungsgruppe Aachen



Dr.-Ing.  
**THOMAS DALLMANN**  
Tel. +49 241 80-22271  
thomas.dallmann@fhr.fraunhofer.de

## Forschungsgruppe Bochum Integrierte Radarsensoren



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

## Forschungsgruppe Siegen Hochfrequenzsensoren und Radarverfahren



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

## Geschäftsführender Institutsleiter



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

## Institutsleiter



Prof. Dr.-Ing.  
**DIRK HEBERLING**  
Tel. +49 228 9435-176  
dirk.heberling@fhr.fraunhofer.de

## Antennentechnologie und elektromagnetische Modellierung (AEM)



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

## Array-gestützte Radarbildgebung (ARB)



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

## Höchstfrequenz-Radar und Anwendungen (HRA)



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

## Verwaltung



**ULF HERZER**  
Tel. +49 228 9435-215  
ulf.herzer@fhr.fraunhofer.de

Elektromagnetische Modellierung

Antennen und  
Front-End-Technologie

Technik und Sicherheit

Antennentechnologie für  
Multifunktionale Aperturen

Array-basierte  
Hochleistungssendetechnologie

cmW-Arraysysteme

Kryogene Arrays

Mechatronisches Systemdesign

mmW-Arraysysteme

Operations

Radarbildgebung

Radar Intelligence

Sensornah Digitaltechnologie

Signalverarbeitung für  
Überwachungsradare

Software-Engineering

Millimeterwellen-Radar

Submillimeterwellen-Radar

Signaturen und Aufklärung

## Kognitives Radar (KR)



Dr.-Ing.  
**STEFAN BRÜGGEWIRTH**  
Tel. +49 228 9435-173  
stefan.brueggewirth@fhr.fraunhofer.de

Nicht-kooperative Identifizierung

UWB-Radar

Adaptive Wahrnehmung

Radararchitekturen

Finanzen

Einkauf

Personal

Gebäudemanagement

## Interne und externe Kommunikation



Dipl.-Volksw.  
**JENS FIEGE**  
Tel. +49 151 613 653 67  
jens.fiege@fhr.fraunhofer.de

## Integrierte Schaltungen und Sensorsysteme (ISS)



Dr.-Ing.  
**DIRK NÜßLER**  
Tel. +49 228 9435-550  
dirk.nuessler@fhr.fraunhofer.de

Industrialisierte  
Hochfrequenztechnologie

Eingebettete Systeme  
und Algorithmen

3D Sensorsysteme

Chip Design

## Radar zur Weltraumbeobachtung (RWB)



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

Verfahren zur  
Weltraumbeobachtung

TIRA - Radartechnik,  
Weiterentwicklung und Betrieb

TIRA - Antennensystem  
und Infrastruktur

Weltraumaufklärung

Weltraumlage

## Passive und störfeste Radarverfahren (PSR)



Prof. Dr.  
**DANIEL O'HAGAN**  
Tel. +49 228 9435-389  
daniel.ohagan@fhr.fraunhofer.de

Passive Sensorik und  
elektronische Gegenmaßnahmen

Passiver Sensorverbund

Experimentalsysteme

Passive Coherent Location

## Personalentwicklung



M. Sc.  
**HANNE BENDEL**  
Tel. +49 151 220 864 29  
hanne.bendel@fhr.fraunhofer.de

## Strategie- und Organisationsentwicklung



Dr. rer. nat.  
**CHRISTINE MAUELSHAGEN**  
+49 228 9435-479  
christine.mauelshagen@fhr.fraunhofer.de

# 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

**Dipl.-Ing. Gunnar W. R. Pappert**  
Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG  
Überlingen

**Dr. Gerhard Elsbacher**  
MBDA Deutschland GmbH  
Schrobenhausen

**Hans Hommel**  
Hensoldt  
Ulm

**Dr. Holger Krag**  
ESA / ESOC  
Darmstadt

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

**Prof. Dr.-Ing. Ilona Rolfes**  
Ruhr-Universität Bochum  
Bochum

**Prof. Dr.-Ing. Martin Vossiek**  
Universität Erlangen-Nürnberg  
Erlangen

**Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt**  
Universität Ulm  
Ulm

**MinRat Norbert Michael Weber**  
Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)  
Bonn

**Winfried Wetjen**  
OHB-System AG  
Bremen

*Die Teilnehmer der Kuratoriumssitzung am 5.7.2019 auf dem Institutsgelände in Wachtberg: Frau Ewen (Fraunhofer Zentrale), Prof. Waldschmidt, Dr. Weber (Fraunhofer Zentrale), Prof. Heberling (Institutsleiter Fraunhofer FHR), Prof. Loffeld, Herr Pappert, Herr Wetjen, Dr. Elsbacher, Herr Neppig (Bundeswehr), Herr Hommel.*

*Sphärische Nahfeld-Antennenmessanlage der Firmen NSI-MI und Telemeter zur hochgenauen Charakterisierung von Antennen komplexer Radarsysteme. Unten rechts: Die-Placer FINEPLACER® pico von Finetech bei der Bearbeitung einer Hochfrequenzplatine.*

## FORSCHUNGSFABRIK MIKROELEKTRONIK DEUTSCHLAND (FMD)

Für Entwicklungen aus dem Halbleiterbereich brauchen Unternehmen einen langen Atem: Es gilt, zahlreiche einzelne Institute zu beauftragen. Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland vereint daher nun die Kompetenzen verschiedener Forschungsinstitute, beteiligt ist auch das Fraunhofer FHR. Über verschiedene Neuanschaffungen sind dabei auch Technologien nutzbar, die es bis dato in Deutschland nicht gab.

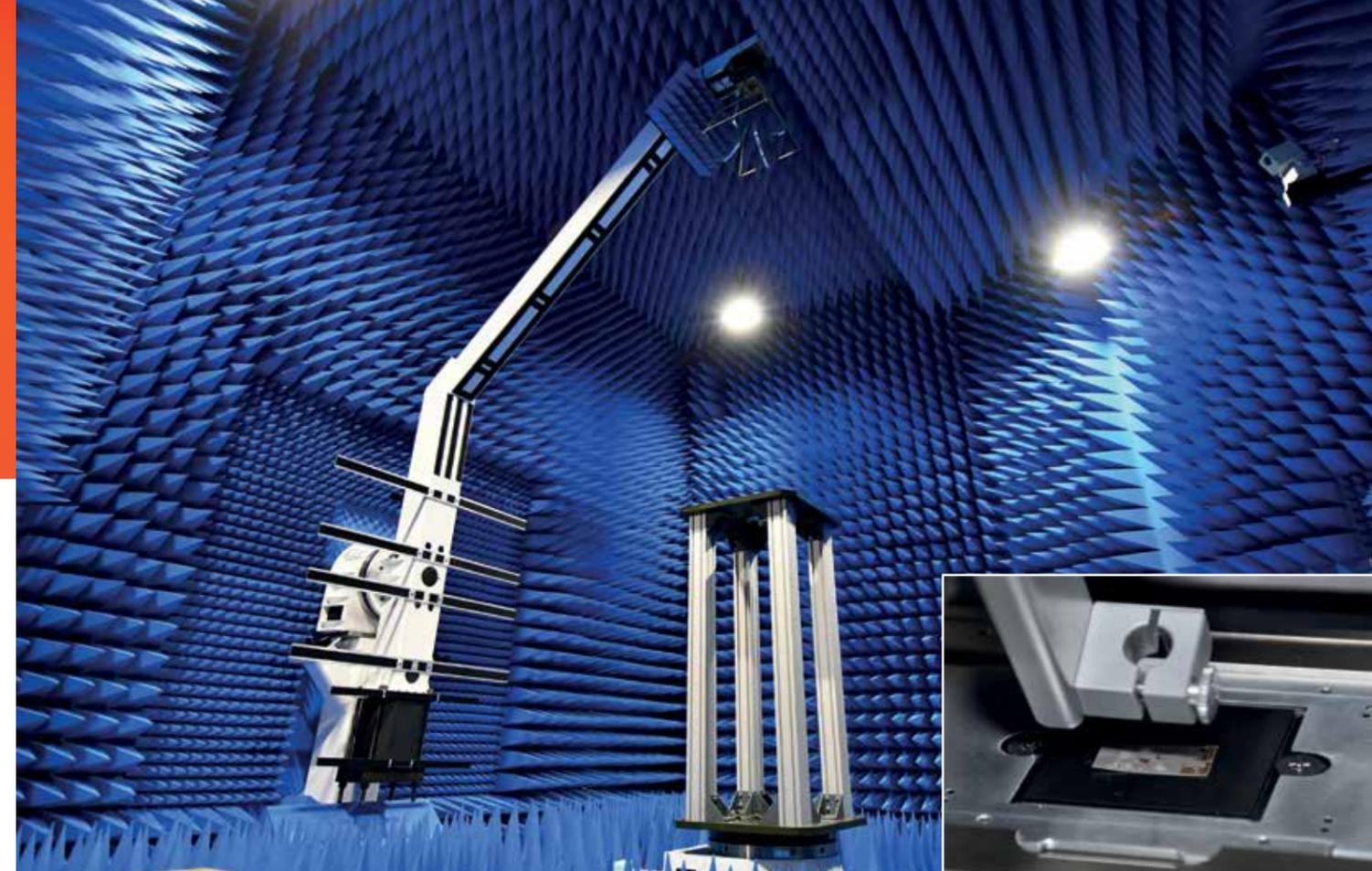
Brauchen Mittelständler oder Start-Ups Entwicklungen aus dem Halbleiterbereich, wird es vielfach schwierig. Schließlich kommt es selten vor, dass ein Forschungsinstitut alle benötigten Kompetenzen abdeckt. Für die Unternehmen heißt das: Es müssen zahlreiche Institute kontaktiert und viele Einzelverträge geschlossen werden – ein riesiger Aufwand. Hier setzt die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland, kurz FMD, an: Nach dem Vorbild großer Mikroelektronik-Institute im Ausland bündelt sie die deutschen Kompetenzen und gründet eine virtuelle gemeinschaftliche Struktur. Beteiligt sind elf Fraunhofer-Institute des Verbunds Mikroelektronik und die zwei Leibniz-Institute FBH und IHP. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) förderte den Aufbau der FMD mit insgesamt 350 Millionen Euro – vor allem, um die technologischen Lücken zwischen den Instituten zu schließen und Technologien zu etablieren, die es bisher in Deutschland nicht gab. Das Fraunhofer FHR bringt vor allem seine Kompetenzen im Bereich der Hochfrequenztechnik, der Antennenmesstechnologie sowie der Fertigung von Platinen, Radarmodulen und Hochfrequenzstrukturen ein.

Die Kunden profitieren direkt von diesem Zusammenschluss. Sie brauchen nur noch einen Ansprechpartner zu kontaktieren, erhalten einen einzigen Vertrag und bekommen die komplette Entwicklungskette aus einer Hand. Nehmen wir das Beispiel

eines Radarchips: Das Schaltungsdesign wäre z. B. beim Fraunhofer FHR beheimatet, die Fertigung am IHP in Frankfurt/Oder bzw. beim Fraunhofer IAF in Freiburg, das Packaging würde am Fraunhofer IZM in Berlin durchgeführt, zum Schluss käme wieder das Fraunhofer FHR mit der Radar- oder Antennenprüfung ins Spiel. Das Unternehmen würde für die gesamte Kette nur mit der FMD verhandeln.

### Antennenmesskammer für komplexe Radarsysteme

Eine der Schlüsselkompetenzen, die das Fraunhofer FHR in die FMD einbringt, ist die Antennenmesstechnologie. Welche Eigenschaften haben Antennen für Radarsysteme – wie sieht etwa ihre Abstrahlcharakteristik aus? Eine Antennenmesskammer, die im Rahmen der FMD angeschafft wurde, ermöglicht künftig exakte Untersuchungen von Einzel- und Gruppenantennen im Frequenzbereich von 300 Megahertz bis 50 Gigahertz. Die Kammer selbst ist fertiggestellt. Derzeit wird noch am range assessment gearbeitet – also an der Überprüfung des Testfelds. Dabei wird die Messkammer nach vorgegebenen Kriterien charakterisiert, um die Qualität der Messungen belegen zu können. Auch kleinste Antennen können am Fraunhofer FHR neuerdings mit FMD-Infrastruktur analysiert werden: Etwa On-Chip-Antennen, also ein bis zwei Millimeter kleine, auf einem Chip integrierte Antennen.



### Additive Fertigung von Hochfrequenzplatinen

Eine weitere Neuanschaffung adressiert die additive Fertigung von Hochfrequenzstrukturen: Es handelt sich um Metalldrucker und Kunststoffdrucker im industriellen Maßstab. Während 3D-Drucker, wie man sie von zuhause kennt, nur kleine Strukturen und geringe Stückzahlen fertigen können, erlauben diese Drucker die Herstellung von bis zu einem Kubikmeter großen Volumen. Eine weitere Besonderheit: Mit dem Metalldrucker lassen sich auch Hohlleiterstrukturen drucken. Auch der Kunststoffdrucker eröffnet zahlreiche neue Möglichkeiten: Etwa das Drucken von Antennenstrukturen, Linsen und Gehäusen. Die Geräte sollen im Juli 2020 in einer eigens angemieteten Halle aufgebaut werden.

### Prototypen von Platinen kurzfristig herstellen

Durch die Investitionsmittel der FMD war das FHR in der Lage verschiedene Geräte anzuschaffen, unter anderem Laserfräsen, Placer und Bonder, um Prototypen von Platinen herzustellen – und das kurzfristig und schnell. Damit lassen sich sowohl Teilsysteme erzeugen – etwa zur Signalgenerierung – als auch ganze Systeme, beispielsweise ein komplettes Radarsystem. Hierfür wurde der Gerätepark von Aufbau- und Integrations-technik erweitert. In einer Messkammer, die den Bereich von acht Gigahertz bis zu einem Terahertz abdeckt, lassen sich die

hergestellten Teilsysteme überprüfen. Ein Klimaprüfschrank komplettiert die Messmöglichkeiten, hier lassen sich die Systeme unter verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchten untersuchen.

### Materialtests

Wie viele Radarstrahlen reflektiert ein Objekt oder ein Material, und wie viele dringen hindurch? Dies lässt sich über die RCS-Messung untersuchen, und zwar unter verschiedenen Einstrahlwinkeln und Abständen. Dabei sind sowohl monostatische Messungen möglich, bei denen eine Antenne das Signal abstrahlt und das reflektierte Signal empfängt, als auch bistatische, bei denen Sende- und Empfangsantenne getrennt sind.

### KONTAKT

Daniel Behrendt

Tel. +49 151 120 101 64

daniel.behrendt@fhr.fraunhofer.de

## RADAR IM ZEICHEN DER VERTEIDIGUNG

Aufklärung in Krisengebieten, Überwachung des Luftraums, Schutz von militärischen Fahrzeugen: Geht es um Verteidigung, ist Radar eine Schlüsseltechnologie – schließlich ermöglicht sie es, Objekte radiobasiert zu detektieren und zu vermessen. Das Geschäftsfeld Verteidigung des Fraunhofer FHR bietet große Kompetenzen rund um Radartechnologien, die von der Bundeswehr und der wehrtechnischen Industrie gerne genutzt werden.

### Luftraumüberwachung und bildgebende Fernaufklärung

Eine wichtige Aufgabe der Bundeswehr liegt darin, Objekte im Luftraum und erdnahen Orbit zu detektieren, seien es Flugzeuge, Raketen oder auch Satelliten. Die im Geschäftsfeld Verteidigung entwickelten Radarsysteme überwachen den Luftraum daher zum einen von der Erde aus – die Radarsysteme schauen dabei vom Boden in die Luft. Weiterhin überwachen Radarsysteme, die an Flugzeugen oder Satelliten befestigt sind, die Erde von oben. Über eine solche bildgebende Fernaufklärung lassen sich Gebäude und andere statische Objekte ebenso vermessen wie bewegte Objekte, etwa Autos und Lastwagen. Eine weitere Aufgabe von Radarsystemen liegt in der Erfassung von Zielklassen: In der Luft werden dabei etwa Hubschrauber, Raketen oder ähnliches unterschieden, am Boden lassen sich einzelne Gebäude erkennen, selbst die Art von Agrarfeldern ist unterscheidbar.

Ein genereller Trend, der sich im Radarbereich abzeichnet: Es werden zunehmend höhere Frequenzen verwendet. Zum einen lassen sich auf diese Weise kleinere und leichtere Radarsysteme realisieren, zum anderen wird es aufgrund des zunehmenden Mobilfunks und WLAN eng im gängigen Frequenzbereich. Das Geschäftsfeld Verteidigung spielt mit seinem 300-Gigahertz-Radar international in der ersten Liga.

### Weitere Radarentwicklungen für die Verteidigung

Für einige Fragestellungen macht Radar auch im Nahbereich Sinn: Schließlich kann es die Umgebung sowohl bei Dunkelheit als auch bei Nebel abbilden. Wichtig kann das etwa auf Drohnen oder anderen unbemannten Flugobjekten sein, auf Robotern oder auf Fahrzeugen. Auf Militärfahrzeugen kann per Radar ein möglicher Beschuss des Fahrzeugs detektiert werden: Ist beispielsweise eine Granate im Anflug, geht es um Zehntel oder gar Hundertstel Sekunden, um einen aktiven Schutz einzuleiten. Das Geschäftsfeld Verteidigung realisiert

die Radarerfassung der Geschosse, die im Rahmen des aktiven Schutzes nötig ist.

Möchte ein anderes Land die Gegebenheiten hierzulande erkunden, ist das keineswegs gerne gesehen. Daher arbeitet das Geschäftsfeld Verteidigung zudem daran, Radarsysteme mit entsprechenden Sendern zu täuschen und zu stören – und die Erkundung auf diese Weise zu erschweren bzw. zu verhindern. Um die eigene Beobachtung unauffällig zu gestalten und somit vor solchen Störungen zu schützen, bietet sich passives Radar an. Dabei sendet man die Signale nicht selbst aus, sondern nutzt die Radiowellen anderer, um den Luftraum zu überwachen – und zwar so, dass man sich selbst nicht bemerkbar macht. Auch bei dieser verdeckten Aufklärung konnte das Geschäftsfeld Verteidigung seine Kompetenzen gewinnbringend einsetzen: Es hat das erste passive System zur Luftüberwachung entwickelt.

Ein noch recht neues Forschungsgebiet des Geschäftsfelds Verteidigung ist das kognitive Radar. Üblicherweise ist es komplex, Radarsysteme für den Einsatz optimal einzustellen. Künftig soll das Radar seine Parametrisierung über eine eigene Intelligenz selbst vornehmen und optimal an die Aufgabe anpassen. Denn es ist ein großer Unterschied, ob Abbildungen von Gegenden mit hohen Bergen oder über dem Meer mit starken Wellen gemacht werden sollen. Im Bereich eines solchen kognitiven Radars konnten bereits erste gute Ergebnisse erzielt werden. Weitere, noch recht frische Forschungsgebiete liegen im Design von Metamaterialien – also Materialien mit Eigenschaften, die in der Natur nicht vorkommen – über die sich spezielle Eigenschaften beim Antennendesign erzielen lassen, und in kohärenten Radarnetzwerken, bei denen mehrere Sender und Empfänger so zusammenarbeiten, dass sie ihre Signale aneinander angepasst aussenden.

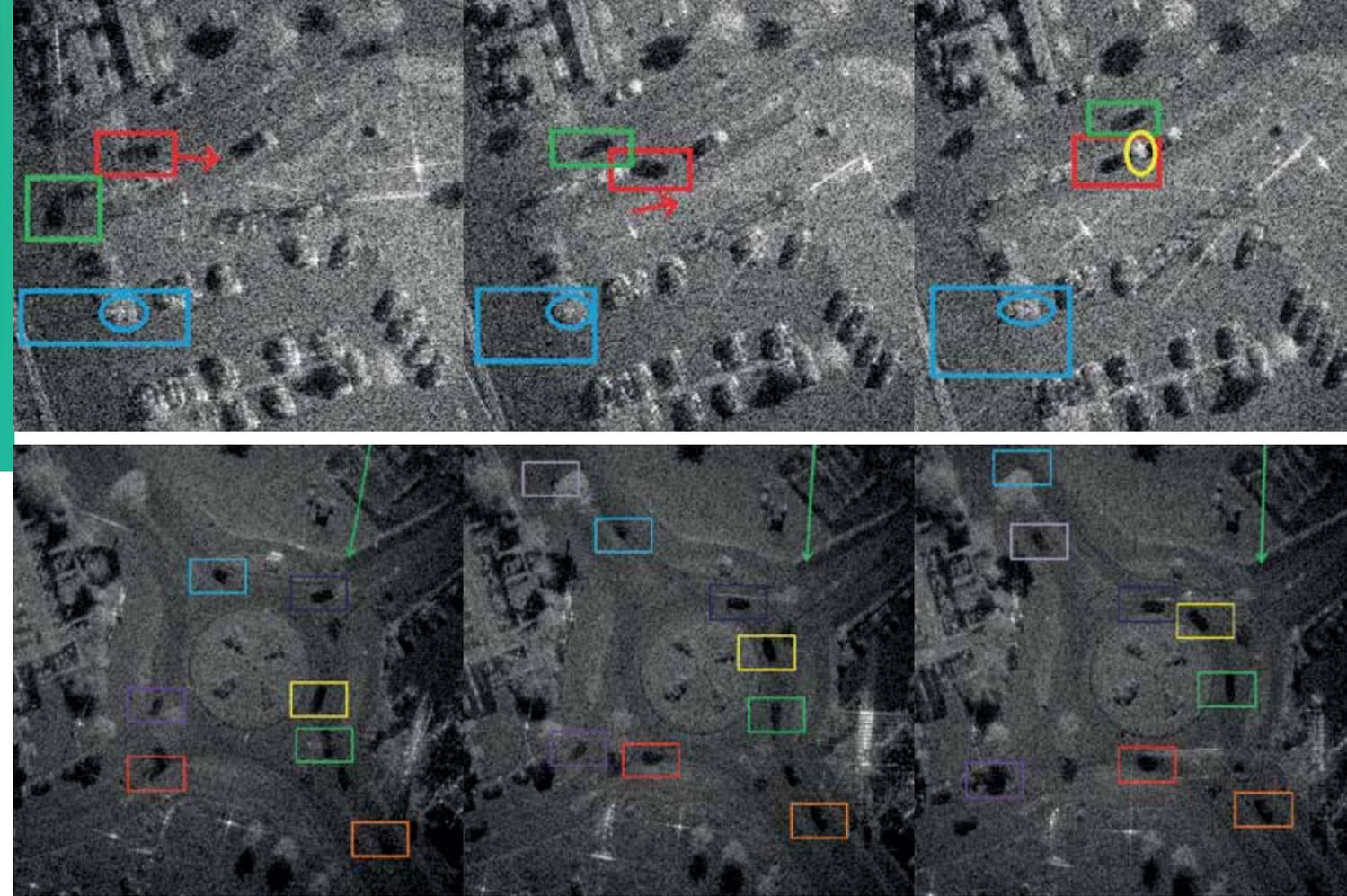
- Bei Fragen der Verteidigung ist Radar eine Schlüsseltechnologie – das klassische Einsatzgebiet sind Luftraumüberwachung und bildgebende Fernaufklärung. Hier unterstützt das Geschäftsfeld Verteidigung unter anderem die Bundeswehr mit seiner Kompetenz.
- Auch im Nahbereich können Radartechnologien sinnvoll sein, etwa zum aktiven Schutz von Militärfahrzeugen.
- Ist eine verdeckte Aufklärung vonnöten, bietet sich passives Radar an, bei dem man vorhandene Radiowellen detektiert. Im Geschäftsfeld Verteidigung wurde das erste passive System zur Luftüberwachung entwickelt.
- Auch im Bereich des kognitiven Radars, das seine Parametrisierung selbst vornimmt, konnten erste Ergebnisse erzielt werden.



Kontakt:  
Geschäftsfeldsprecher Verteidigung

Dr.-Ing.  
**UDO USCHKERAT**  
Tel. +49 151 721 243 27  
udo.uschkerat@fhr.fraunhofer.de

Zoom einer zirkularen SAR Video Bildsequenz auf einen Parkplatzbereich (oben) und einen Kreisverkehr (unten). Dargestellt sind jeweils 3 Bilder der Sequenz in zeitlichem Abstand von wenigen Sekunden. In unterschiedlichen Farben markiert die Schatten fahrender Autos während der Beleuchtung. Oben kann man ein Auto beim Einparken beobachten (rot), während unten der Verkehr im Kreisverkehr anhand der Schatten verfolgt werden kann.



## HÖHERE AUFLÖSUNG, DREIDIMENSIONALE ABBILDUNGEN: KREIS-SAR

Möchte man ein Gelände per Radar aus dem Flugzeug heraus mit möglichst hoher Auflösung abbilden, fliegt man am besten in Kreisen darüber. Das Fraunhofer FHR hat ein entsprechendes Kreis-SAR entwickelt: Es arbeitet bei 94 Gigahertz und erzielt somit eine sehr hohe Auflösung. Zudem kann es selbst bei einkanaligem Radar 3D-Abbildungen liefern und sogar die Form bewegter Objekte einfangen.

Man kennt es von Autofahrten: Kutschiert man an einem Objekt vorbei, erhascht man nur einen vergleichsweise flüchtigen Blick darauf. Fährt man dagegen im Kreis um das Objekt herum, kann man es in aller Ruhe und von allen Seiten betrachten. Ebenso ist es bei der Radarabbildung. Üblicherweise fliegt man beim *Synthetic Aperture Radar*, kurz SAR, mit dem Flugzeug in gerader Linie über das Objekt hinweg – da dies eine einfache Bildgebung erlaubt – und nimmt währenddessen die Radardaten auf. Beim Kreis-SAR zieht das Flugzeug dagegen Kreisbahnen über dem zu beobachtenden Gebiet. Zwar macht dies die Signalverarbeitung anspruchsvoller, jedoch lässt sich ein bestimmtes Gebiet über einen langen Zeitraum beleuchten – und das wie beim Radar üblich ebenso bei Dunkelheit wie durch Wolken hindurch.

### Deutlich höhere Auflösung möglich

Diese längere Datenerhebung spiegelt sich deutlich in der Auflösung der Abbildung wider: Während die laterale Auflösung beim linearen SAR durch die Antennenöffnung physikalisch begrenzt ist und meist bei wenigen Zentimetern liegt, lässt sich die Auflösung beim Kreis-SAR theoretisch bis in den Bereich der Wellenlänge von drei Millimetern hochschrauben. Der Grund dafür: Überfliegt man das Gebiet linear, so sieht man Zielobjekte nur aus einem kleinen Winkelbereich – die Zahl der Blickwinkel ist naturgemäß begrenzt und man kann

die Daten über einen kürzeren Winkelbereich aufsammeln. Objekte, die von Bäumen oder Häusern verdeckt sind, kann man vielfach wenig bis gar nicht erkennen. Umkreist man das Zielgebiet jedoch, sieht man das Objekt von allen Seiten und kann die Signale aus den verschiedenen Blickrichtungen sinnvoll miteinander kombinieren. Neben der hohen Auflösung ermöglicht dies, auch mit einem einkanaligen System eine dreidimensionale Abbildung zu erzeugen. Eine solche einkanalige Messung macht vor allem dann Sinn, wenn die Datenflut gering gehalten und die Messung möglichst einfach durchgeführt werden soll. Schließlich fallen bei einer Messung mit zwei Kanälen doppelt so viele Daten an, mit entsprechendem Mehraufwand in der Signalverarbeitung.

Die Frequenz des Kreis-SAR des Fraunhofer FHR liegt bei 94 Gigahertz – ein Alleinstellungsmerkmal, denn andere Kreis-SAR-Systeme arbeiten bei deutlich geringeren Frequenzen. Der Vorteil der hohen Frequenz: Die Wellenlänge der Signale ist kleiner, die Beleuchtungszeiten können kürzer gewählt werden und höhere Auflösungen sind möglich. Die praktisch erzielte Auflösung liegt derzeit bei etwa zwei Zentimetern. Eine weitere Besonderheit des Kreis-SARs des Fraunhofer FHR: Egal wie das Flugzeug sich bewegt, das Radarsystem behält den gleichen Punkt am Boden im Visier. Möglich macht es ein Gimbal – also ein Gestell, an dem das System aufgehängt wird und durch das sich die erzeugte Abbildung stabilisieren lässt.

Die Software des Gimbals wurde entsprechend modifiziert. Statt nur Bewegungen auszugleichen, fokussiert der Gimbal nun auf feste GPS-Koordinaten.

### Bewegtziele abbilden

Doch damit nicht genug der Besonderheiten: Mit dem Kreis-SAR lassen sich nicht nur statische Objekte abbilden, sondern erstmals auch bewegte Ziele. Das zeigte eine Testreihe, bei der ein Kreisverkehr über Kreis-SAR abgebildet wurde. Fahren Autos durch den Kreisverkehr, wären sie auf einkanaligem, linearem SAR nur verschwommen zu erkennen, ihre Form wäre nicht bestimmbar. Die Form bewegter Objekte wäre nur dann scharf abbildbar, wenn alle drei Geschwindigkeitskomponenten der Objekte bekannt sind – was jedoch meist nicht der Fall ist. Anders im Kreis-SAR: Hier sind die sich bewegenden Schatten der Objekte erkennbar, ebenso wie deren konkrete Form. LKW, Kleinautos, Personen lassen sich auf diese Weise gut voneinander unterscheiden.

Auch eine Höheninformation vermag die einkanalige Messung zu liefern. So lassen sich unterschiedliche Fokusebenen einstellen: Fokussiert man beispielsweise auf Straßenniveau, so können Gullideckel, Autos und Co. erkannt werden. Fokussiert man dagegen auf die Höhe von Hausdächern, wird die Straße unscharf, dafür sind die Dächer gut abgebildet.

Ein Prototyp des Kreis-SAR-Systems existiert bereits. In folgenden Schritten soll nun auch ein zweikanaliges Kreis-SAR-System aufgebaut werden. Dann werden auch interferometrische Messungen möglich – bei denen man analysiert, wie die Signale der beiden Kanäle sich gegenseitig beeinflussen. Aus diesen Daten lässt sich direkt die Höhe der jeweiligen Objekte bestimmen.

### KONTAKT

Dipl.-Ing. Stephan Palm  
+49 228 9435-357  
stephan.palm@fhr.fraunhofer.de

Mithilfe eines MIMO-Radars (oben) können auch nicht direkt reflektierte Radarsignale ausgewertet werden und Zusatzinformationen liefern. Mikrodopplersignatur (links) einer gehenden Person (rechts) von der direkten (grün) und der indirekten Reflexion (rot). Über den indirekten Pfad wird die Person noch beleuchtet, wenn sie schon am Radar vorbeigegangen ist.



## »UM-DIE-ECKE«-RADAR: INDIREKTE LOKALISIERUNG VON OBJEKTEN

Häuser sind für Radarsignale undurchsichtig, da das Signal an den Wänden reflektiert wird. Nutzt man jedoch Mehrwege-Signale – die nicht auf direktem Weg, sondern durch mehrmalige Reflektionen zum Detektor zurückgelangen – kann man damit quasi um die Ecke schauen. Auf diese Weise lassen sich zusätzliche Informationen erhalten, die sonst per Radar nicht erhoben werden könnten.

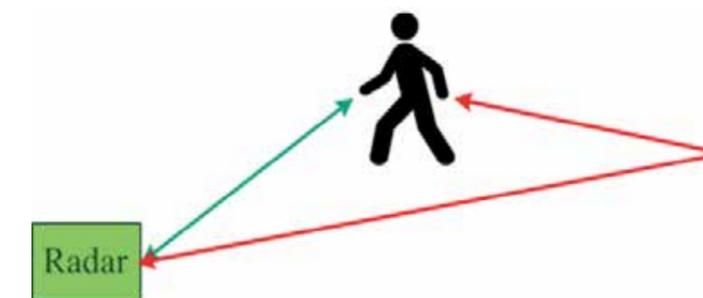
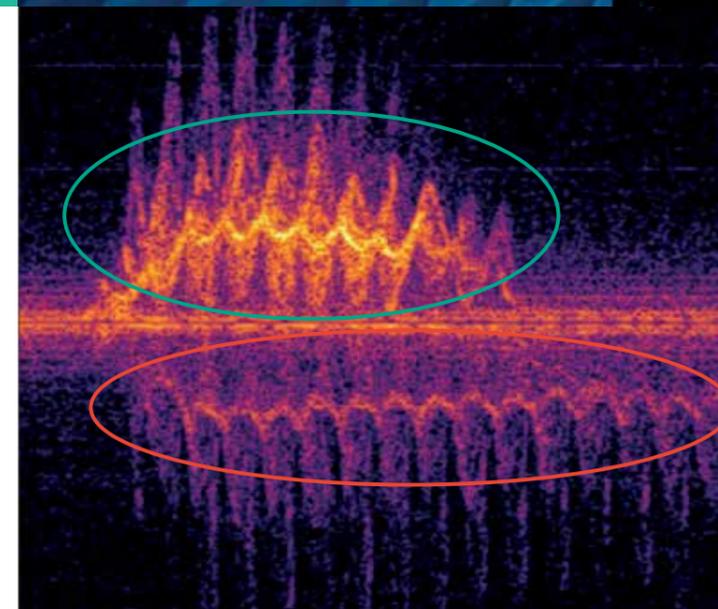
Hauswände sind für Radarsysteme wie Spiegel: Sie reflektieren das ausgesendete Signal zurück, ein Blick hinter die Gebäude ist nicht möglich. Bei starker Urbanisierung, sprich in Städten, wird das Signal also schnell durch Hauswände abgeschattet: Man kann nicht viel sehen. Ebenso bei bestimmten Objektformen: Sie werfen das Echo nicht in die Richtung des ursprünglichen Signals zurück, sondern in eine andere – und sind für das Radar somit unsichtbar. Wie lassen sich verdeckte Objekte dennoch per Radar aufspüren? Und kann eine solche Technologie auch nützlich sein, um den Informationsgehalt der Messungen von direkt sichtbaren Objekten zu erhöhen?

### Via Mehrwege-Signalen zu mehr Information

Das Fraunhofer FHR geht hierzu neue Wege: Die Nutzung von Mehrwege-Signalen – also Signalen, die nicht vom Objekt direkt, sondern vom Objekt und weiteren Oberflächen zurückreflektiert werden. Bisher versucht man diese auszuschalten, da sie Störungen im Signal verursachen können. Doch kann man sie sich auch zunutze machen. Der Ansatz: Verwendet man mehrere Sendeantennen und mehrere Empfangsantennen – also Antennenarrays – und werden die Signale etwa in einer Häuserschlucht immer wieder im Zickzack an den Hauswänden reflektiert, könnte man damit »um die Ecke« schauen. Die Herausforderung dabei: Man muss anhand der empfangenen Signale erkennen können, ob diese auf direk-

tem Weg reflektiert wurden oder über einen anderen Weg zur Empfangsantenne zurückgelangt sind.

Das Fraunhofer FHR nutzt ein *Multiple-Input-Multiple-Output*-Radar, kurz MIMO. Bei diesem senden die einzelnen Antennen unterschiedliche Sendesignale, auf diese Weise lassen sich die Echos den jeweiligen Sendeantennen zuordnen. Das System empfängt dabei in einer anderen Richtung, als es sendet – somit lassen sich die direkten Signale ausschalten. Jede Antenne schickt ein Signal aus, das einen sehr großen Bereich beleuchtet, auch die Empfangsantennen empfangen ein Echo aus unterschiedlichen Richtungen. Erst im Nachgang wird im Rechner eingestellt, in welche Richtung die jeweilige Antenne schauen soll. Kurzum: Die Radarkeulen lassen sich im Nachgang digital einstellen. Auf diese Weise kann eine Art Matrix angelegt werden, in der die verschiedenen Richtungen von Sende- und Empfangsantennen gegeneinander aufgetragen sind. Das Ergebnis ist hochdimensional: Vielfach hat es bis zu fünf Dimensionen. Aus diesen lassen sich je nach Wunsch zweidimensionale Bilder herauserschneiden. Beispiele für diese Dimensionen sind etwa die Senderichtung, die Entfernung eines Objekts oder die Laufzeit des Signals. Direkte Signale, bei denen Hin- und Rückweg durch die Häuserschlucht identisch sind, werden bisher noch nicht erkannt. Interessant könnten hier polarimetrische Signale sein – mit diesen könnte sich langfristig erkennen lassen, ob das Signal eine gerade oder eine



ungerade Zahl an Reflektionen hinter sich hat. Die gesamte Entwicklung der Technologie lag beim Fraunhofer FHR, von der Hardware bis zur Signalverarbeitung. Dabei galt es sowohl Fragen der Antennenanordnung und des Arraysdesigns als auch solche zur Datenprozessierung zu beantworten. Welche Möglichkeiten gibt es beispielsweise, um die Signale zu trennen?

### Proof-of-Concept erfolgreich durchgeführt

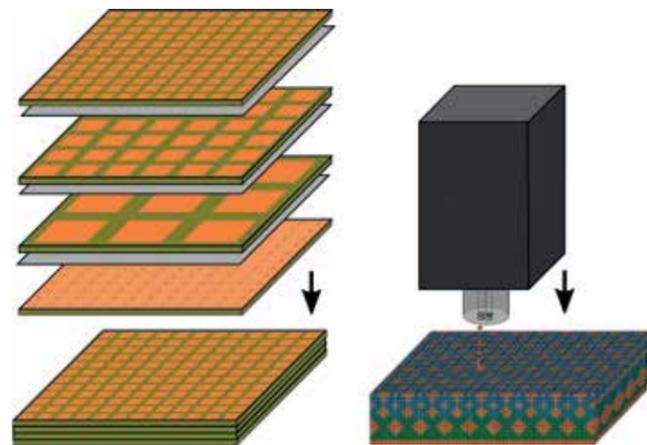
Erste Messungen wurden bereits erfolgreich durchgeführt: Als Reflektionsflächen kamen zwei Whiteboards zum Einsatz. Das Signal wurde vom ersten Whiteboard zum zweiten reflektiert und von dort zurück zur Empfangsantenne. In einem weiteren Versuch wurde eines der Whiteboards durch eine Person ersetzt. Verglichen wurden die Signale, die von der Person direkt reflektiert wurden und diejenigen, die vom Menschen über das Whiteboard zurück zur Empfangsantenne gelangten. Die Signale konnten erfolgreich voneinander getrennt werden. In einem nächsten Schritt stehen Experimente mit verdeckten Objekten an. Interessant ist das System vor allem für die Klassifikation von Objekten: Je mehr Informationen dafür zur

Verfügung stehen, desto besser kann eine solche Klassifizierung gelingen.

### KONTAKT

Dipl.-Ing. Oliver Biallowons  
+49 228 9435-139  
oliver.biallawons@fhr.fraunhofer.de

Links: Herstellung einer breitbandigen HF-Struktur mittels konventionellen Fertigungsverfahren (Mehrlagige Leiterplatte). Rechts: Konzept zum direkten 3D-Druck von komplexen Strukturen mit neuen Freiheitsgraden bzgl. Materialwahl und Geometrie.



## MULTIMODALE ANTENNEN AUS DEM 3D-DRUCKER

Wie gut die Auflösung von Radarsystemen ist, wird maßgeblich von der Bandbreite des Radarsystems bestimmt. Herkömmliche Fertigungsverfahren von Antennen sind hinsichtlich der Bandbreite jedoch ausgezehrt. Dreidimensional gedruckte Antennen versprechen dagegen höhere Bandbreiten und somit eine verbesserte Auflösung. Zudem lassen sich durch breitbandige Antennen Aperturen verschiedener Systeme zusammenlegen.

Kampfflugzeuge, Drohnen und Fregatten haben eines gemeinsam: Auf ihnen sind zahlreiche verschiedene Systeme installiert, von denen jedes seine eigene Antenne besitzt – auf Fregatten befinden sich teilweise bis zu 150 Antennen. Da kann es zum einen eng werden, zum anderen beeinflussen sich die Antennen gegenseitig. Könnte man Antennen größerer Bandbreite realisieren, ließen sich mehrere Antennen zusammenlegen. Auch darüber hinaus ist eine hohe Bandbreite wünschenswert: Denn sie bestimmt beim Radar maßgeblich die Auflösung, bei Kommunikationsanwendungen die Kanalkapazität. Eine Lösung bieten multimodale Antennen, also eine Kombination von Antennen. Der Haken an der Sache: Sie lassen sich nur schwer über herkömmliche Fertigungsverfahren wie Leiterplatten herstellen, da diese sind in puncto herstellbarer Bandbreite scheinbar am Limit sind.

### 3D-Druck schöpft auch die Höhe mit aus – und erlaubt somit höhere Bandbreiten

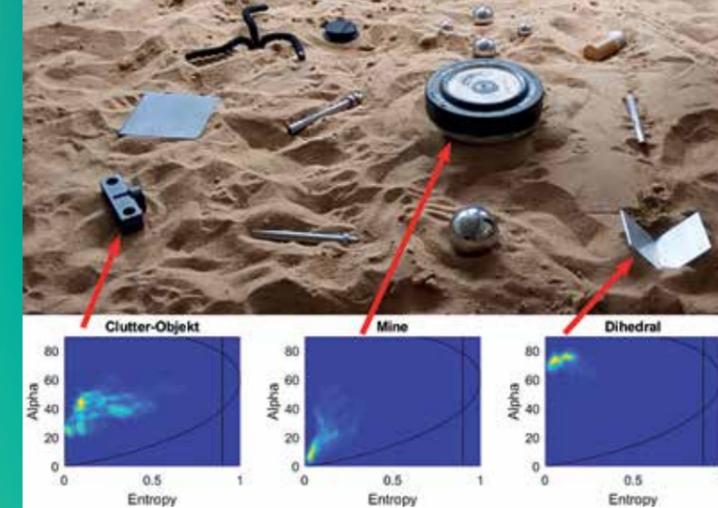
Das Fraunhofer FHR geht daher neue Wege und setzt für die Herstellung multimodaler Antennen auf den 3D-Druck. Qualitativ weiß man, dass ein bestimmtes Volumen ein festes Bandbreitenlimit hat. Anders gesagt, je größer die Antenne, desto größer die realisierbare Bandbreite. Doch wie kann man das vorhandene Volumen besser nutzen und auch bei kleinen Antennen eine möglichst große Bandbreite realisieren? Hier

kommt der 3D-Druck ins Spiel: Da man im monolithischen Bereich ist, kann man – im Gegensatz zu Leiterplatten – die Höhe direkt mit nutzen und so hohe Bandbreiten realisieren. Auch die Materialparameter lassen sich besser variieren. Zwar wird im Falle von einfachen Druckprozessen für jeden Druck das gleiche Material verwendet, allerdings können die effektiven Materialparameter z. B. über gezielte Luftporen eingestellt werden. Noch fehlt ein stabiler Prozess: Die Druckqualität muss auch im Millimeterbereich gut sein, zudem braucht man das passende Material. Erhältliche Materialien sind dafür nicht spezifiziert. Das Fraunhofer FHR charakterisiert kaufbare Materialien für den Hochfrequenzbereich und optimiert sie ggf. darauf.

Der 3D-Druck erlaubt langfristig nicht nur, verschiedene Antennen zu multimodalen Antennen zusammenzulegen, sondern auch Antenne und Speisernetzwerk, aus der sie ihre Energie bezieht. Konforme Antennen, wie sie etwa in den Flugzeugrumpf integriert werden, lassen sich ebenfalls gut per 3D-Druck ebenfalls fertigen – die nötige Krümmung kann direkt beim Ausdruck realisiert werden.

#### KONTAKT

M. Eng. Andrej Konforta  
Tel. +49 228 9435-79025  
andrej.konforta@fhr.fraunhofer.de



Testfeld mit unterschiedlichen Zielen zur Messung polarimetrischer GPR-Daten (oben). Ergebnisse einer Entropie-Alpha-Zerlegung für die gemessenen Daten der im Testfeld verborgenen Ziele (unten).

## MINEN JEDGLICHER ART AUFSPÜREN? ABER SICHER...

In den Boden schauen zu können, ist eine praktische Sache – insbesondere wenn es darum geht, Minenfelder von ihrer gefährlichen Fracht zu befreien. Ein bodendurchdringendes Radar macht eben dies möglich. Das Fraunhofer FHR hat nun eine experimentelle, polarimetrische Antennenzeile samt Auswertalgorithmen entwickelt. Das Besondere: Die Antennenzeile lässt eine Rasterbreite von nur zehn Zentimetern zu.

Minenfelder zu räumen, ist nach wie vor eine gefährliche Angelegenheit. Metalldetektoren helfen nur bedingt bei der nervenaufreibenden Suche, denn zahlreiche Minen und improvisierte Sprengfallen bestehen mittlerweile aus Kunststoff. Weitaus besser lassen sich solche Waffen daher mit bodendurchdringendem Radar, kurz GPR, aufspüren: Es ermöglicht die Detektion von Zielen aus Kunststoff oder Mischstoffen ebenso wie solchen aus Metall. Entsprechende polarimetrische Antennen wurden nun am Fraunhofer FHR entwickelt und aufgebaut, ebenso wie die Algorithmen zur Klassifizierung der Ziele.

### Kompakte polarimetrische Antennen

Das Prinzip: Zahlreiche solcher polarimetrischen Antennen werden vor einem Fahrzeug nebeneinander in einer Antennenzeile montiert. Dort überprüfen sie das jeweils unter ihnen liegende Gelände, die Algorithmen werten die erfassten Daten umgehend aus. Schließlich muss die Information, ob sich ein Ziel vor dem Fahrzeug im Boden befindet, bekannt sein, bevor das Fahrzeug die entsprechende Stelle erreicht. Doch was ist eigentlich eine polarimetrische Antenne, und wofür braucht man sie? Viele GPR-Systeme arbeiten mit nur einer Polarisation der ausgesendeten und empfangenen elektromagnetischen Felder, die fest zur Geh- oder Fahrtrichtung ausgerichtet ist. Eine polarimetrische Antenne hat noch eine zweite, senkrecht

zur ersten ausgerichtete Polarisation. Die Messung liefert somit mehr Informationen und erlaubt eine bessere Aussage. Zwar gibt es solche Antennen bereits. Der Clou dieser besonderen Antenne liegt in der kompakten Bauform – ein bistatisches, polarimetrisches Antennenpaar mit jeweils einer Sende- und Empfangsantenne nimmt lediglich die doppelte Rastergröße von zwanzig Zentimeter in Anspruch. Auf diese Weise können die Antennen dicht an dicht platziert werden und den Boden auf der kompletten Fahrzeugbreite schnell und effektiv untersuchen.

### Algorithmen zur Klassifizierung

Ein weiterer Schwerpunkt liegt darin, Algorithmen zu entwickeln: Diese sollen zunächst das Material und die Orientierung des Ziels analysieren und es langfristig auch klassifizieren. Handelt es sich um einen Stein, eine Mine oder eine harmlose Plastiktüte? Um eine solche Einordnung vornehmen zu können, braucht es eine entsprechende Datenbank mit Vergleichsdaten. Dazu wurde ein Testboden mit darin vergrabenen Objekten mit den polarimetrischen Antennen untersucht.

#### KONTAKT

M. Sc. Johannes Böckler  
Tel. +49 228 9435-334  
johannes.boeckler@fhr.fraunhofer.de

Zentraler Teil eines SAR-Bildes, das während der Messkampagne in England aufgenommen wurde.



## MESSKAMPAGNE DER NATO: RADAR-SYSTEME DES FRAUNHOFER FHR BETEILIGT

Wie viel bringt es, das gleiche Szenario mit Radarsystemen unterschiedlicher Frequenzen anzuschauen? Lassen sich auf diese Weise etwa Attrappen von Waffen unterscheiden? Und welche zusätzlichen Informationen kann man aus Aufnahmen des gleichen Objekts aus verschiedenen Blickwinkeln erzielen? Diese Fragen soll eine NATO-Messkampagne klären, an der sich auch das Fraunhofer FHR beteiligt.

Im Juli und August 2019 drehte das Ultraleichtflugzeug Delphin seine Runden über einem militärischen Übungsgelände in England. Das Besondere: Unter seinen Flügeln waren abwechselnd verschiedene Radarsysteme des Fraunhofer FHR angebracht, die das Übungsgelände aus luftiger Höhe untersuchten. Es handelte sich um die Messkampagne *Multidimensional radar imaging* der NATO-Forschungsgruppe SET-250, an der Italien, Polen, Großbritannien, Südafrika, Schweiz, Niederlande, Australien und Deutschland beteiligt sind. Im Sommer wurden insbesondere die Radarsysteme von England, Niederlande und des deutschen Fraunhofer FHR zusammengeführt.

### Welchen Mehrwert hat Multisensorik-Radar?

Die Frage, die es bei der Messkampagne und der nun nachfolgenden Forschung zu klären gilt: Welchen Mehrwert haben Multisensorik und flexible Aufnahmegeometrien – sprich Messungen mit verschiedenen Frequenzen, Polarisationen, Blickwinkeln und Auflösungen? Üblicherweise arbeiten militärische Radarsysteme im Bereich von zehn Gigahertz. Doch verschiedene Materialien reflektieren bei unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich gut: Es kann also sein, dass ein Objekt für einen Strahl einer bestimmten Frequenz durchsichtig ist, auf einer Aufnahme mit einer anderen Frequenz jedoch sichtbar wird. Schaut man ein Ziel mit Radarsignalen verschiedener Frequenzen an, sollte man daraus also einen Nutzen ziehen

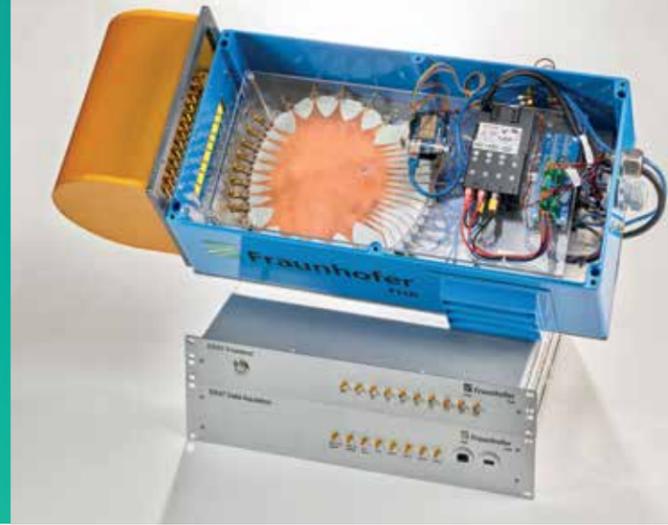
können. So steht zu erwarten, dass man Attrappen besser entlarven kann – etwa leere Kunststoffrohre, die anstelle von Waffen auf Panzern angebracht sind. Auch sollte man eine Art 3D-Effekt erhalten, wenn man ein Objekt von mehreren Seiten untersucht und die Aufnahmen anschließend fusioniert.

### Radarsysteme mit Frequenzen von 1 bis 94 Gigahertz

Während das niederländische L-Band-Radar bei 1 bis 2 Gigahertz arbeitete, lag die Frequenz des englischen X-Band-Radars bei etwa 10 Gigahertz. Die beiden Systeme des Fraunhofer FHR arbeiteten bei 34 bzw. 94 Gigahertz: Das Ka-Band-System PAMIR-Ka hat eine große Bandbreite, langfristig soll die Antenne in zwei Richtungen schwenkbar sein – dann kann auch bei einer Flugzeugdrift noch genau in die gewünschte Richtung geschaut werden. Die Besonderheit des Systems MIRANDA-94 dagegen ist die hohe Frequenz von 94 Gigahertz. Zudem wurden die Hauptkomponenten des Systems in Deutschland gefertigt, überwiegend am Fraunhofer IAF in Freiburg. In einem weiteren Schritt gilt es nun, die gewonnenen Daten gemeinsam auszuwerten und zusammenzuführen.

#### KONTAKT

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



Das am Fraunhofer entwickelte Empfangssystem ERAT bildet eine Kernkomponente des MFRFS Systems PALES.

## AUS HUNDERT MACH EINS: ANTENNEN AUF FREGATTEN UND CO. ZUSAMMENFASSEN

Die Form eines Flugzeugs lässt sich vielfach schon ohne Außenhaut erkennen: Allein an der Verteilung der dicht gedrängten Antennen. Denn bisher braucht jede Funktion ihr eigenes Antennensystem. Der vorhandene Platz ist daher komplett ausgeschöpft. Am Fraunhofer FHR werden nun verschiedene Ansätze entwickelt, diesen Antennenwald zu minimieren und die damit einhergehenden Probleme zu beheben.

Weit über hundert Sensorsysteme und Antennen drängen sich auf militärischen Plattformen wie Flugzeugen, Schiffen und Fregatten – jedes kleinste Quäntchen Platz ist mit ihnen belegt. Das ist nicht nur aus Platzgründen problematisch: Die Antennen stören sich auch gegenseitig.

### Eine Antenne für alle Anwendungen?

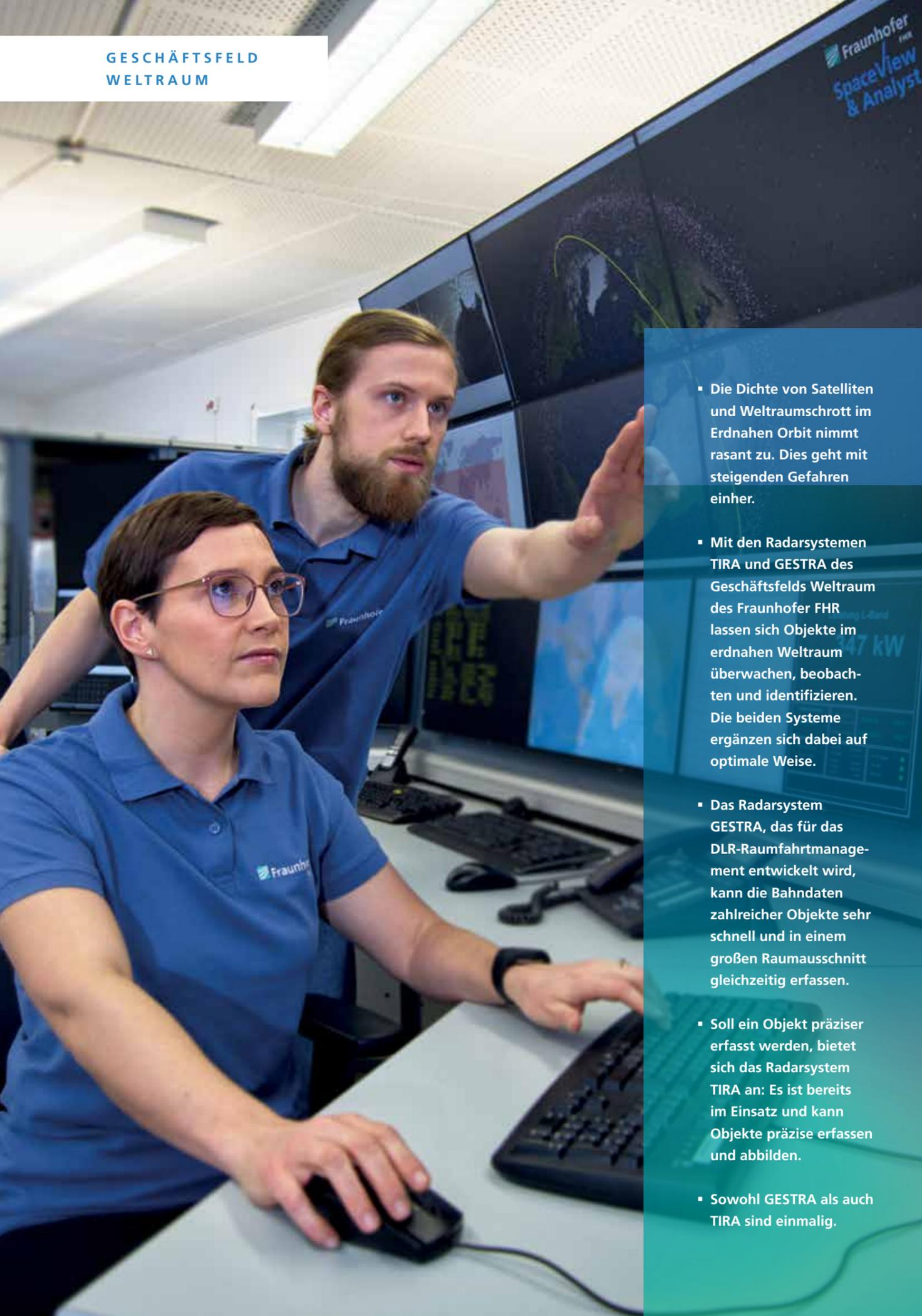
Das Fraunhofer FHR beschäftigt sich daher mit den Fragen: Wie lassen sich die Antennen möglichst geschickt anordnen? Ist es möglich, mehrere Funktionen durch eine Antenne abzudecken – lassen sich also Antennen zusammenlegen? Dies wird umso schwieriger, da die verschiedenen Systeme vielfach dieselben Frequenzen nutzen: So arbeitet Passivradar ebenso wie die Kommunikation im unteren Frequenzbereich. Vor allem dort, wo der Platz noch begrenzter ist – beispielsweise im Flugzeug – wäre es sinnvoll, eine einzige Antenne für alle Anwendungen nutzen zu können: Sei es für Kommunikation, Radar, elektronische Aufklärung oder elektronische Gegenmaßnahmen. Dafür müssen die Antennen möglichst breitbandig sein, also viele unterschiedliche Frequenzen und in der elektronischen Aufklärung den gesamten Raumbereich abdecken. Am Fraunhofer FHR werden dazu zwei Ansätze verfolgt. Zum einen ist es möglich, aus Gruppenantennen aus über tausend Einzelementen einzelne herauszunehmen und für andere Fragestellungen zu nutzen. Oder es wird die

gesamte Gruppenantenne genutzt und simultan der Raumbereich durch ein Mehrkeulensystem abgedeckt.

Das Projekt beinhaltet auch die Frage: Wie lässt sich die gleiche Frequenz für Sende- und Empfangsantennen nutzen? Dies geht entweder über gepulste Signale – dabei sendet die Antennen ein kurzes Signal aus, wartet das Echo ab, und schickt dann erneut ein Signal aus, sie wechselt also zwischen Senden und Empfangen hin und her. Oder aber über kontinuierliche Signale, bei denen das Sendesignal aus dem Empfangssignal heraus gerechnet wird, so dass man zwischen beiden unterscheiden kann. Erste Demonstratoren sind bereits aufgebaut: Aktuell können sie zwischen verschiedenen Aufgaben hin und her wechseln, für den simultanen Betrieb ist noch weitere Forschung nötig. Interessant sind diese Ansätze auch für den zivilen Bereich: Etwa für autonom fahrende Autos, Handyhersteller oder Netzbetreiber. Denn könnte man die Signale mit der gleichen Frequenz senden wie empfangen, könnten die Netzbetreiber mit ihren Frequenzen doppelt so viele Nutzer bedienen.

#### KONTAKT

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



- Die Dichte von Satelliten und Weltraumschrott im Erdnahen Orbit nimmt rasant zu. Dies geht mit steigenden Gefahren einher.

- Mit den Radarsystemen TIRA und GESTRA des Geschäftsfelds Weltraum des Fraunhofer FHR lassen sich Objekte im erdnahen Weltraum überwachen, beobachten und identifizieren. Die beiden Systeme ergänzen sich dabei auf optimale Weise.

- Das Radarsystem GESTRA, das für das DLR-Raumfahrtmanagement entwickelt wird, kann die Bahndaten zahlreicher Objekte sehr schnell und in einem großen Raumausschnitt gleichzeitig erfassen.

- Soll ein Objekt präziser erfasst werden, bietet sich das Radarsystem TIRA an: Es ist bereits im Einsatz und kann Objekte präzise erfassen und abbilden.

- Sowohl GESTRA als auch TIRA sind einmalig.

## WELTRAUM: LAGE VON OBJEKTEN PRÄZISE ERFASSEN

Nicht nur auf Autobahnen und Bundesstraßen in Ballungsgebieten herrscht eine hohe Verkehrsdichte. Auch der erdnahe Weltraum ist sehr verkehrsreich und teilweise überfüllt: Er ist übersät mit aktiven Satelliten sowie Weltraumschrott – ihre Dichte nimmt rasant zu. Das geht, ähnlich wie im Straßenverkehr, mit steigenden Gefahren einher. Denn kommt es zu Zusammenstößen, können Satelliten zerstört und damit die für die Gesellschaft wichtige Infrastruktur (z. B. GPS) beeinträchtigt werden. Es ist daher unabdingbar, Weltraumobjekte zu erfassen, zu überwachen und zu verfolgen: Hat man die umher kreisenden Objekte stets im Blick, können bei drohender Gefahr rechtzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, beispielsweise Ausweichmanöver von Satelliten. *Space Situational Awareness*, kurz SSA – also die Lageerfassung von Weltraumobjekten – ist daher ein Forschungsthema, das sowohl im europäischen als auch im internationalen Kontext immer wichtiger wird. Auch in militärischer Hinsicht gewinnt diese Forschungsrichtung an Bedeutung: So nehmen verdächtige Manöver zu, in denen sich Spionage-Satelliten anderen Satelliten annähern oder gar andocken. Neue Weltraum-mächte wie Indien und China testeten Antisatellitenraketen, um ihre Fähigkeiten darzustellen. US-Präsident Donald Trump etablierte kürzlich aufgrund der zunehmenden Bedrohung im und aus dem All eine Weltraumarmee. Und Frankreich hat aus Gründen der Verteidigung einen Plan für die Entwicklung von Laserwaffen angekündigt.

### GESTRA und TIRA: Hand in Hand

Die Radaranlagen, die das Geschäftsfeld Weltraum des Fraunhofer FHR erforscht und entwickelt, sind für die Überwachung, die Beobachtung und die Identifikation von Objekten im erdnahen Weltraum bestens geeignet. Dabei ergänzen sich die beiden Radarsysteme TIRA und GESTRA auf optimale Weise. Das Radarsystem GESTRA, das im Auftrag des DLR-Raumfahrtmanagements entwickelt wird, erlaubt eine kontinuierliche Überwachung im großen Raum – mit ihm lassen sich die Bahndaten von vielen Objekten gleichzeitig ermitteln. Zudem können über GESTRA die Höhe der Objekte sowie deren Inklination – den Grad zwischen Erdäquator und Umlaufbahn – bestimmt werden. Eine weitere Besonderheit: GESTRA vereint phasengesteuerte Array-Antennen, mechanische Beweglichkeit der Radareinheiten in drei Achsen sowie die Mobilität des gesamten Systems. GESTRA kann somit an jedem beliebigen Standort eingesetzt werden und ermöglicht

ein Netzwerk von Radarsystemen für die Weltraumüberwachung.

Möchte man dagegen einen bestimmten Satelliten oder ein anderes Weltraumobjekt genauer erfassen, ist das bereits eingesetzte TIRA das System der Wahl. Mit ihm lassen sich die Satelliten deutlich präziser erfassen und abbilden – und zudem Aussagen zum Satellit selbst treffen. Funktioniert ein Satellit nicht, kann über TIRA beispielsweise geklärt werden, ob es vielleicht am Solarpaneel liegt, das nicht richtig entfaltet ist. Die Möglichkeit, mit TIRA Weltraumobjekte in großer Schärfe abbilden zu können, ist europaweit einmalig – das System hat daher bereits zahlreiche Missionen unterstützt.

Bis dato lag der Schwerpunkt des Geschäftsfelds Weltraum auf der beschriebenen Lageerfassung von Weltraumobjekten. Künftig sollen zudem weitere Aufgabenfelder hinzukommen. Zum einen ist geplant, erdgestützte SSA-Sensoren um ein weltraumgestütztes Radar zu erweitern. Das Radarsystem, das die Weltraumobjekte beobachtet, steht dann nicht auf der Erde, sondern befindet sich selbst auf einem Satelliten im Orbit. Zum anderen soll das Portfolio um andere Forschungsthemen erweitert werden. Beispiele sind aktive Antennentechnologien für Kommunikationssatelliten, SAR (*Synthetic Aperture Radar*)-Technologie für Erdbeobachtungssatelliten und satellitengestütztes Mikrowellenradiometer zur Klima- und Umweltforschung. Das Geschäftsfeld Weltraum wird also künftig noch breiter aufgestellt sein als bisher – die großen Kompetenzen kommen dann auch anderen Weltraum-Forschungsfeldern zu Gute.



Kontakt:  
Geschäftsfeldsprecher Weltraum

M. Sc.  
**YOUNGKYU KIM**  
Tel. +49 160 2633 836  
youngkyu.kim@fhr.fraunhofer.de

Phased-Array-Antenne des GESTRA-Senders und -Empfängers.

## GESTRA: DEN ERDNAHEN ORBIT STETS »IM BLICK«

Um den erdnahen Orbit zu überwachen und zu wissen, welche Objekte sich dort bewegen, ist ein Phased-Array-Radar mit hoher Strahlagilität vonnöten. Ein solches baut das Fraunhofer FHR im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums: Im September 2020 wird das teilmobile Weltraumüberwachungsradar GESTRA an das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) übergeben.

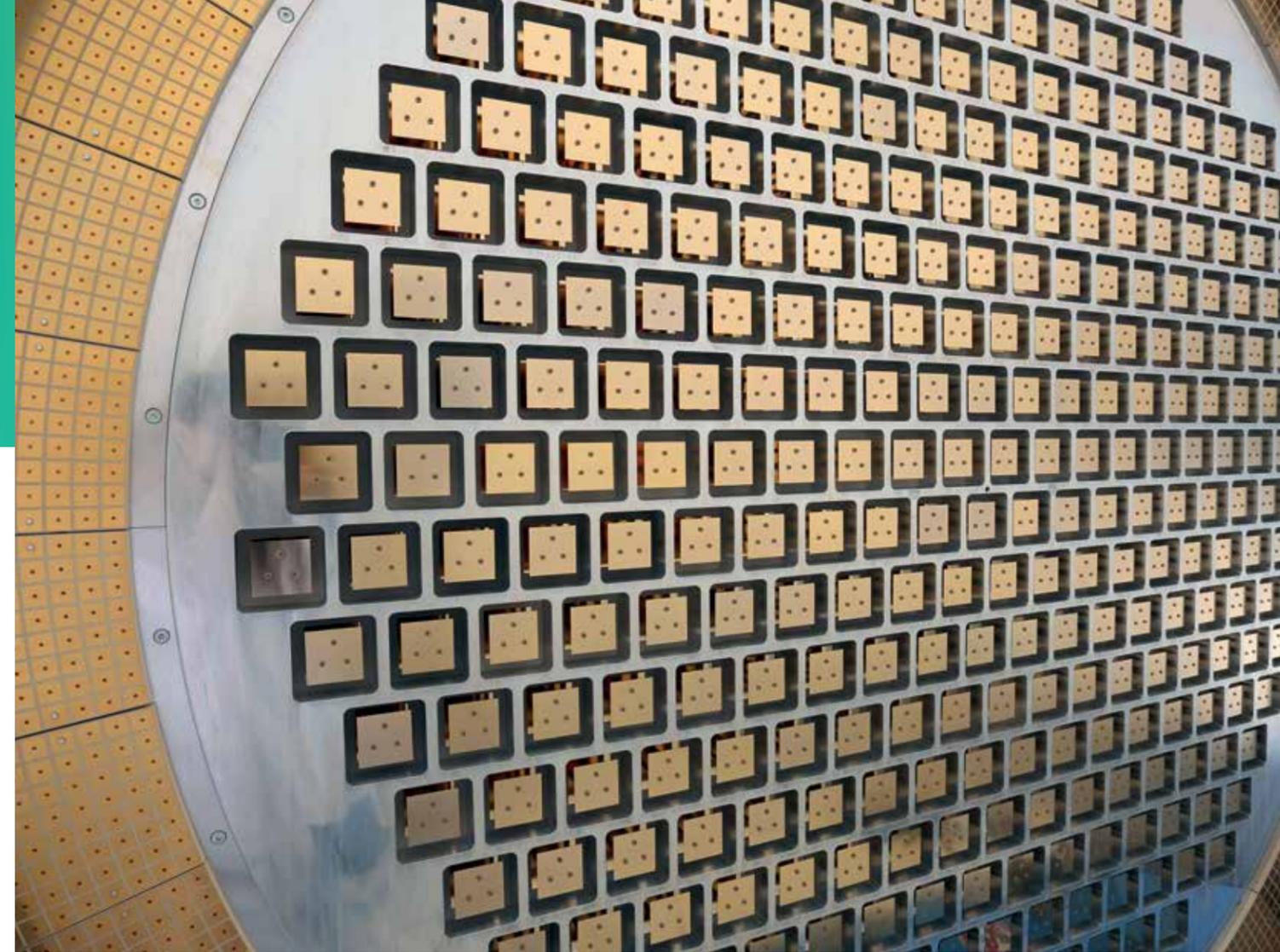
Was schwirrt wo im erdnahen Orbit, kurz LEO genannt, herum? Diese Frage ist nicht nur an sich interessant, sondern durchaus relevant für unser alltägliches Leben. Denn im LEO ziehen die Satelliten ihre Bahnen, die uns mit Informationen versorgen – sei es für Navigationssysteme, sei es für kritische Infrastrukturen wie Kommunikation, Börse und Co. Ebenfalls schwirrt dort oben Weltraumschrott in erheblicher Zahl herum: Dieser stellt eine zunehmende Gefahr für die Satelliten dar. Um Operateure von Satelliten rechtzeitig warnen zu können, wenn ein Schrottteil einem Satelliten gefährlich nahe zu kommen droht, erstellt die NASA einen globalen Katalog – den Masterkatalog. In diesem sind die meisten Flugobjekte im LEO verzeichnet. Was die US-amerikanischen Satelliten angeht, so sind sie aus taktischen Gründen jedoch in den Listen meist nicht zu finden. Deutschland möchte sich daher aus dieser Abhängigkeit lösen. Dazu sind zwei verschiedene Radar-Systeme nötig: Eines, das einzelne Weltraumobjekte verfolgt und abbildet – das übernimmt das Weltraumbeobachtungssystem TIRA am Fraunhofer FHR. Und ein weiteres, das die Überwachungsfunktion erfüllt, also die verschiedenen Objekte in einem großen Raumausschnitt aufspürt. Dies kann nur ein Phased-Array-Radar mit hoher Reichweite und Strahlagilität, das es jedoch bislang auf deutscher Seite nicht gab.

### Kernkompetenz: Schnelle Raumüberwachung

Das Bundeswirtschaftsministerium beauftragte daher das Fraunhofer FHR, ein solches Phased-Array-Radar aufzubauen: Von der Konzeptionierung und der Design-Phase bis hin zum einsatzfähigen System. Das Design sieht ein quasi-monostatisches System vor, das aus separatem Sende- und Empfangssystem besteht. Die Phased Array-Antennen sind dabei jeweils auf einem 3-Achsen-Positionierer montiert: So lässt sich zunächst mechanisch der Überwachungsbereich einstellen, und dieser Bereich anschließend elektronisch innerhalb von Millisekunden scannen. Mit den Radarstrahlen wird dabei eine Art Zaun geschaltet, ähnlich wie ein Scheibenwischer: Jedes Objekt, das groß genug ist und den Zaun passiert, wird detektiert. Das Einzigartige an GESTRA: Es ist teilmobil, kann also an beliebigen Stellen aufgestellt werden. Weiterhin kann es die Position von Objekten sehr genau bestimmen.

### September 2020: Übergabe an das DLR

Mittlerweile ist das GESTRA-System zu etwa 90% fertig. Es folgen nun die Serienabnahmen der Komponenten aus dem Fraunhofer FHR, insbesondere der Elektronik in den Sende- und Empfangsantennen. Im Mai 2020 soll GESTRA auf die Schmidtenhöhe bei Koblenz verfrachtet und dort mit der vor Ort existierenden Infrastruktur verbunden werden. Dann sollen



Systemnachweise für das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) folgen, welches das Projektmanagement auf Vertragsseite innehat. Im September 2020 wird GESTRA an das DLR sowie das Weltraumlagezentrum übergeben. Das Weltraumlagezentrum erstellt mit dem neuen Radarsystem einen deutschen Master-Katalog. Besteht näheres Interesse an einem bestimmten Objekt, beauftragt es wiederum das Fraunhofer FHR, dieses Objekt über TIRA zu verfolgen und abzubilden.

Da GESTRA aus dem Weltraumlagezentrum im nordrhein-westfälischen Uedem betrieben werden soll – also aus der Ferne – ist es notwendig, zu jedem Zeitpunkt den »Gesundheitszustand« des Systems überprüfen zu können. Daher hat das 34-köpfige GESTRA-Team über 2000 Sensoren verbaut, die sich per Fernsteuerung monitoren lassen. Geben alle Sensoren »grünes« Licht, lässt sich GESTRA starten. Auch während des Betriebs überwachen die Sensoren die verschiedenen Funktionen.

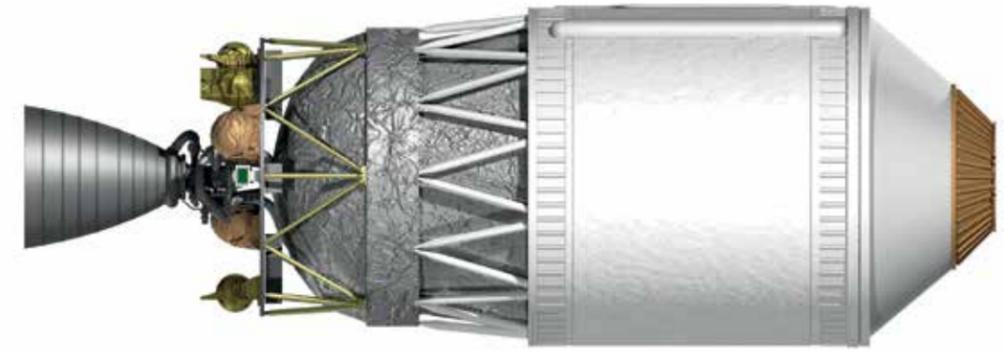
Langfristig ist eine Vernetzung mehrerer GESTRA-Systeme sinnvoll: Denn stehen die Radare beispielsweise 300 Kilometer

auseinander, sehen sie Objekte aus verschiedenen Winkeln. Dies ermöglicht eine deutlich genauere Positionsbestimmung als mit einem einzigen Radar. Die Teilmobilität von GESTRA macht eben dies möglich.

### KONTAKT

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

Analyse einer japanischen H-IIA Raketenoberstufe.



## RÜCKFÜHRUNG VON WELTRAUMSCHROTT: WELTRAUMBEOBACHTUNGSRADAR TIRA KANN UNTERSTÜTZEN

Im Weltraum schwirrt zunehmend Schrott umher – eine ernsthafte Bedrohung für Satellitenmissionen. Raumfahrtbehörden bemühen sich daher zunehmend, Weltraumschrott zu reduzieren. Das europaweit einzigartige Weltraumbeobachtungsradar TIRA des Fraunhofer FHR kann dabei sinnvoll unterstützen: Es liefert z. B. Daten, wie und mit welcher Geschwindigkeit die Objekte rotieren und ob diese noch intakt sind.

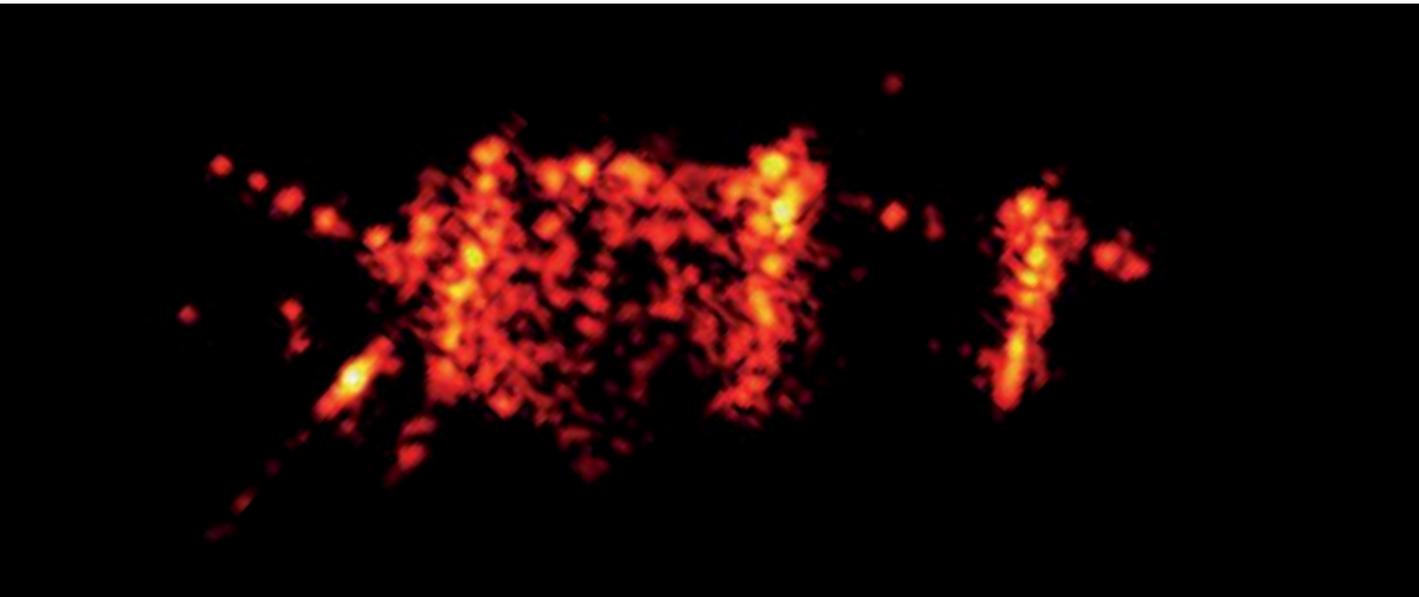
Zahlreiche Satelliten ziehen im Weltraum ihre Bahnen und versorgen uns mit Informationen – sei es für die Navigation, die Kommunikation, das Fernsehen oder die Erdbeobachtung. Doch nicht nur aktive Satelliten schwirren dort herum: Die Mehrheit aller Objekte, die sich im erdnahen Weltraum befinden, haben ihre Dienstzeit bereits hinter sich. Mit steigender Tendenz, schließlich kommt bei jedem Raketenstart neuer Weltraumschrott hinzu. Besonders problematisch ist das bei Raketenstufen. Denn sie haben vielfach noch einen Rest Treibstoff im Tank, was immer wieder Explosionen nach sich zieht. Eine solche löst einen Kaskadeneffekt aus: Statt eines größeren Teils schweben nun eine Vielzahl an kleineren Fragmenten durch den erdnahen Weltraum – die Wahrscheinlichkeit, dass ein Satellit von einem solchen Objekt getroffen und beschädigt oder gar zerstört wird, steigt. Denn selbst solche kleinen Objekte stellen eine Gefahr dar: Es kommt immer wieder zu Ausfällen von Satelliten, weil Fragmente beispielsweise die Sonnensegel durchlöchern haben.

Zwar ist der erdnahe Weltraum groß. Doch Satelliten müssen die Erde je nach Aufgabe auf bestimmten Bahnen umkreisen, deren Kapazitäten bereits heute teilweise ausgeschöpft sind. Weltraumbehörden starten daher erste Versuche, Weltraumschrott zurückzuholen. So plant z. B. die ESA eine erste Testmission für 2025, bei der ein Adapter für die Kopplung

von Raketenoberstufe und Nutzlast eingefangen werden soll. Sowohl im Vorfeld als auch während einer Mission selbst gilt es, möglichst viele Informationen über das Objekt einzuholen: Wie schnell dreht es sich? In welche Richtung rotiert es? Wie ist es im Raum ausgerichtet? In welchem Zustand ist es?

### Weltraumbeobachtungsradar TIRA: Raketenstufen verfolgen und abbilden

Das Fraunhofer FHR kann mit seinem Weltraumbeobachtungsradar TIRA, kurz für *Tracking and Imaging Radar*, die nötigen Daten für solche Missionen liefern und sowohl die Planung als auch die Durchführung unterstützen. Denn TIRA ist mit seiner Fähigkeit zur Beobachtung von Objekten im Weltraum in Europa einzigartig – in tausend Kilometern Entfernung kann das System sogar noch Objekte entdecken, die lediglich zwei Zentimeter groß sind. Bereits heute erbringt das Fraunhofer FHR Unterstützungsleistungen mit TIRA: National für das Weltraumlagezentrum in Uedem, international z. B. für die ESA. Unter anderem wurde das Fraunhofer FHR 2019 mit einer Schadensanalyse der Oberstufe einer japanischen Träger Rakete beauftragt. Damit die dafür notwendige Abbildung möglichst präzise ist, muss die Rotationsgeschwindigkeit der Raketenstufe so genau wie möglich bekannt sein. Es gilt also genau zu bestimmen, wie schnell sie sich in welche



Richtungen dreht. Da sie sich um mehrere Achsen gleichzeitig drehen kann, kann die Bewegung sehr komplex sein. TIRA beobachtet das Objekt während einer Passage typischerweise acht bis zwölf Minuten aus verschiedenen Blickwinkeln. Am Fraunhofer FHR wird über selbst entwickelte Algorithmen eine Sequenz von Radarabbildungen analysiert und daraus die Rotationsgeschwindigkeit abgeschätzt. Dabei wird mit Hilfe der Radarabbildungen ein 3D-Modell proportional zu den Dimensionen des Objektes erstellt. Dieses wird dann über eine Sequenz von Radarabbildungen ausgerichtet. Stimmen die Bewegungen des Drahtmodells und des Objektes in der Bildfolge überein, sind die Geschwindigkeiten richtig gewählt, falls nicht, gilt es in einem iterativen Prozess entsprechend nachzujustieren.

### Ausblick

Der Weltraumschrott wird weiter zunehmen – somit steigt auch die Gefahr für aktive Satelliten, durch Fragmente beschädigt zu werden. Zukünftig werden sowohl ein möglichst genaues Lagebild wie auch die Rückführung und die Vermeidung von Weltraumschrott ein Thema sein. Das Fraunhofer FHR

kann mit TIRA in allen drei Bereichen Unterstützung leisten. Zum Lagebild tragen z. B. Schadensanalysen bei, welche Rückschlüsse zur Fragmentierung eines Objektes zulassen. Zur Rückführung können beispielsweise Zustandsanalysen und Rotationsanalysen der Objekte gemacht werden. Auf diese Weise lässt sich die Frage beantworten, welche Methode sich für das Einholen eignet: Ein Netz oder besser ein Greifarm. Im Bereich Vermeidung kann z. B. die Aktivierung eines Bremssegels verifiziert werden.

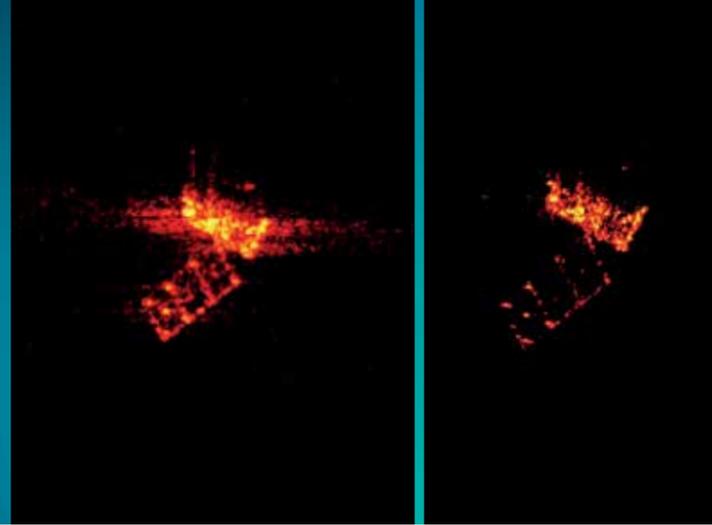
### KONTAKT

M. Sc. Nora Egli

+49 228 9435-343

nora.egli@fhr.fraunhofer.de

ISAR-Bild nach konventioneller Prozessierung (links).  
ISAR-Bild nach innovativer CS-Prozessierung (rechts).



## SCHÄRFERE ISAR-BILDER VON SATELLITEN UND ANDEREN WELTRAUMOBJEKTEN

Das Weltraumbeobachtungssystem TIRA besteht aus einem Zielverfolgungsradar und einem Abbildungsradar. Für das Abbildungsradar entwickelt das Fraunhofer FHR kontinuierlich innovative Methoden, um die erhaltenen Radardaten noch besser als bisher zu prozessieren und die Qualität der Abbildungen zu erhöhen. Denn auf diese Weise lassen sich deutlich belastbarere Aussagen über die Objekte treffen.

Ist das Sonnensegel eines Satelliten abgeknickt, wird es »dunkel« – ihm fehlt die Energie, um Signale zur Erde zu schicken. Nicht nur seitens der Aufklärung stellen sich daher Fragen wie: Sind die Satelliten intakt? Gab es eine Kollision? Fehlen Teile? Solche und ähnliche Fragestellungen zu Satelliten zu beantworten, ist eine der Aufgaben des Weltraumbeobachtungsraders TIRA. Denn Radar hat gegenüber optischen Systemen einen entscheidenden Vorteil: Man kann die Systeme Tag und Nacht und bei jedem Wetter nutzen. Während optische Systeme jedoch sofort ein Bild liefern, erhält man beim Radar Rohdaten, die man zunächst prozessieren muss. Dabei gilt: Je besser die Signalprozessierung, desto mehr Erkenntnis liefert das Bild. Über die Prozessierung lässt sich also die Qualität der Radarabbildung erhöhen.

### Bessere Abbildungsqualität

Die Prozessierung der TIRA-Radardaten zu verbessern und somit genauere Informationen über Satelliten oder andere erdumkreisende Objekte zu gewinnen, ist eine Kernaufgabe des Fraunhofer FHR. Zur Abbildung von Weltraumobjekten mit dem Abbildungsradar des TIRA-Systems wird das ISAR Prinzip, kurz für *Inverse synthetic aperture radar*, verwendet: Dabei steht der Radaraufbau fest, während das Objekt um das Radar rotiert. Die Antenne dreht sich dabei, um das Objekt auf seiner Umlaufbahn zu verfolgen. Das Radar sendet laufend

Pulse und zeichnet für jeden Puls das empfangene reflektierte Signal auf – daraus lässt sich ein Entfernungsprofil des Objekts gewinnen. Aus der Änderung der Entfernungsprofile über der Zeit kann durch spektrale Analyse ein 2D-Bild des Objekts berechnet werden. Bei ISAR ist die Datenverarbeitung besonders anspruchsvoll, denn Vorwärts- und Drehbewegung des Satelliten sind grundsätzlich nicht genau bekannt. Wie schnell rotiert ein festgelegter Punkt auf dem Satellit? Und wie bewegt sich der Satellit selbst? Möchte man eine scharfe Abbildung erhalten, müssen beide Fragen sehr präzise beantwortet werden. Aus der Eigenbewegung des Satelliten kann man den Stabilisierungszustand beurteilen. Taumelt er beispielsweise?

Am Fraunhofer FHR wurde eine neue Methode - basierend auf *Compressive Sensing* (CS) – entwickelt, um die Bilder noch schärfer zu prozessieren. Die Methode schafft eine bessere Korrektur der translatorischen Bewegung und verbindet dies mit einer spektralen Extrapolation, um die Qualität der prozessierten Radarbilder zu steigern.

### KONTAKT

**Dr.-Ing. Delphine Cerutti-Maori**  
Tel. +49 228 9435-290  
delphine.cerutti-maori@fhr.fraunhofer.de



Die Genauigkeit der Entfernungsmessung des Weltraumbeobachtungsraders TIRA verbessert sich um das 100-fache durch die Kombination beider Radarsysteme und neuer komplexer mathematischer Verfahren.

## WELTRAUMSCHROTT IM FOKUS: HOCHGENAUE BAHNBESTIMMUNG MIT TIRA

Droht ein Stück Weltraumschrott in einen Satelliten zu krachen? Diese Frage ist für Satellitenbetreiber elementar. Je genauer sie die Flugbahnen solcher Schrottteile kennen, desto weniger Ausweichmanöver des Satelliten sind nötig – und desto länger lässt er sich einsetzen. Das Weltraumbeobachtungsradar TIRA kann die Bahnen solcher Objekte hochgenau vermessen.

Internet, Kommunikation, Navigationssysteme – ein Großteil unserer Informationsinfrastruktur hängt von Satelliten ab. Diese sind im Weltraum jedoch permanenter Gefahr ausgesetzt: Würde etwa eine ein Zentimeter große Schraube in einen Satelliten krachen, hätte dies die Zerstörungswirkung einer Handgranate. Dies liegt an der hohen Relativgeschwindigkeit zwischen Weltraumobjekten: Bis zu 15 km/s bei Objekten in niedrigen Erdumlaufbahnen.

Im erdnahen Weltraum befinden sich ca. 750.000 Objekte, die eine potenzielle Gefahr für aktive Satelliten darstellen. Weniger als 30.000 dieser Objekte werden vom Space Surveillance Network (SSN) der USA kontinuierlich überwacht und deren Bahnen fortlaufend aktualisiert. Droht eine Kollision, beauftragen in der Regel Satellitenbetreiber zusätzliche Beobachtungen. Bei einer hohen Kollisionswahrscheinlichkeit werden Ausweichmanöver durchgeführt. Allerdings verbraucht dies viel Treibstoff – muss der Satellit oft ausweichen, verkürzt das seine Lebensdauer und ist daher mit hohen Kosten verbunden.

### Hochgenaue Bahnvermessung von Weltraumobjekten

Das Weltraumbeobachtungsradar TIRA des Fraunhofer FHR kombiniert ein Zielverfolgungsradar und ein Abbildungsradar mit einer hochagilen 34 Meter großen Parabolantenne.

Üblicherweise wird ausschließlich das Zielverfolgungsradar für die Bahnbestimmung von Weltraumobjekten verwendet. Im EU-Projekt EUSST wurde nun eine neue Methode entwickelt, um die Bahnen solcher Objekte noch genauer vermessen zu können. Dies konnte erreicht werden, indem die Daten der beiden Radare von TIRA durch den Einsatz hochkomplexer mathematischer Methoden fusioniert wurden. Der *Proof-of-Concept* konnte über eine gemeinsame Messkampagne mit dem Weltraumlagezentrum bereits erbracht werden, wofür Referenzsatelliten beobachtet wurden. Die so mit TIRA gewonnenen Daten wurden mit hochgenauen Ephemeriden verglichen. Dabei konnte die Vermessung der Entfernung um etwa den Faktor 100 verbessert werden.

Bis zum Ende des Projekts, also bis Ende 2021, gilt es, die mathematischen Methoden noch zu verfeinern. Auch ein verbessertes Atmosphärenmodell ist notwendig, um die Effekte der Wellenausbreitung genauer zu kompensieren. Nach Ablauf der Projektzeit wird TIRA über einen neuen Experimentalmodus verfügen, der dann für spezielle Auftragsmessungen verwendet werden kann.

### KONTAKT

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



- Der Anschlag auf das World Trade Center am 11. September 2001 führte zu zahlreichen nationalen und internationalen Forschungsprogrammen, die die Zivilbevölkerung in Friedenszeiten schützen sollen.
- Die Sicherheitsforschung basiert auf drei großen Säulen: Schutz von Menschen, Schutz kritischer Infrastrukturen sowie Schutz vor Kriminalität und Terrorismus.
- Radar bietet bei all diesen Säulen zahlreiche Möglichkeiten, die Sicherheit im zivilen Bereich zu erhöhen.
- Beispielsweise können Drohnen kombiniert mit Radartechnologie in verqualmten Gebäuden oder unter Trümmern Lebenszeichen von Menschen orten.

## ZIVILE SICHERHEIT: VIELFÄLTIGE UNTERSTÜTZUNG DURCH RADAR

Am 11. September 2001 versetzte der Anschlag auf das World Trade Center die Welt in Angst und Schrecken: War er doch der erste terroristisch motivierte Anschlag dieser Dimension auf ein ziviles Ziel. Es folgten Anschläge in Madrid im Jahr 2004 und in London im Jahr 2005. Die Forschung reagierte: Gab es bis dato nahezu keine Sicherheitsforschung für den zivilen Bereich, wurden nach dem Anschlag auf die Zwillingstürme zahlreiche nationale und internationale Forschungsprogramme aufgelegt, die den Schutz der Zivilbevölkerung in Friedenszeiten adressierten. So etwa das Sicherheitsforschungsprogramm der Bundesregierung »Forschung für die zivile Sicherheit«, das mittlerweile in die dritte Runde geht. Generell basiert die Sicherheitsforschung auf drei großen Säulen. Erstens: Der Schutz von Menschen – sei es bei Großveranstaltungen oder auf Bahn- und Flughäfen – sowie ihre Rettung, etwa bei Naturkatastrophen, Epidemien, Anschlägen oder ähnlichem. Zweitens: Der Schutz kritischer Infrastrukturen. Dazu gehören Flughäfen, Bahnhöfe, Wasserstraßen und Brücken ebenso wie die Energie- und Wasserversorgung oder die Kommunikation. Drittens: Der Schutz vor Kriminalität und Terrorismus. Wie etwa kann man der Tatsache begegnen, dass immer mehr Menschen auf der Straße Messer mit sich führen und bei banalen Streitigkeiten auch einsetzen? So finden allein in Berlin rund ein Dutzend Messerangriffe statt – pro Tag! Radar bietet bei all diesen Säulen zahlreiche Möglichkeiten, die Sicherheit im zivilen Bereich zu erhöhen. Das Geschäftsfeld Sicherheit des Fraunhofer FHR ist dabei ein kompetenter Ansprechpartner.

### Schutz und Rettung von Menschen: Unbemannte Systeme mit Radarsensoren

Im Falle einer Katastrophe ist es für die Einsatzkräfte oft schwer bis unmöglich, sich innerhalb kürzester Zeit ein genaues Lagebild zu machen. Beispielsweise ist es im Brandfall äußerst gefährlich, brennende Gebäude auf der Suche nach Menschen zu betreten. Drohnen kombiniert mit Radartechnologie können hier eine große Hilfe sein: Die Drohnen könnten prinzipiell in verqualmte Gebäude fliegen und über an ihnen angebrachte Radarsensoren Lebenszeichen von Menschen oder Tieren orten. Gleichzeitig können Radarsensoren dafür sorgen, dass Drohnen sicher durch Gebäude navigieren, ohne irgendwo anzustoßen. Auf diese Weise ließen sich Rettungseinsätze deutlich schneller, effizienter und gefahrloser durchführen. Auch bei der Suche nach Verschütteten können Radarsensoren gute Dienste leisten, indem sie Lebenszeichen

unter Trümmern orten. In einem weiteren Schritt wäre es denkbar, Drohnen autonom arbeiten zu lassen – auf diese Weise würde die menschliche Einsatzkraft weiter entlastet werden. An entsprechenden Radartechnologien wird im Geschäftsfeld Sicherheit bereits in verschiedene Richtungen geforscht. Noch einen Schritt weiter geht das kognitive Radar, bei dem das Radarsystem die jeweils optimalen Parameter, angepasst an die aktuelle Situation, eigenständig einstellt.

### Schutz von kritischer Infrastruktur: Inspektionsroboter mit Radarsensoren

Zur zivilen Sicherheit gehört es auch, kleinste Risse in Kühltürmen von Kraftwerken, Tunnelsystemen, Brücken oder ähnlichen Infrastrukturen zu entdecken. Drohnen und Roboter können auch diese zum Teil gefährlichen, aber auch zeitraubenden Aufgaben übernehmen. Für die Radartechnologie gibt es hier zwei Ansatzpunkte: Zum einen kann sie über *Sense and Avoid* Kollisionen verhindern. Registriert der Radarsensor eine Wand oder ein anderes Hindernis, können die Daten an die Steuerung der Drohne oder des Roboters gesendet werden, so dass sie dem Hindernis ausweicht. Erste Tests hierzu hat das Geschäftsfeld Sicherheit bereits erfolgreich durchgeführt. Zum anderen bieten Radarsensoren Vorteile bei der Analyse der Infrastrukturen – so können sie auch in dunkler, verqualmter und unzugänglicher Umgebung Strukturen millimetergenau abbilden und feinste Risse und Beschädigungen detektieren.

### Schutz vor Kriminalität

Auch bei der dritten Säule, dem Schutz vor Kriminalität, können Radarsysteme gute Dienste leisten. So ermöglichen sie Sicherheitskräften berührungslos zu erkennen, ob Personen unter ihrer Kleidung Messer oder andere gefährliche Dinge versteckt bei sich tragen.



Kontakt:  
Geschäftsfeldsprecher Sicherheit

Dr. rer. nat.  
**JENS KLARE**  
Tel. +49 228 9435-311  
jens.klare@fhr.fraunhofer.de

Millimeterwellenradar zur Perimeterüberwachung  
am Flughafen.



Das kompakte und leicht bedienbare Radargerät  
vom Fraunhofer FHR kann Kleinstdrohnen zuver-  
lässig aufspüren.

## UMGEBUNG AUF DEM BODEN UND IN DER LUFT ÜBERWACHEN

Kommen Drohnen startenden oder landenden Flugzeugen in die Quere, kann das gefährlich werden. Die Bundesregierung möchte Flughäfen daher besser schützen. Möglich wäre das etwa über ein Radarsystem, das gleichzeitig Boden und Luftraum überwacht, die Objekte klassifiziert und ihre Flughöhe bestimmt. Das System lässt sich auch für die Überwachung von militärischen Feldlagern und Checkpoints einsetzen.

Vor etwa einem Jahr legten Drohnen den Londoner Flughafen Gatwick lahm, im Mai 2019 stand auch der Betrieb auf dem Frankfurter Flughafen aufgrund einer Drohnensichtung still. Der Grund: Kommen private Drohnen in Flughafennähe, können sie den Flugverkehr erheblich gefährden. Die Bundesregierung hat sich nun das Ziel gesetzt, die Flughäfen künftig stärker zu schützen.

### Flughöhe von bewegten und statischen Objekten bestimmen

Möglich wäre das etwa über ein neues Radargerät aus dem Fraunhofer FHR: Es kann nicht nur Boden und Luftraum gleichzeitig überwachen, sondern die detektierten Objekte auch klassifizieren – so kann es beispielsweise zwischen einer Drohne und einem Vogel unterscheiden – und ihre Position und Flughöhe bestimmen. Das Radargerät steht auf dem Boden und dreht sich in 625 Millisekunden einmal um sich selbst: Es misst also in alle Richtungen. Dazu strahlt eine Sendeantenne Radarwellen mit einer mittleren Frequenz von 94 Gigahertz aus. Zwei leicht gegeneinander gekippte Empfangsantennen ermöglichen es, die Höhe eines Objekts über Grund zu bestimmen. Fliegt die Drohne weiter oben, erhält die obere Empfangsantenne ein größeres Signal als die untere, ebenso umgekehrt. Man spricht dabei von einem Amplitudenmonopuls. Ein weiterer Vorteil des Systems: Im Gegensatz zu anderen Systemen kann es sowohl statische als auch bewegte Objekte erkennen. Es sieht die

Drohne also auch dann, wenn sie in der Luft »steht«. Da die mittlere Frequenz bei 94 Gigahertz liegt, kann sie auch kleine Strukturen sehr empfindlich detektieren.

### Vogel oder Drohne? Objekte klassifizieren

Eine weitere Besonderheit: Das System kann verschiedene Objekte voneinander unterscheiden – etwa eine Drohne von einem Vogel. Möglich wird dies, indem das System auch die Geschwindigkeitskomponenten des Signals auswertet. Während sich ein Vogel nur mit wenigen verschiedenen Geschwindigkeiten bewegt – die Fluggeschwindigkeit des Vogels, das Flattern der Flügel, vielleicht eine Bewegung des Kopfes – bewegen sich die Rotoren einer Drohne mit gänzlich anderer Geschwindigkeit. Jedes Objekt hat also seine ganz eigene Geschwindigkeitssignatur, über die man es zuordnen kann. Dies sorgt auch auf dem Boden für Schutz, etwa bei einem Feldlager. Ist es eine Person, die sich da durch gesperrtes Gelände bewegt, oder streift nur ein Fuchs umher? Als Experimentalsystem ist das Radar bereits aufgebaut, derzeit wird es für Forschungszwecke eingesetzt.

#### KONTAKT

M. Sc. Winfried Johannes

Tel. +49 228 9435-355

winfried.johannes@fhr.fraunhofer.de

## POLITISCHE KUNDGEBUNGEN? SPORTVER- ANSTALTUNGEN? DROHNE AUFSPÜREN...

Findet eine Sportveranstaltung in einem Stadion statt, gilt es nicht nur für die Sicherheit von Sportlern und Zuschauern zu sorgen, sondern auch zu vermeiden, dass die Veranstaltung für politische Äußerungen missbraucht wird – weil etwa eine Drohne samt Plakat ihre Kreise durch das Stadion zieht. Ein kompaktes, nutzerfreundliches Radarsystem des Fraunhofer FHR erkennt Kleinstdrohnen zuverlässig.

Kleine Drohnen mit Kameras sind mittlerweile auch für Laien leicht zu bedienen. Sicherheitskräfte und Polizei stellen die kleinen Flugobjekte vor Herausforderungen – schließlich könnten sie dazu genutzt werden, politische Veranstaltungen zu stören oder bei Sportveranstaltungen Statements abzugeben, indem sie Transparente oder Flaggen hinter sich herziehen. Im Projekt ORAS haben sich daher verschiedene Partner zusammengetan, mit dabei ist auch das Fraunhofer FHR. Ziel ist die Entwicklung eines Systems, das Kleinstdrohnen in einem städtischen Umfeld zuverlässig aufspürt und leicht zu bedienen ist. Als assoziierte Partner und mögliche Endnutzer sind das BKA und die Polizei BaWü mit dem Präsidium Technik, Logistik und Service der Polizei PTLs Pol mit an Bord.

### Rundumblick über »Zaunradar«

Das Fraunhofer FHR setzt dabei auf Radar – genauer gesagt auf Sensoren, die auf dem Boden stehen und nach oben schauen. Auf diese Weise können sie z. B. Häuserschluchten überwachen. Auch ist es möglich, mit den Radarsystemen eine Art Zaun aufzubauen. Dafür müssten die Sensoren etwa im Abstand von 70 Metern voneinander positioniert werden. Ein weiterer Partner ergänzt dieses »Zaunradar« um ein Domradar, das höher positioniert ist – etwa auf einem Dach – und den Himmel im Blick hält. Da dieses nicht in die Häuserschluchten hineinschauen kann, ergänzen sich die beiden

Systeme optimal. Die Besonderheit des Fraunhofer-Systems liegt vor allem in seiner kompakten Größe – es ist nicht größer als ein kleiner Schuhkarton, montiert auf einem einfachen Stativ – und in seiner leichten Handhabung. Zudem arbeitet das System in einem Frequenzbereich nahe 60 Gigahertz, der für die verwendete Leistungsklasse seit kurzem zulassungsfrei ist. Das System misst sowohl den Abstand der Drohne vom System sowie den Winkel, so dass aus diesen Daten eine einfache Bewegungstrajektorie berechnet werden kann.

In einer Messkampagne im Jahr 2019 wurde der Radarsensor unter Real-Bedingungen erfolgreich getestet: Im Trainingscenter Retten und Helfen in Moosbach, einem stillgelegten Kasernengelände mit verschiedenen Gebäuden. Nun folgen weitere Feinabstimmungen der Partner, im Sommer 2020 soll in Moosbach die Abschlussdemonstration stattfinden. Auch für andere Fragestellung rund um die Bedrohung durch Kleinstdrohnen lässt sich das System nutzen. So etwa zur Absicherung von Entwicklungsabteilungen in Betrieben – etwa wenn eine Drohne auf das Betriebsgelände fliegt.

#### GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

#### KONTAKT

Dipl.-Ing. Andries Küter

Tel. +49 228 9435-134

andries.kueter@fhr.fraunhofer.de

## RADARSYSTEME FÜR MEHR SICHERHEIT IM AUTO, FLUGZEUG, BAHN UND SCHIFF

Autos, die sich selbständig durch den dichten Verkehr schlängeln, während der Mensch sich bequem zurücklehnt und seine Zeitung liest – autonomes Fahren ist ein großer Zukunftstrend im Bereich des Verkehrs. Vom Automobilbereich vorangetrieben, dehnt sich dieser zunehmend auch auf andere Verkehrsträger aus. Ob auf Straßen, Schienen, zu Wasser oder in der Luft: Die Sicherheit ist beim autonomen Fahren elementar. Die Fahrzeuge müssen das Verkehrsgeschehen um sie herum beobachten und einschätzen können, um die jeweils gebotene Reaktion einzuleiten – etwa eine Vollbremsung, wenn ein Kind auf die Straße läuft. Radarsensoren sind für diese Aufgabe wie geschaffen: Denn anders als optische Sensoren funktionieren sie Tag und Nacht und bei jeder Wetterlage – auch im dichten Nebel. Man könnte sagen: Radar ist der Schlüsselsensor für mehr Autonomie auf Straße und Schiene, zu Wasser und in der Luft.

Das Geschäftsfeld Verkehr des Fraunhofer FHR bietet in punkto Radar eine tiefe und breit aufgestellte wissenschaftliche Expertise: Von Hochfrequenzsystemen und Signalverarbeitung über Klassifizierung von Objekten bis hin zu elektromagnetischen Simulationen. Es verfügt sowohl über eine hochwertige technische Ausstattung, die jeweils am Puls der Zeit ist, als auch über Mitarbeiter mit einem tiefgreifenden physikalischen Verständnis. Doch nicht nur das: Die Mitarbeiter sind zudem in der Mobilitätsbranche bestens bewandert und mit aktuellen Herausforderungen und Fragestellungen äußerst vertraut. Im Geschäftsfeld Verkehr können daher auch anspruchsvolle Fragestellungen gewinnbringend gelöst und individuell auf den Kunden zugeschnitten werden.

### Auf der Straße...

Schon heute werden Radarsensoren in Autos nahezu standardmäßig verbaut, um den Fahrer zu unterstützen. Auch hier hat das Geschäftsfeld Verkehr seine Expertise bereits eingebracht: So sind spezielle Radarantennen aus dem Fraunhofer FHR bereits 30 Millionen Mal in 100 verschiedenen Fahrzeugtypen verbaut. Im derzeitigen Fokus stehen vor allem die Miniaturisierung der Systeme sowie die Entwicklung konformer Antennen – also Antennen, die sich an die Geometrie des Autos anpassen und sich somit gut in den vorhandenen Bauraum einfügen lassen. Weitere aktuelle Forschungsansätze des Geschäftsfelds Verkehr befassen sich mit der Frage, wie Radarwellen mit verschiedenen Materialien interagieren. Wichtig ist das beispielsweise, wenn der Radarsensor unsichtbar

für den Nutzer hinter dem Firmenlogo oder dem Stoßfänger verbaut werden soll. In einer Testumgebung werden neu entwickelte Sensoren per Simulation auf »Herz und Nieren« überprüft. Über unsere Simulationssoftware GOPOSim lassen sich verschiedene bewegte Objekte wie Autos, Fahrräder, Fußgänger, Hunde in die verschiedenen Straßenszenen einbringen.

### ...zu Wasser, in der Luft und auf der Schiene

Momentan ist das Geschäftsfeld stark durch Anwendungen im Automotive-Bereich geprägt. Doch steigt der Autonomielevel zunehmend auch in den anderen Verkehrsbereichen – mit den entsprechenden Erfordernissen an die Sensortechnologien. Daher hat das Geschäftsfeld Verkehr auch für den Schiffs- und Flugverkehr bei der Entwicklung etlicher Radarsensoren schon wichtige Beiträge geleistet. Ein Beispiel aus dem Schiffsverkehr: Das innovative Seenotrettungssystem SEERAD, ermöglicht es, Schiffbrüchige mit einer Radar-Sendeleistung von nur 100 Watt auf sechs Kilometern zu orten – das ist Weltrekord. Im Bereich der Luftfahrt hat das Fraunhofer FHR unter anderem eine Landeassistent für Hubschrauber entwickelt. Diese unterstützt den Piloten beim Landemanöver, wenn aufgewirbelter Staub die Sicht vernebelt.

Was die Aktivitäten im Schienenverkehr angeht, so sollen diese künftig weiter ausgebaut werden – denn hier sind auf dem Markt noch kaum Lösungen verfügbar. Diese Lücke möchte das Geschäftsfeld Verkehr schließen. Anwendungen für Radarsysteme im Schienenverkehr gibt es zahlreiche: So könnten die Sensoren etwa die Gleisbette analysieren, Risse in Tunnelwänden detektieren, Spurweiten vermessen und ähnliche Fragestellungen adressieren.

- **Autonomes Fahren ist ein großer Zukunftstrend, der ausgehend von der Straße zunehmend auf den Schienen- und Schiffsverkehr sowie die Luftfahrt übergreift.**
- **Radar ist der Schlüsselsensor für mehr Autonomie auf Straße und Schiene, zu Wasser und in der Luft. Denn die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer muss jederzeit gewährleistet sein.**
- **Das Geschäftsfeld Verkehr bietet rund um das Radar eine tiefe und breit aufgestellte wissenschaftliche Expertise, erweitert um die Kenntnisse der Branche.**



Kontakt:  
Geschäftsfeldsprecher Verkehr

Dr.-Ing.  
**ANDREAS DANKLMAYER**

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



Einkanaliger Radarzielsimulator (oben) und künstlerische Darstellung des im Aufbau befindlichen mehrkanaligen Radarzielsimulators (unten).

## »SELBSTFAHRENDE« AUTOS: SO KOMMEN SIE SICHER AUF DIE STRASSE

Langfristig, so vermuten viele Experten, könnten Autos selbständig durch die Straßen fahren. Allerdings erfordert dies die nötigen Sicherheitstechnologien – unter anderem Radarsensoren. Diese müssen zunächst auf mehreren Millionen Kilometern getestet werden, ein kaum zu stemmender Aufwand. Mit einem Radarzielsimulator lassen sich solche Tests erheblich einfacher und kostengünstiger durchführen.

Moderne Autos verfügen bereits heute über Radarsensoren, meist sind sie unter dem Firmenlogo oder im Stoßfänger verbaut. Hier sorgen sie für eine automatische Kollisions- oder Abstandskontrolle, so bremst das Auto im Tempomat-Betrieb etwa automatisch ab, wenn der Vordermann langsamer fährt. Bei autonom fahrenden Autos soll der Fahrer nicht nur unterstützt werden, sondern sich gänzlich anderen Dingen widmen können, während das Auto sich selbstständig zum Ziel bewegt. Die Radarsensoren, die dafür nötig sind, müssen jedoch deutlich strengere Rahmenbedingungen erfüllen: Bei mehreren Millionen gefahrenen Kilometern darf nur ein einziger Fehler auftreten. Bislang werden solche Radarsensoren getestet, indem sie in Autos verbaut und auf die Straße gebracht werden – ein extrem aufwändiges Prozedere.

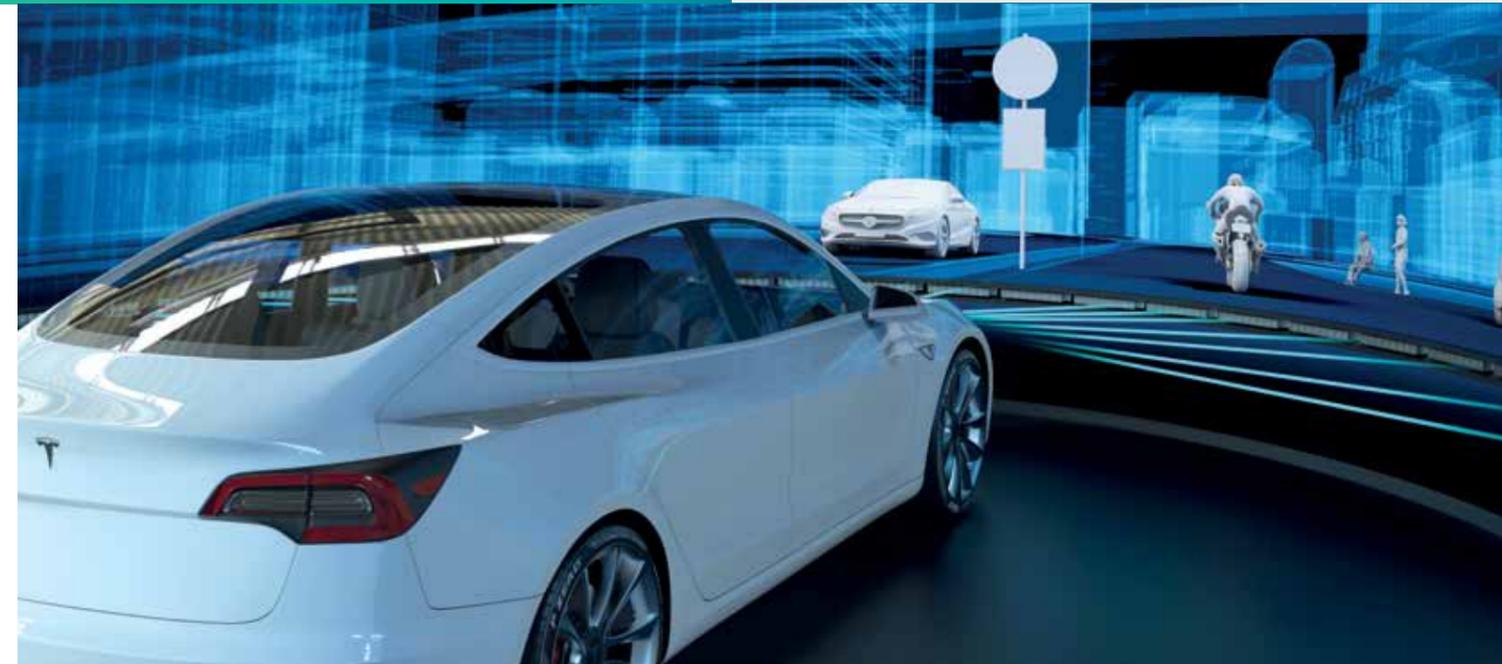
### Schnellere und kostengünstigere Tests

Die virtuelle Testumgebung »Automobile Testumgebung für Radar *In-the-loop* Untersuchungen und Messungen«, kurz ATRIUM, soll dies ändern – entwickelt wird sie am Fraunhofer FHR. Für die Tests wird kein Fahrer mehr benötigt, sie können daher erheblich schneller und kostengünstiger durchgeführt werden. Auch lassen sich wesentlich mehr Szenarien testen, und die Radarsysteme können bereits während ihrer Entwicklung unter realistischen Bedingungen überprüft werden. Das Prinzip: Radarsensoren strahlen während der

Autofahrt Radarsignale aus, die an Objekten in der Umgebung – seien es Autos, Bäume oder Menschen – zum Radarsensor zurückreflektiert werden, man spricht dabei auch vom Echo. Aus diesen Echos lassen sich Entfernung, Geschwindigkeit und Richtung jedes Objekts errechnen. Der Radarzielsimulator des Fraunhofer FHR erzeugt diese Echos nun künstlich: Er empfängt die Radarsignale des zu testenden Sensors, ändert sie entsprechend und schickt sie wieder zurück. Der Simulator gaukelt dem Radarsensor also eine Fahrt durch eine virtuelle Umgebung vor, während tatsächlich alle Teile statisch im Labor stehen. Diese virtuelle Umgebung kann ebenso wie die reale Welt Autos, Menschen, Häuser und ähnliches umfassen.

### Bis zu 300 Echos sind möglich

Das derzeitige System kann 16 Echosignale erzeugen, in dieser Version wurde es 2019 bereits auf der Messe *Automotive Testing Expo Europe* in Stuttgart vorgestellt. Es besteht aus einem Sender und einem Empfänger und ist somit einkanalig. Die Objekte können daher entlang einer Richtung simuliert werden, für verschiedene Entfernungen und Geschwindigkeiten. Um Autos, Personen und Co. möglichst realistisch darzustellen, werden pro Objekt mehrere Streuzentren genutzt: Denn bei einem Auto beispielsweise reflektieren die Stoßfänger, die Räder, die Radkästen und andere Komponenten auf ihre jeweils ganz eigene Weise.



Momentan wird daran gearbeitet, den Sendeteil von ATRIUM, der bisher zugekauft wurde, durch ein hauseigenes Design zu ersetzen. Dann soll es mit entsprechenden Signalverarbeitungsverfahren möglich sein, eine wesentlich höhere Anzahl an Reflektionen zu generieren – statt 16 Echosignalen sollen es über 100 werden – und das Szenario damit noch realistischer wirken zu lassen. In einem dritten Schritt, der bis Ende 2020 abgeschlossen sein soll, werden diese Sender mehrfach aufgebaut. Durch geschickte Anordnung können sie aus verschiedenen Richtungen und Winkeln Echosignale erzeugen, insgesamt weit über einhundert. Virtuell heißt das: Die Fahrzeuge und Personen bewegen sich aus verschiedenen Richtungen auf das zu testende System zu oder von ihm weg.

### Workflow für die Simulationen

So viele Szenarien und Simulationssignale zu erzeugen, geht mit einem großen Aufwand einher. Ein bereits funktionierender Workflow kann dies erheblich vereinfachen: Speist man CAD-Modelle von Autos und anderen Objekten sowie die Bewegungstrajektorien – also die Bewegung der Objekte über

die Zeit gesehen – dort ein, berechnet das Simulationsprogramm die jeweils auftretenden Reflektionen. Ein Algorithmus verarbeitet diese Liste weiter und errechnet die Parameter, die der Radarzielsimulator braucht. Mit Hilfe dieses Workflows wird derzeit ein Szenarienkatalog erstellt, in dem relevante Szenarien hinterlegt sind.

### KONTAKT

Dr.-Ing. Thomas Dallmann  
+49 241 80-22271  
thomas.dallmann@fhr.fraunhofer.de

Bei einem Praxistest auf der Ostsee zeigte das System bereits, was es konnte: Der Dummy, der über Bord ging, konnte bis zu sechs Kilometer weit geortet werden.



## SCHIFFBRÜCHIGE ZUVERLÄSSIG AUFSPÜREN – MIT EINEM NEUARTIGEN RADARSYSTEM

Der Wind tost, die Wellen türmen sich zu hohen Bergen. Geht bei einem solchen Sturm jemand über Bord, verliert die Crew ihn schnell aus den Augen. Auch das konventionelle Navigationsradar hilft wenig. Ein neuartiges Radarsystem kann Ertrinkende dagegen zuverlässig orten und so künftig bei ihrer Rettung helfen. Ein erster Praxistest war äußerst vielversprechend, doch bis zum routinemäßigen Einsatz ist noch viel Forschungsarbeit nötig.

Geht ein Mensch auf hoher See über Bord, kann die Besatzung ihn zwischen den hohen Wellenbergen schwer wiederfinden. Auch das Schiffsradar bietet nur mäßige Hilfe: Denn die Wellen reflektieren die ausgesendeten Radarsignale auf ähnliche Weise wie eine Person dies tun würde – Wellen und Menschen liefern also nahezu das gleiche Echo.

### Schiffbrüchige bis zu sechs Kilometer weit aufspüren

Nicht so jedoch beim neuartigen System SEERAD: Mit ihm lassen sich Personen oder kleine Rettungsboote selbst in großer Entfernung aufspüren. Entwickelt wurde es vom Institut für Mikrowellen und Plasmatechnik der FH Aachen, dem Fraunhofer FHR und der Firma Raytheon Anschütz GmbH. Dazu nutzt SEERAD folgenden Trick: Üblicherweise werden die Radarsignale am Wasser bzw. der Person so reflektiert, dass die Frequenz des Signals gleich bleibt. Befestigt man jedoch einen Transponder an der Schwimmweste, der das Signal mit geänderter Frequenz wieder zurückschickt, lassen sich die Echos von Wellen und Person unterscheiden. Auf dem Schiff sind dazu zwei Antennen nötig: Eine für das übliche Radar und eine zweite für das Echo des Transponders. Gelangt ein Transpondersignal zum Schiff, weiß die Rettungsscrew: Hier ist jemand in Not. Sämtliche Antennen wurden am Fraunhofer FHR entwickelt – die beiden Antennen auf dem Schiff sind zusammen nicht größer als eine herkömmliche Schiffsradaran-

tenne, die im Transponder sind zudem seetauglich und halten den starken Belastungen durch die Wellen stand.

Ein Testlauf auf der Ostsee zeigte: Das System ist vielversprechend. Hatte der Dummy, der »über Bord« ging, einen passiven Transponder – ohne Batterie – an seiner Schwimmweste, konnte er bis zu 600 Meter weit geortet werden. Mit einem aktiven, batteriebetriebenen Transponder konnte der »Ertrinkende« sogar auf einer Distanz von sechs Kilometern mit einer Sendeleistung von nur 100 Watt aufgespürt werden. Zum Vergleich: Bisher überblickten harmonische Radarsysteme rund einen Kilometer, wozu allerdings eine Sendeleistung von 1000 Watt nötig war.

### Noch viel Forschungsarbeit nötig

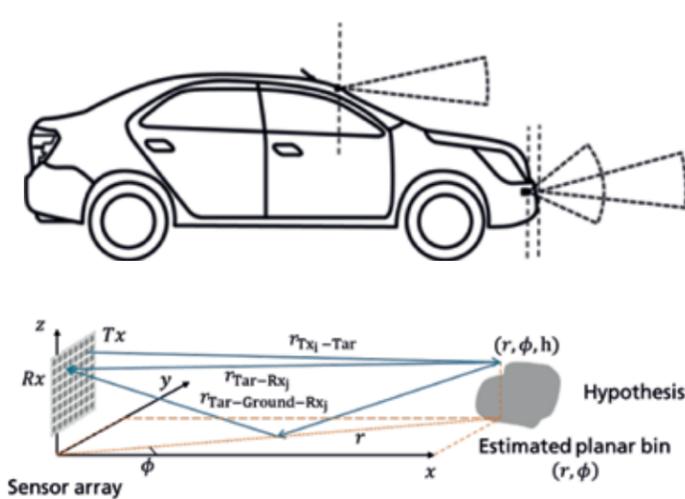
Bis zu einem routinemäßigen Einsatz in der Seenotrettung ist jedoch noch viel Forschungsarbeit vonnöten: Es gilt, das System in die Schiffsnavigationssysteme zu integrieren, Störungen zu minimieren und sicherzustellen, dass das System auch dauerhaft unter rauen Seebedingungen funktioniert.

#### KONTAKT

Dr.-Ing. Thomas Bertuch

Tel. +49 228 9435-561

thomas.bertuch@fhr.fraunhofer.de



Aufbau des Radar Arrays und Multipath-Modell zur Bestimmung der Hindernishöhe.

## AUTONOMES FAHREN: HINDERNISSE ERKENNEN UND IHRE HÖHE ANALYSIEREN

Sollen langfristig vermehrt fahrerlose Autos über die Straßen rollen, sind zuverlässige Sicherheitstechnologien gefragt. Wichtig ist vor allem die Erkennung von Hindernissen auf und an den Straßen. Lösen könnte diese Aufgabe ein Radarsystem: Es vermag selbst kleine Hindernisse in Entfernungen von 80 bis 150 Metern zu erkennen und deren Höhe zu bestimmen.

Ein Ball rollt auf die Straße, ein totes Tier liegt auf der Fahrbahn, eine Person überquert die Straße. Was ein menschlicher Fahrer mühelos erkennt, muss die Technik erst aufwändig lernen. So auch bei autonom fahrenden Autos: Im Zuge der Sicherheit müssen sie Hindernisse auf, neben und über der Straße zuverlässig identifizieren können. Bislang konnten entsprechende Systeme kleine Hindernisse jedoch erst aus etwa 10 bis 20 Meter Entfernung erkennen – was jedoch zu spät für einen Spurwechsel oder eine Vollbremsung sein kann.

### Bis zu zehn Zentimeter kleine Objekte aus bis zu 150 Metern erkennen

Eine radarbasierte Lösung aus dem Fraunhofer FHR könnte autonom fahrenden Autos künftig mehr Voraussicht verleihen: 10 bis 30 Zentimeter große Objekte erkennt sie bereits in 80 bis 150 Metern Entfernung. Auch die Höhe der Objekte kann sie auf bis zu fünf Zentimeter genau bestimmen. Entwickelt wurde das System im Auftrag von Audi. Das Prinzip: Im Auto werden kleine Radargeräte integriert, die Radarsignale aussenden. Diese werden von Hindernissen und der Straße zum Teil in den Radarsensor zurückreflektiert und dort ausgewertet. Drei geschickte Schachzüge erlauben, kleine Objekte auf große Distanz zu analysieren. Erstens setzt das System auf einen 2D-Antennenarray aus mehreren Antennen, die in unterschiedlicher Höhe angebracht sind. Zweitens analysiert es

sowohl Phase als auch Amplitude entlang der gesamten untersuchten Fahrbahnlänge. Vereinfacht kann man sagen, dass die Amplitudenauswertung dabei hilft, die Größe des Objekts grob zu bestimmen, während die Phase für eine bessere Auflösung sorgt. Der dritte Clou liegt darin, Mehrweginformationen auszunutzen: Dabei wird nicht nur das Radarsignal analysiert, das vom Objekt selbst reflektiert wird, sondern auch solche, die z. B. erst von der Straße und dann vom Objekt reflektiert werden. Die Datenfusion erlaubt nicht nur, diese unterschiedlichen Signale miteinander zu kombinieren, sondern fusioniert auch Informationen von Mehrfach-Sensoren.

In verschiedenen Computersimulationen realistischer Szenarien konnte bereits gezeigt werden, dass das System grundsätzlich funktioniert und die Leistung herkömmlicher Methoden verbessert. Für 2020 sind erste Praxistests geplant, bei denen ein vorläufiges Radarsystem an einem Auto montiert und auf seine Tauglichkeit geprüft werden soll. Laufen diese Tests erfolgreich, könnte der nächste Schritt im Bau eines Prototyps bestehen.

#### KONTAKT

Dr. rer. nat. María A. González-Huici

Tel. +49 228 9435-708

maria.gonzalez@fhr.fraunhofer.de



- Radarsensoren können Produktionsprozesse auch dort überwachen, wo optische Systeme an ihre Grenzen stoßen: Etwa in Walzwerken, wo sehr hohe Temperaturen herrschen und viel Dampf und Schlacke entsteht.
- Darüber hinaus bieten Radarsensoren die Möglichkeit, Produkte zerstörungsfrei zu untersuchen – sei es in der Lebensmittelkontrolle, bei Kunststoffbauteilen aller Art oder bei Verbundwerkstoffen.
- Das Geschäftsfeld Produktion bietet die nötige Kompetenz sowie die technische Ausstattung, um individuelle Fragestellungen von Industriepartnern zum Erfolg zu führen.

## PRODUKTIONSPROZESSE STETS IM BLICK

Läuft bei Produktionsprozessen in der Industrie etwas schief, zieht das schnell hohe Kosten nach sich. Unternehmen haben daher ein großes Interesse daran, ihre Produktionsprozesse zu überwachen. Während sich einige Fragestellungen bereits durch Kamera- oder Lasersysteme zufriedenstellend beantworten lassen, erfordern andere Produktionsverläufe Sensoren, deren Fähigkeiten über die der optischen Systeme hinausgehen. Hier bieten sich Radarsensoren an: Sie können nicht nur unter schwierigen Umweltbedingungen messen, in denen etwa die Sicht eingeschränkt ist, sondern auch durch dielektrische Materialien hindurchschauen und dort Fehler aufspüren. Das Geschäftsfeld Produktion des Fraunhofer FHR bietet bei allen Fragestellungen rund um Radar die nötigen Kompetenzen.

### Produktionsprozesse bei Metallen prüfen

Ein interessanter Anwendungsbereich von Radarsystemen sind Walzwerke in der Stahlindustrie. Dort werden 800 bis 1.000 Grad heiße Stahlbrammen zu Blechen ausgewalzt. Die Herausforderung dabei: Um im Produktionsprozess entstehenden Zunder abzutrennen, werden die Brammen mit Wasser besprüht – der Wasserdampf, der dabei aufsteigt, erschwert den Einsatz optischer Messsysteme. Anders bei den Radarsystemen, genauer gesagt Millimeterwellensystemen: Sie können diese Aufgabe hervorragend bewältigen, wie verschiedene Projekte des Geschäftsfelds Produktion zeigen. Generell gilt bei Produktionsprozessen: Je früher Defekte erkannt werden, desto kostengünstiger lassen sie sich beheben. Hat beispielsweise eine Autotür eine Delle, lässt sie sich anfangs einfach aussortieren. Entlang der Wertschöpfungskette kostet hier jeder zusätzliche Produktionsschritt bares Geld. Oft werden die Bleche, aus denen Autotüren werden sollen, noch über Sichtkontrolle auf Defekte überprüft. Eine Machbarkeitsstudie des Geschäftsfelds Produktion ergab jedoch: Mit einem Millimeterwellensensor lassen sich auch kleinste Kratzer zuverlässig detektieren. Langfristig ließe sich auf diese Weise sogar eine 100-Prozent-Kontrolle realisieren.

### Zerstörungsfreie Prüfung für Lebensmittel, Kunst- und Verbundstoffe

Mitunter ist es sinnvoll, nicht nur oberflächlich auf die Produkte zu schauen wie bei einer metallischen Autotür, sondern einen Blick in sie hineinzuworfen – und zwar so, dass

die Objekte dabei nicht zerstört werden. Auch dies ermöglicht Radar, zumindest bei dielektrischen Materialien. Einer der Anwendungsbereiche ist die Lebensmittelprüfung: Hier geht es darum, Fremdstoffe aufzuspüren, die im Produktionsprozess versehentlich in das Lebensmittel geraten sind. Vielversprechend ist Radar zudem bei der zerstörungsfreien Prüfung von additiv gefertigten Komponenten, also Kunststoffteilen aus dem 3D-Drucker. Auch während der Lebensspanne eines Produkts bieten Prüfungen mittels Radar Vorteile. Etwa bei Verbundwerkstoffen, wie sie für die Blätter von Windanlagen eingesetzt werden.

### Blick in die Zukunft: Smart Factory und additive Fertigung

Wie sieht die Produktion der Zukunft aus? Eine mögliche Vision besteht in der Smart Factory, in der sowohl die Zulieferung von Bauteilen als auch die Produktion intelligent und autonom verläuft. Alle Autonomie fängt jedoch mit den Sensoren an: Hier bietet das Geschäftsfeld Produktion die nötige Kompetenz. Auch bei sicherheitskritischen Aspekten wie der Maschinenabsicherung kann das Geschäftsfeld Produktion individuelle Lösungen entwickeln.

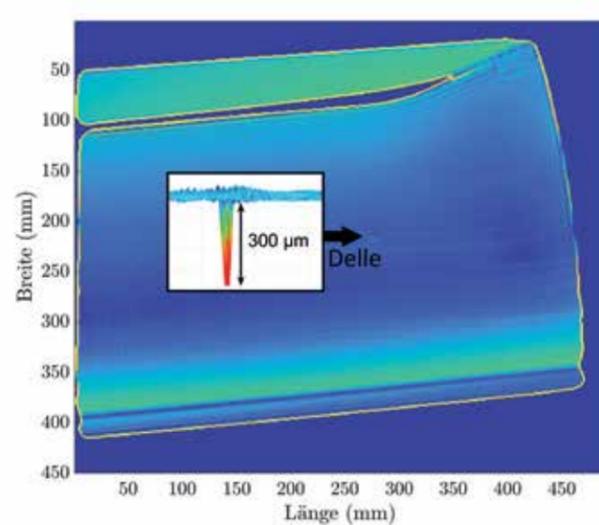
Ein Zukunftstrend ist auch die additive Fertigung, bei der Bauteile im 3D-Drucker gefertigt werden. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise Antennen drucken oder Bauteilkonzepte realisieren, die so vorher nicht herstellbar waren. Gemeinsam mit der Hochfrequenztechnik eröffnet die additive Fertigung zahlreiche neue Anwendungsfelder: So könnten die Antennen etwa direkt in funktionale Bauteile der Produktionsmaschine integriert werden, indem das Bauteil dort, wo es von der Radarwelle durchdrungen wird, wie eine Antenne funktioniert.



Kontakt:  
Geschäftsfeldsprecher Produktion

**DANIEL BEHRENDT**  
Tel. +49 151 120 101 64  
daniel.behrendt@fhr.fraunhofer.de

Rekonstruierte Oberfläche eines Karosserieteils was mittels 80 GHz-Radar auf Defekte untersucht wird.



## QUALITÄTSKONTROLLE IN DER PRODUKTION: RADARBASIERTE OBERFLÄCHENABBILDUNG

Sind bei der Produktion Defekte aufgetreten? Diese Frage lässt sich bei metallischen Bauteilen schwer beantworten – es haperte bislang am geeigneten Messsystem. Ein neuartiges Verfahren basierend auf Radarbildgebung kann diese Lücke künftig schließen: Es treten keine Blendeffekte auf, die Genauigkeit liegt im Mikrometerbereich, und es können sogar ganze Stahlbrammen auf einmal untersucht werden.

Qualitätskontrolle wird in der industriellen Produktion großgeschrieben: Sind beispielsweise Werkzeuge abgenutzt, kann es schnell zu Defekten in Bauteilen kommen – und somit zu Ausschussware. Insbesondere bei metallischen Oberflächen ist eine solche Produktkontrolle jedoch alles andere als leicht: Bei optischen Methoden treten Blendeffekte auf, interferometrische Systeme können nur kleinste Flächen untersuchen.

### Hohe Messgenauigkeit, große Messbereiche

Ein neuartiges Radarbildgebungsverfahren aus dem Fraunhofer FHR vereint eine hohe Messgenauigkeit mit der Möglichkeit, große Messbereiche zu untersuchen – abhängig von der Systemauslegung können selbst ganze Autos oder gar Fabrikanlagen untersucht werden. Der Clou des neuen Verfahrens liegt jedoch in seiner Genauigkeit: Während übliche Methoden in diesem Frequenzbereich bisher nur auf eine Genauigkeit von einigen Millimetern im Raum kommen – also einige Millimeter große Strukturen sichtbar machen können – unterscheidet das neue Verfahren sogar noch mikrometergroße Strukturen. Dieser Sprung in der Auflösung ist gelungen, indem nicht nur der Betrag des Signals ausgewertet wird, sondern auch seine Phase.

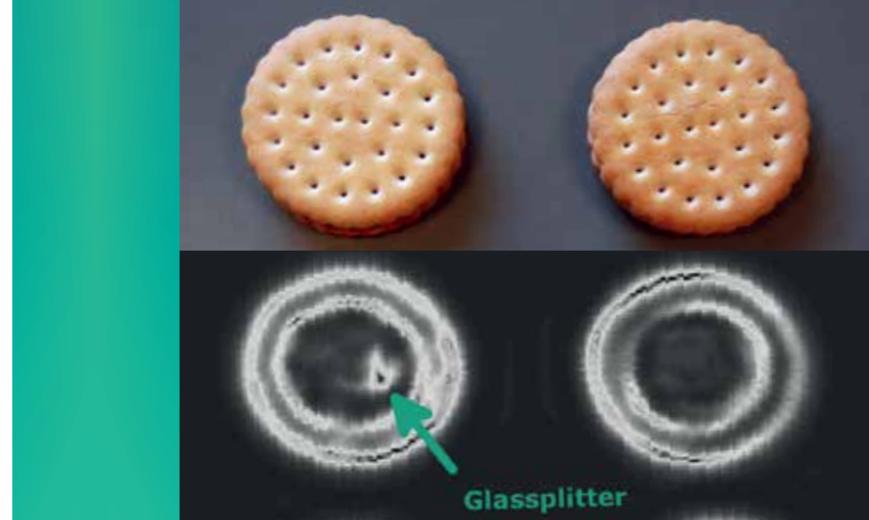
Der Algorithmus des Sensors ist für verschiedene Anwendungen geeignet. Ein Beispiel ist das NRW-Leitmarktprojekt

FiberRadar. Auf einem Roboterarm erstellt das System dreidimensionale Bilder von Faserverbundplatten, wie sie für Windradblätter oder im Flugzeugbau eingesetzt werden. Auf diese Weise lassen sich die Gießprozesse und die Faserausrichtung optimieren. Während man mit Infrarotstrahlern lediglich zwei Zentimeter tief ins Material schauen kann, dringen die Radarstrahlen mehrere Zentimeter tief in das Material ein. Ein Ultrabreitband-Radar liefert sogar Informationen bis in eine Tiefe von 20 bis 30 cm, allerdings geht dies auf Kosten der Auflösung. Die Abbildungsgenauigkeit bleibt dabei gleichbleibend hoch.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist das NRW-Leitmarktprojekt ASRA: Ein Radarsensormodul soll Stahlbrammen mit einer geplanten Geschwindigkeit von bis zu 10 Meter pro Sekunde überprüfen – momentan gibt es noch keine Technologie, mit der dies möglich wäre. Im Verlauf des Projekts soll ein modulares Sensormodul-Konzept entwickelt werden. Es wird aus 192 Sendern und 192 Empfängern bestehen – dann sollen bis zu 1000 Messungen pro Sekunde möglich sein.

### KONTAKT

Dr. rer. nat. André Froehly  
Tel. +49 228 9435-79001  
andre.froehly@fhr.fraunhofer.de



Ist bei der Produktion versehentlich etwas in die Doppelkekse (oben) geraten, was nicht hinein gehört? Im Radarbild (unten) lässt sich ein zuvor in der Schokocreme platzierter Glassplitter erkennen.

## FREMDKÖRPER IN LEBENSMITTELN VIA RADAR AUFSPÜREN

Geraten Fremdkörper wie Glassplitter in Lebensmittel, kann das eine große Gefahr darstellen. Die etablierten Röntgenverfahren erkennen vor allem Metalle – Glas, Kunststoff und Holz stellen eine Herausforderung dar. Radarsysteme sind daher eine sinnvolle Ergänzung: Der Prototyp SAMMI® konnte bereits Glassplitter in Doppelkeksen und fehlende Schokostückchen in Adventskalendern nachweisen.

Immer wieder einmal müssen Lebensmittel zurückgerufen werden, weil bei der Produktion versehentlich Glassplitter, Metallspäne, Holzsplitter oder Kunststoffteile hineingeraten sind. Zwar untersuchen Hersteller ihre Produkte bereits mit Röntgengeräten auf solche Fremdkörper. Doch hat dieses Verfahren es bei Kunststoffen, Holz und Glas oft schwer. Millimeterwellen können diese Lücke schließen und das etablierte Röntgenverfahren optimal ergänzen. Zwar kann das Radarsignal Metalle wie Alufolie nicht durchleuchten – wofür sich wiederum Röntgenstrahlen eignen – dafür vermag es andere Fremdkörper zuverlässig aufzuspüren. Zudem ist es gesundheitlich unbedenklich.

### SAMMI® erkennt Glassplitter

Ein entsprechender Prototyp namens SAMMI® wurde am Fraunhofer FHR entwickelt. Das zu untersuchende Lebensmittel wird dabei auf ein Band gelegt und durch das Gerät befördert. Oberhalb des Bandes rotiert die Sendeantenne, unterhalb die Empfangsantenne. Mit dem 40 x 40 x 30 Zentimeter großen Gerät lassen sich bis zu 30 x 30 x 5 Zentimeter große Lebensmittel untersuchen. Rein technologisch gibt es hier jedoch keine Grenze. Erste Machbarkeitsstudien sind bereits gelaufen: So wurde beispielsweise ein zuvor in der Schokomasse eines Doppelkeks positionierter Glassplitter zuverlässig erkannt. Auch ein Adventskalender wurde erfolgreich

untersucht: In der Radaraufnahme war gut zu erkennen, dass drei Schokostückchen fehlten, alle weiteren jedoch enthalten und richtig positioniert waren. In einem weiteren Schritt sollen nun Untersuchungsgeschwindigkeit und Genauigkeit weiter verbessert werden.

Die Technologie eignet sich nicht nur zur Lebensmittelkontrolle. So bietet das System unter anderem bei der zerstörungsfreien Produktprüfung Vorteile: Bei der Untersuchung eines Adventskalenders lässt sich beispielsweise erkennen, ob die Klebepunkte, die den Kalender zusammenhalten, dick genug aufgetragen wurden. Für die Kontrolle von Briefen und kleineren Paketsendungen wird das System von der Firma Hübner Photonics bereits unter dem Namen T-SENSE® vermarktet.

### KONTAKT

Daniel Behrendt  
Tel. +49 151 120 101 64  
daniel.behrendt@fhr.fraunhofer.de

## RADAR: FÜR MENSCH UND UMWELT

Radartechnologie wird immer kleiner und preiswerter – und erreicht mittlerweile einen Miniaturisierungsgrad, der sie zunehmend an den Menschen heranrücken lässt. Doch wo macht der Einsatz von Radar rund um den Menschen Sinn? Generell überall dort, wo es um die Messung geometrischer und kinematischer Größen geht, sprich wo Form und die Bewegung eines Objekts analysiert werden sollen.

### Radarsystem werden zunehmend kleiner und kostengünstiger und rücken somit deutlich näher an den Menschen heran.

Ein Beispiel ist die Überprüfung von Vitalparametern, also der Atmung und der Pulsfrequenz. Dabei misst man mit dem Radar die Bewegung des Brustkorbs und schließt daraus auf die Atemfrequenz, aus der Hautbewegung leitet man entsprechend die Pulsfrequenz ab – und zwar, wie bei den Scannern am Flughafen, durch die Kleidung hindurch. Sinnvoll ist das unter anderem bei Neugeborenen in den Kliniken. Erstens bietet der kleine Körper nicht viel Platz für Sensoren, zweitens ist es für Angehörige irritierend, wenn das winzige Lebewesen verkabelt wird. Weitere Anwendungen erschließen sich im Bereich der Altenpflege, der Schlaflabore oder auch der Fitness. Was die Signalverarbeitung angeht, so ist in diesem attraktiven Feld noch viel Forschungsarbeit vonnöten. Für solche Herausforderungen ist das Fraunhofer FHR als eines der führenden Radarinstitute in Europa bestens aufgestellt. Auch für andere Fragestellungen rund um den Menschen ist Radar gut geeignet. Etwa zur Bewegungsanalyse, sei es die Ganganalyse im Sport oder in einer Reha. Beispielsweise forschen die Mitarbeitenden des Geschäftsfelds Mensch und Umwelt gemeinsam mit Partnern an der Frage, wie sich Schonhaltungen nach einem Unfall erkennen lassen.

### Radarsystem werden zunehmend kleiner und kostengünstiger und rücken somit deutlich näher an den Menschen heran.

- **Radarsystem werden zunehmend kleiner und kostengünstiger und rücken somit deutlich näher an den Menschen heran.**
- **Eine der Möglichkeiten, die sich hier bieten: Radar kann, durch die Kleidung hindurch, Atmung und Pulsfrequenz von Personen bestimmen – sei es im medizinischen Bereich, bei der Fitness oder der Altenpflege.**
- **Radar ermöglicht zudem berührungslose Mensch-Maschine-Kommunikation in Umgebungen, in denen optische Systeme an ihre Grenzen kommen.**
- **Auch im Bereich der Umwelt bietet Radar viele Vorteile, etwa bei der Effizienzsteigerung in der Landwirtschaft.**
- **Das Geschäftsfeld Mensch und Umwelt bietet in all diesen Bereich die nötigen Kompetenzen.**

das vor allem in Bereichen, wo textildurchdringende Gesten angebracht sind oder wo das Arbeitsumfeld z. B. von Dunst und Dampf geprägt ist. Das Geschäftsfeld Mensch und Umwelt ist mit seinen Kompetenzen optimal aufgestellt, um diesem Trend gerecht zu werden und Unternehmen individuell zu unterstützen.

### Radarsystem werden zunehmend kleiner und kostengünstiger und rücken somit deutlich näher an den Menschen heran.

Unter dem Begriff *precision farming* soll mit modernen Technologien die Effizienz der Landwirtschaft gesteigert werden. Radar ist für diese Aufgabe wie geschaffen: Es ist unschädlich für Mensch, Tier und Pflanze und ermöglicht nicht nur Abbildungen der Blätter und Stängel, sondern auch Untersuchungen der Wurzeln. Es erlaubt somit Pflanzen durchdringende Analysen. In diesem Bereich laufen im Geschäftsfeld Mensch und Umwelt bereits Vorarbeiten. Im Zuge des Klimawandels werden auch das Wetterradar und die darauf basierenden Wetterprognosen zunehmend wichtiger. Zwar sind dies etablierte Techniken, jedoch besteht noch viel Verbesserungsbedarf. Auch hierzu verfolgt das Geschäftsfeld Mensch und Umwelt viele Ideen – denn die Techniksprünge, die im Bereich Radar erzielt werden konnten, lassen sich auch für das Wetterradar nutzen. Es ist daher geplant, die Kompetenzen im Bereich Wetterradar weiter auszubauen.

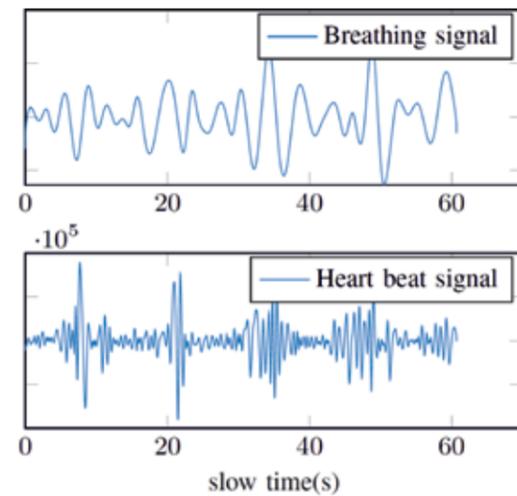
In den Bereich der Umwelt fällt auch eine rot-blinkende Warnlampe, die an Windkraftanlagen befestigt ist und Flugzeugpiloten warnen soll. In vielen Gegenden sind Flugzeuge jedoch die Ausnahme. Das im Geschäftsfeld Mensch und Umwelt entwickelte Radar ParaSol erkennt sich nähernde Flugzeuge und ermöglicht es, das Blinklicht nur bei Bedarf einzuschalten. Das System ist von der Deutschen Flugsicherung bereits zugelassen.

Radarsystem werden zunehmend kleiner und kostengünstiger und rücken somit deutlich näher an den Menschen heran.



Kontakt:  
Geschäftsfeldsprecher  
Mensch und Umwelt  
**Prof. Dr. rer. nat.**  
**JENS BONGARTZ**  
Tel. +49 2642 932-427  
bongartz@hs-koblenz.de

Mittels MIMO-Radar über mehrere Meter Distanz gemessene Atem- und Pulssignale einer laufenden Person.



## VERSCHÜTTETE GROSSFLÄCHIG UND SCHNELL AUFSPÜREN: PER MOBILEM RADAR-GERÄT

Sei es bei Lawinen, sei es bei Häusereinstürzen: Verschüttete müssen schnellstmöglich geborgen werden. Radargeräte können bei der Suche helfen. Bislang konnten sie allerdings nur kleine Bereiche auf Lebenszeichen analysieren. Neuartige, mobile Geräte lassen sich dagegen von Helfern tragen oder aber auf Drohnen befestigen – und könnten langfristig auf diese Weise auch hektargroße Bereiche abdecken.

Verschüttete unter Trümmerteilen zu finden, ist schwierig. Doch die Zeit drängt, wenn man Lebende bergen will. Radar kann hier eine große Hilfe sein: Bislang lassen sich die Geräte jedoch nur stationär betreiben. Das System wird also an einer Stelle aufgestellt und kann von dort aus – je nach Radar – etwa zwanzig oder dreißig Meter weit schauen.

### Pulsfrequenz auf ein Prozent genau messbar

Eine Technologie des Fraunhofer FHR kann die Abdeckung solcher Radargeräte deutlich vergrößern. Möglich macht es ein mobiles Radargerät. Künftig könnten es Rettungskräfte über das Trümmerfeld tragen, oder eine Drohne fliegt mit dem Radargerät bepackt die Unglücksstelle ab. Auf diese Weise würden sich auch hektargroße Bereiche effektiv und schnell durchsuchen lassen. Das Radargerät erkennt dabei Puls- und Atemfrequenz der Verschütteten und trennt diese von Arm- oder Beinbewegungen. Und das mit hoher Genauigkeit: Die Pulsfrequenz beispielsweise misst es auf 1% genau, wie der Vergleich mit tragbaren Pulsgeräten ergab.

Die Technologie lässt sich auch umgekehrt anwenden: Stellt man das Gerät an eine feste Stelle, lassen sich die Lebenszeichen von Menschen detektieren, die sich im Umkreis des Geräts bewegen. Sinnvoll kann das etwa bei zahlreichen Verletzten sein, die z. B. in einer Turnhalle erstversorgt werden.

Über das Radargerät lassen sich die Lebenszeichen aufzeichnen und den jeweiligen Verletzten zuordnen. Wer braucht die Hilfe am dringendsten? Der Algorithmus schaut dabei vor allem nach Veränderungen: Flimmert das Herz? Atmet der Patient sehr schnell? Die Vitalparameter sind richtungsabhängig: Dreht sich eine Person um, wirkt sich dies auf ihren Atem aus. Der Rhythmus ändert sich, zudem überlagern sich Atemsignal und Bewegung. Der Algorithmus kann diese Signale auseinanderrechnen und getrennt darstellen.

Der erste Algorithmus ist einsatzbereit, mit einer im Abstand von bis zu 15 Metern vorbeilaufenden Person wurde das System bereits erfolgreich getestet. In weiteren Schritten kann das System an verschiedene Situationen angepasst werden. Eine solche wäre neben dem Rettungswesen etwa das autonome Fahren. Elementar für die Sicherheit ist dabei, dass das Fahrzeug zwischen lebenden Wesen und anderen Hindernissen unterscheiden kann – für ein Kind, das auf die Straße rennt, ist ein anderes Ausweichmanöver vonnöten als für einen auf die Straße kullernden Ball. Auch für solche Fragestellungen ist das mobile Radar wie geschaffen.

### KONTAKT

**Dr.-Ing. Reinhold Herschel**

Tel. +49 228 9435-582

reinhold.herschel@fhr.fraunhofer.de

# ANHANG

# AUSBILDUNG UND LEHRE

## Vorlesungen

### WS 2018/2019

**Bathelt, Andreas:** »Digitale Regelungstechnik+ Advanced Control«, TH Köln

**Bertuch, Thomas:** »Antennen und Wellenausbreitung«, FH Aachen

**Brüggewirth, Stefan:** »Kognitive Sensorik«, Ruhr- Uni-Bochum

**Brüggewirth, Stefan:** »Cognitive Sensoric«, Uni Siegen

**Caris, Michael:** »Physikalisches Praktikum«, HS Bonn-Rhein-Sieg

**Cerutti-Maori, Delphine:** »Signal Processing for Radar and Imaging Radar«, RWTH Aachen

**Heberling, Dirk:** »High Frequency Technology - Passive RF Components«, RWTH Aachen

**Heberling, Dirk:** »Moderne Kommunikationstechnik - EMV für Mensch und Gerät«, RWTH Aachen

**Knott, Peter:** »Antenna Design for Radar Systems«, RWTH Aachen

**Krebs, Christian:** »Leiterplattendesign«, TH Koblenz

**Pohl, Nils:** »Integrierte Hochfrequenzschaltungen für die Mess- und Kommunikationstechnik«, Ruhr-Universität Bochum

**Pohl, Nils:** »Elektronik 1 - Bauelemente«, Ruhr-Universität Bochum

### SS 2019

**Bathelt, Andreas:** »Digitale Regelungstechnik+ Advanced Control«, TH Köln

**Caris, Michael:** »Physikalisches Praktikum«, HS Bonn-Rhein-Sieg

**Heberling, Dirk:** »Elektromagnetische Felder in IK«, RWTH Aachen

**Heberling, Dirk:** »High Frequency Technology - Antennas and Wave Propagation«, RWTH Aachen

**Knott, Peter:** »Radar Systems Design and Applications«, RWTH Aachen

**Krebs, Christian:** »Leiterplattendesign«, TH Koblenz

**Pohl, Nils:** »Integrierte Digitalschaltungen«, Ruhr-Universität Bochum

**Betreute Promotionen**

**Cornelius, Rasmus:** »Fast Spherical Near-Field Antenna Measurement Methods«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH Aachen)

**Funke, Dominic:** »Ultra-Low-Power Schaltungen für Mikrosysteme in CMOS-Technologie«, Ruhr-Universität Bochum

**Mauelshagen, Christine:** »Energietechnische Innovationen in zentralen und dezentralen Versorgungssystemen«, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

**Sandenbergh, Jacobus Stephanus:** »Synchronising coherent networked radar using low-cost GPS-disciplined oscillators«, Universität Kapstadt/Südafrika

**Welp, Benedikt:** »Systemkonzept und Schaltungen für breitbandige MIMO-FMCW-Radarsysteme bis 60 GHz in modernen SiGe-Bipolartechnologien«, Ruhr-Universität Bochum

**Wojaczek, Philipp:** »Passive Radar on Moving Platforms Exploiting DVB-T Transmitters of Opportunity«, L'Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

**Betreute Masterarbeiten**

**Baumhöfer, Jan:** »Entwurf und Vergleich hocheffizienter Leistungsverstärker in SiGe-Technologien bei 80 GHz«, Ruhr-Universität Bochum

**Berners, Johannes:** »Development and Setup of an LTE Measurement Stand for Smartphones Based on a Software-defined Radio«, RWTH Aachen

**Bündgen, Felix:** »Entwicklung von 200 W TX- und RX-Baugruppen bei 2,4 - 5,0 GHz für die Bergnotrettung«, Fachhochschule Aachen

**Cesbron Lavau, Louis:** »DVB-S Passive Radar for Avalanche and Subsidence Detection«, RWTH Aachen

**Deis, Hendrik:** »Entwurf und Entwicklung eines Handheld Radar-Systems auf Basis eines 120 GHz FMCW-Frontends«, Ruhr-Universität Bochum

**Ergin, Elcin:** »Grating lobe suppression of phased array antennas using high impedance surface structures«, RWTH Aachen

**Iqbal, Asif:** »Design and implementation of a phase-noise optimized radar-front-end«, Universität Bremen

**Laas, Stanislav:** »Entwicklung eines 77 GHz Radar-Frontends mit MIMO-Signalprozessierung«, Ruhr-Universität Bochum

**Mansour, Josef:** »Design and Comparison of Resonance-based and Non-resonance Electromagnetic Liquid Sensors for Determination of Dielectric Properties in Chemical and Medical Applications«, RWTH Aachen

**Müller, Peter:** »Zentrale Speicherung gesammelter Daten von verteilten Radarsensoren«, FernUniversität Hagen

**Nzalli Noubi, Sandra Corinne:** »Detection of Objects using a C-Band FMCW Radar System for Surveillance of Hazardous Areas«, RWTH Aachen

**Papurcu, Hakan:** »Entwurf und Charakterisierung von SiGe-basierten Empfangsarchitekturen für ein 250 GHz FMCW-Radarsystem«, Ruhr-Universität Bochum

**Phillip Müller:** »Detektieren, Analysieren und Auswerten von eintreffenden Radarwellen durch Bestimmung ihrer Signalparameter«, Technische Hochschule Köln

**Romstadt, Justin:** »Design of Power-efficient-Integrated Transmitters for mm-wave radar applications above 120 GHz«, Ruhr-Universität Bochum

**Sauter, Lina:** »Development of a tool interoperability interface for the integration of a 3D rendering engine into

a Co-Simulation environment for closed-loop testing of ADAS«, RWTH Aachen

**Schiffarth, Anna-Malin:** »Influence of the polarisation and measurement distance on the near-field-to-far-field transformation using compressed sensing methods«, RWTH Aachen

**Schmitz, Lukas:** »Vergleich und Entwurf von True-Time-Delay Konzepten für ein Ka-Band Phased-Array-Radarsystem in einer SiGe-BiCMOS-Technologie«, Hochschule Koblenz

**Schwalm, Konstantin:** »Investigation of the impact of subarray failures on the radiation pattern of 5G massive MIMO base station antennas«, RWTH Aachen

**Springer, Jannik:** »Radar waveforms and processing methods for frequency modulated wave operation to analyze orbital parameters of

fragmenting objects in earth orbit«, RWTH Aachen

**Striegel, Marcus:** »Radargrammetric 3D Reconstruction of Detached Objects by Evaluation of the Shadow in Airborne Circular SAR Images«, RWTH Aachen

**Valdes Crespi, Ferran:** »Implementing a distributed clock for radar networks«, RWTH Aachen

**Vizcarro i Carretero, Marc:** »X-Band Patch Antenna Array with Low Cross-pol for Weather Radar Applications«, RWTH Aachen

# VERÖFFENTLICHUNGEN

Für einen stets aktuellen Überblick über unsere zahlreichen Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften und Konferenzen finden Sie alle unsere Publikationen ab sofort auf unserer Internetseite.

Alle Publikationen 2019:

[www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2019](http://www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2019)



Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften

[www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2019-journals](http://www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2019-journals)



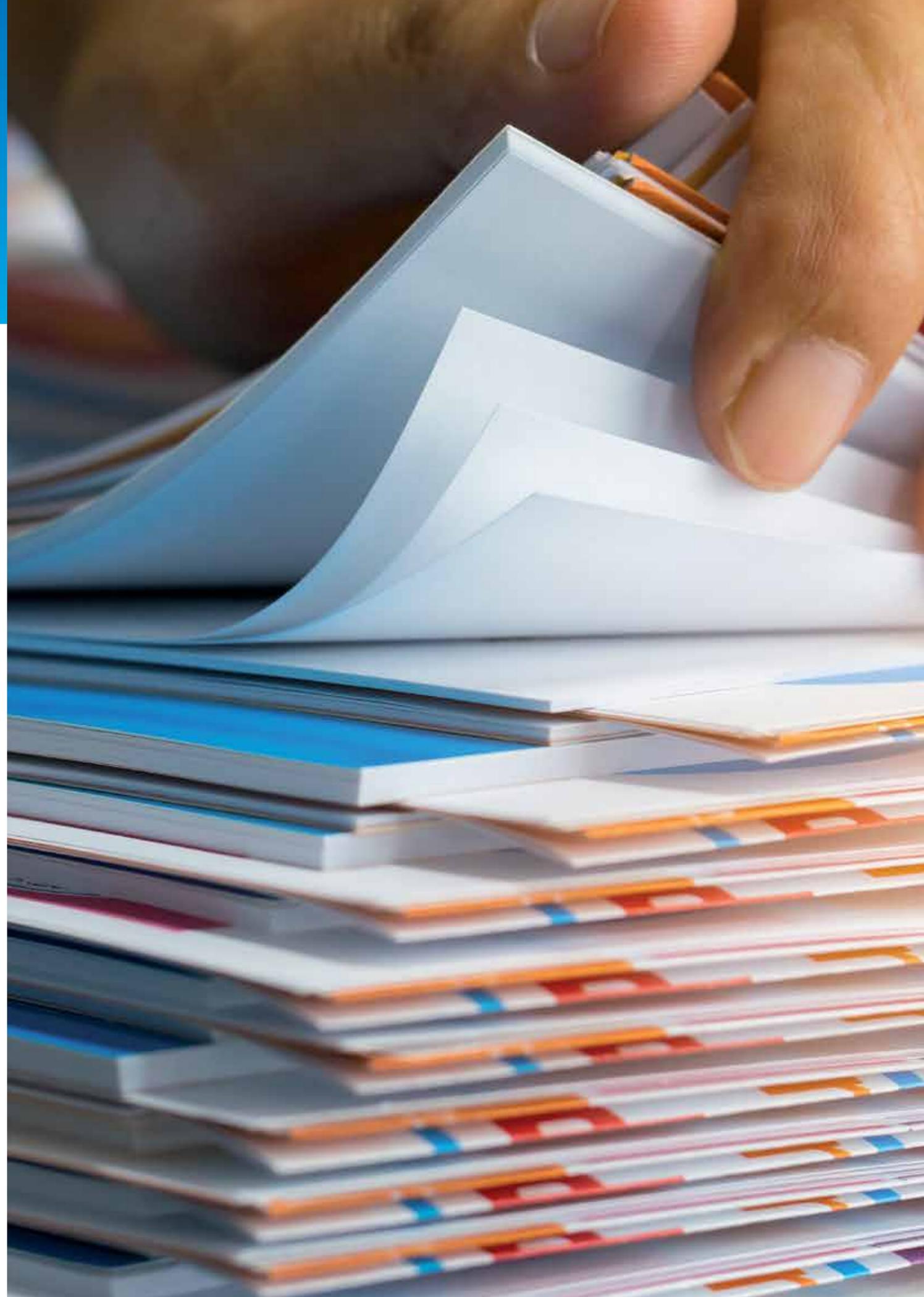
Publikationen bei wissenschaftlichen Konferenzen

[www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2019-konferenzen](http://www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2019-konferenzen)



Fraunhofer-Publikationsdatenbank:

<http://publica.fraunhofer.de>



# GREMIENTÄTIGKEITEN

## Behrendt, D.

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Mitglied

## Brüggenwirth, S.

- EEE AESS Germany Chapter: Secretary
- International Radar Symposium (IRS) 2019, Ulm: Technical Program Committee
- EDA Radar Captech: German Governmental Expert
- European Microwave Week (EuMW) 2019, Paris: Technical Review Committee

## Cerutti-Maori, D.

- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC): Nationale Vertreterin in der Working Group 1 (Measurements)
- IEEE Radar Conference 2019: Technical Review Committee
- Radar 2019: Technical Program Committee
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member

## Cristallini, D.

- PCL on Mobile Platforms (SET 242): Co-Chair
- IEEE Radar Conference 2019: Technical Program Member
- European Microwave Week (EuMW) 2019, Paris: Technical Program Member
- International Radar Symposium (IRS) 2019, Ulm: Technical Program Member
- ICARES 2019, Technical Program Member
- SPSympo-2019, Technical Program Member
- AGERS 2019, Technical Program Member

## Danklmayer, A.

- U.R.S.I. International Union of Radio Science, Commission-F Wave Propagation and Remote Sensing: Member
- VDE-ITG Fachausschuss 7.5 Wellenausbreitung: Mitglied
- Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON): Mitglied im Fachausschuss Radartechnik
- International Radar Symposium (IRS) 2019, Ulm: Technical Program Committee

## Heberling, D.

- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2019, Krakau: Mitorganisator, Mitglied des Steering Committee
- Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) 2019, Siegen: Wissenschaftlicher Beirat
- Antenna Measurement Technique Association (AMTA) 2019, San Diego: Past President
- Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG): Fachkollegiat
- IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.): Geschäftsführer
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member

## Klare, J.

- International Radar Symposium (IRS) 2019, Ulm: Technical Program Committee, Award Chair
- European Microwave Week (EuMW) 2019, Paris: Technical Review Committee
- International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES) 2019, Yogyakarta: Technical Program Committee
- International Conference on Digital Image and Signal Processing (DISP) 2019, Oxford: Technical Program Committee

## Knott, P.

- Informationstechnische Gesellschaft (ITG) im VDE, Fachausschuss HF 4 „Ortung“: Vorsitzender
- IEEE Microwave Theory and Techniques (MTT) / Antennas and Propagation (AP) Joint Chapter, Executive Committee: Chair
- Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON): Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat, Vorsitzender Fachausschuss Radartechnik
- European Association on Antennas and Propagation (EurAAP): Gewählter Regional Delegate
- NATO Research and Technology Organisation (RTO): „Member at Large“ des Sensors and Electronics Technology Panels
- International Radar Symposium (IRS), Ulm: Chair

## Leushacke, L.

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

## Matthes, D.

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

## Nüßler, D.

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Mitglied
- VDI/VDE-GMA FA 8.17 Terahertz-Systeme: Mitglied
- European Machine Vision Association (EMVA): Mitglied
- International Radar Symposium (IRS) 2019, Ulm: Technical Program Committee

## O'Hagan, D.

- Bi-/Multi-static radar performance evaluation under synchronized conditions, (SET-268): Chairman
- IEEE AES Magazine: Associate Editor for Radar
- IEEE Radar Conference 2019: Technical Program Member
- International Radar Symposium (IRS) 2019, Ulm: Technical Program Member

## Pohl, N.

- IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes 2019, Bochum: TPC chair
- International Microwave Symposium (IMS 2019), Boston: Technical Program and Review Committee, Student Design Contest Organizer, Workshop organizer
- IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS 2019), San Diego: Technical Program Committee, CO-Chair for MM-Wave & THz ICs
- International Radar Symposium (IRS) 2019, Ulm: Technical Program Committee
- IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques: Guest editor
- Springer Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz

Waves: Associate editor

- VDI ITG Fachausschuss 7.3 Mikrowellentechnik: Mitglied
- IEEE MTT Technical Committee MTT-24 Microwave/mm-wave Radar, Sensing, and Array Systems: Member
- IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.): Mitglied
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member

## Rial Villar, F.

- EDA Remote Intelligence of Building Interiors (RIBI): German Governmental Expert

## Walterscheid, I.

- IGARSS 2019: Scientific Committee
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member

## Weinmann, F.

- ITG-Fachausschuss 7.1 „Antennen“: Mitglied
- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2019: Technical Review Committee
- EDA-Workshop on Radar Signatures and EM Benchmarks, 14. November 2019, Brüssel: Technical Program Committee
- EMWT 2019, Specialist Meeting on Electromagnetic Waves and Wind Turbines: Technical Committee Member

## Weiß, M.

- International Radar Symposium (IRS) 2019, Ulm: Technical Program Member
- European Microwave Week (EuMW) 2019, Paris: Technical Program Member

## Uschkerat, U.

- EDA CapTech Radar: German Governmental Expert
- BMVI Nationalen Vorbereitungsgruppe (NVG) & Arbeitskreis AK2 zur WRC-19: Mitglied
- ETSI TGUWB: Mitglied

# STANDORTE

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

## Hauptsitz und Postanschrift

Fraunhofer FHR  
Fraunhoferstr. 20  
53343 Wachtberg

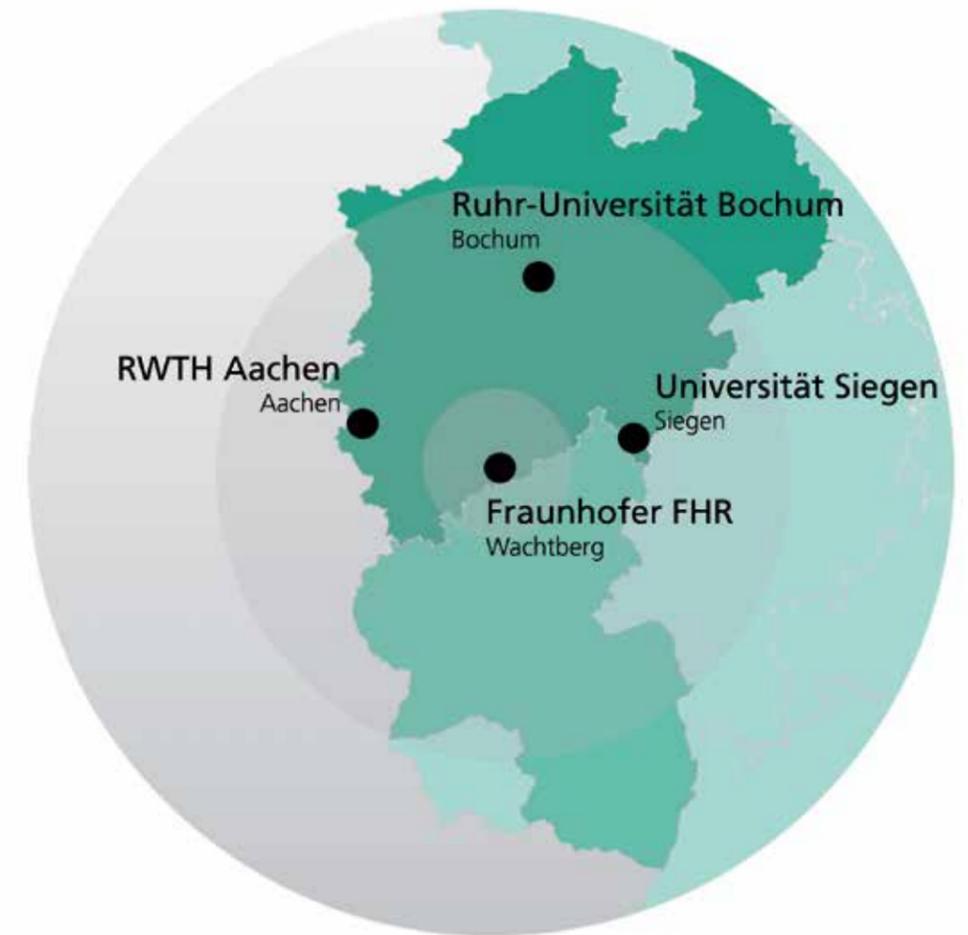
Tel.: +49 228 9435-0  
Fax: +49 228 9435-627

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

## Institutsteil Wachtberg-Villip

Siebengebirgsblick 22  
53343 Wachtberg-Villip

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



## Forschungsgruppen an Universitäten

### Forschungsgruppe Aachen

Melatener Str. 25  
52074 Aachen

Tel.: +49 241 80-27932  
Fax: +49 241 80-22641

### Forschungsgruppe Bochum

Universitätsstraße 150  
44801 Bochum

Tel.: +49 234 32-26495  
Fax: +49 234 32-06495

### Forschungsgruppe Siegen

Paul-Bonatz-Str. 9-11  
57076 Siegen

Tel.: +49 271 740-3400  
Fax: +49 271 740-4018



# IMPRESSUM

## Herausgeber

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

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

Alle Rechte vorbehalten.

Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der Redaktion.

Wachtberg, April 2020

## Chefredaktion

Dipl.-Volksw. Jens Fiege

## Redaktion

Dr. Janine van Ackeren  
M. A. Jennifer Hees

## Layout und Satz

B. A. Jacqueline Reinders

## Bilder

Titel: Fraunhofer FHR / Andreas Schoeps

S. 1: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 5 Bild 1,2: Fraunhofer FHR / Marco Gallasch

S. 6 Bild 3: Fraunhofer FHR / Meike Böschmeyer

S. 7-10 Bild 1, 2, 3, 6, 8, 12, 14: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 7-10 Bild 4: Fraunhofer FKIE

S. 7-10 Bild 5: Fraunhofer FHR

S. 7-10 Bild 7: Fraunhofer FHR / Hans-Jürgen Vollrath

S. 7-10 Bild 9: Fraunhofer FHR / Jennifer Hees

S. 7-10 Bild 10: Fraunhofer FHR / Marco Gallasch

S. 7-10 Bild 11: AFCEA

S. 7-10 Bild 13: Fraunhofer FHR / Andrej Konforta

S. 13,14: Fraunhofer FHR / Hans-Jürgen Vollrath

S. 16: Fraunhofer FHR / Alex Shoykhetbrod

S. 17: Fraunhofer FHR

S. 19: Fraunhofer FHR / Benedikt Welp

S. 21: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 25,26: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 27: Fraunhofer FHR / Jennifer Hees

S. 30 Bild 1: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 30 Bild 2: Fraunhofer FHR

S. 31: Fraunhofer FHR / Olaf Saalmann

S. 32: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 34: Fraunhofer FHR / Stephan Palm

S. 36 Bild 1: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 36 Bild 2,3: Fraunhofer FHR / Oliver Biallawons

S. 37: Fraunhofer FHR / Andrej Konforta

S. 38: Fraunhofer FHR / Johannes Bökler

S. 39: Fraunhofer FHR / Patrick Berens

S. 40, 41, 42: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 44: Fraunhofer FHR / Philipp Wolter

S. 46 Bild 1: JAXA

S. 46 Bild 2: Fraunhofer FHR

S. 47: Fraunhofer FHR

S. 48, 49, 50, 51: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 52 Bild 1: Fraunhofer FHR / Alex Shoykhetbrod

S. 52 Bild 2: Fraunhofer FHR / Andreas Schoeps

S. 53: Shutterstock / metamorworks

S. 54: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 55 Bild 1: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 55 Bild 2: Fraunhofer FHR / Andreas Schoeps

S. 57: Fraunhofer FHR / Thomas Bertuch

S. 58: Fraunhofer FHR / Maria A. Gonzalez-Huici

S. 59, 60: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 61: Fraunhofer FHR / Reinhold Herschel

S. 62: Fraunhofer FHR / Sven Leuchs

S. 63: iStockphoto / Dougall\_Photography

S. 64: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 65: Fraunhofer FHR / Reinhold Herschel

S. 73: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

