



JAHRESBERICHT
2020

JAHRESBERICHT
2020



VORWORT

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

Anfang des Jahres 2020 blickten wir erwartungsvoll auf einen prall gefüllten Terminkalender voller internationaler Messen und Konferenzen, unserem 10. Wachtberg-Forum und einen groß geplanten Tag der offenen Tür. Corona hat diese Pläne durchkreuzt und wir mussten neu planen: In Rekordzeit wurden für einen Großteil unserer Mitarbeitenden die Voraussetzungen für Home-Office geschaffen, Veranstaltungen auf digital umgestellt und neue Wege gefunden, mit Kunden und Mitarbeitenden in Kontakt zu bleiben.

Obwohl einzelne Aufträge weggebrochen sind, ist es uns gelungen, unsere Forschungsarbeiten und unsere Projekte ohne größere Abstriche umzusetzen. Dies zeigt sich z. B. in der Übergabe des neuen Weltraumüberwachungsradars GESTRA an das deutsche Weltraumlagezentrum - nach fünfjähriger Entwicklungszeit und mit einem Auftragsvolumen von rund 42 Millionen Euro. Im Juli wurde GESTRA nach Koblenz transportiert, im Oktober erfolgte die feierliche Einweihung. Mehr zu dieser logistischen Meisterleistung und dem Festakt mit hochkarätigen Vertretern aus Forschung, Wissenschaft, Verteidigung und Politik finden Sie auf Seite 8.

Unsere neuen digitalen Formate haben sich erfolgreich entwickelt, wie die Online-Vortragsreihe »Radar in Aktion«, in der unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler anwendungsnah neueste Forschungsergebnisse des Instituts präsentieren. Die halbstündigen Vorträge mit Demonstration und Diskussion in Deutsch und Englisch stoßen auf großes Interesse in Industrie, Politik, Wissenschaft und Gesellschaft. Regelmäßig sind über 100 Teilnehmende aus aller Welt dabei.

Planmäßig gemeistert, trotz Corona, haben wir auch den Einzug in »Villip 2«. Das neue Gebäude am Standort Villip wurde im Juni fertiggestellt und mit unserem abteilungsübergreifenden »Think-Tank Signalverarbeitung« bezogen. Das Institut

setzt sein Wachstum fort und die neuen Räumlichkeiten bieten dafür moderne Büros und Labore. In der großen Halle sind unter anderem drei neue, durch Fördermittel der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland FMD finanzierte, 3D-Drucker untergebracht. Damit setzten wir im Bereich der additiven Fertigung neue Maßstäbe.

Ganzjährig haben wir unsere Expertise auf vielen internationalen digitalen Messen und Konferenzen vorgestellt und uns in den großen Ingenieursverbänden der Welt mit der Wissenschaftscommunity ausgetauscht. Die Exzellenz unserer Forschungsarbeiten bestätigen auch unsere Auszeichnungen. So erhielt z. B. dieses Jahr Dr. Philipp Wojacek den *Robert T. Hill Best Dissertation Award* der *IEEE Aerospace and Electronics Systems Society (AESS)* - seine Arbeit ist unter anderem in den Projekten »Passiv Radar« und »Vernetzte HF-Sensorik - Schlüsseltechnologie für FCAS und MGCS« (siehe Seite 28) relevant.

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	3
Inhaltsverzeichnis	4

AUS DEM INSTITUT

Highlights des Jahres 2020	6
GESTRA-Meilensteine 2020	8
Doktorandenprogramm MENELAOS ^{NT}	12
Promotion am Fraunhofer FHR	14

ÜBERBLICK

Fraunhofer FHR im Profil	16
Fraunhofer FHR in Zahlen	18
Organigramm	20
Das Kuratorium	22
Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)	24

GESCHÄFTSFELD VERTEIDIGUNG 26

Vernetzte HF-Sensorik – Schlüsseltechnologie für FCAS und MGCS	28
Deutsch-Schweizer Kooperation: Miniaturisiertes Radarsystem mit Livestream vom Flugzeug zum Boden	30
Künstlicher Intelligenz auf die Finger geschaut	32
Blindbereiche beim Radar vermeiden	33

GESCHÄFTSFELD WELTRAUM 34

Radarnetzwerke in der Praxis: GESTRA meets EUSST	36
Weltraumüberwachung mit Radarnetzwerken	37
Pionierarbeit bei der Kommerzialisierung	38
Mit tiefgekühlten Radarempfängern zu höherer Empfindlichkeit	39
TIRA – Weltraumbeobachtungsradar der Zukunft	40

GESCHÄFTSFELD SICHERHEIT **42**

Drohne im Anflug?	44
Küstenlinien: Gut geschützt	45

GESCHÄFTSFELD VERKEHR **46**

Mehr Sicherheit im Straßenverkehr	48
Genauere Positionsbestimmung für selbstfahrende Autos	50
Zeitdynamische Radarsimulation von Verkehrsszenarien in Echtzeit	51
Früherkennung von Gleisbettsschäden mittels Radar	52
Präzise Materialcharakterisierung	53

GESCHÄFTSFELD PRODUKTION **54**

Dicke von Stahlblechen mit Radar kontrollieren	56
--	----

GESCHÄFTSFELD MENSCH UND UMWELT **58**

Metamaterialien optimieren die Magnetresonanztomographie	60
Gesundheitszustand von Corona-Infizierten stets im Blick	62
Kurzstreckenradar optimiert Wettervorhersage	63

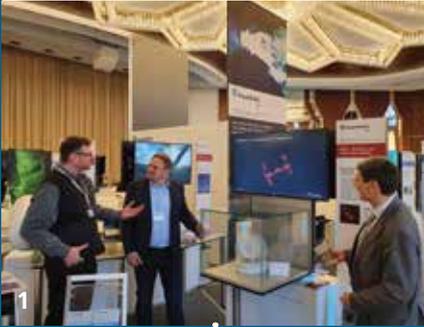
ANHANG **64**

Ausbildung und Lehre	64
Veröffentlichungen	68
Gremientätigkeiten	70
Standorte	72
Impressum	74

2020

Bonn, 3.-5. März

**Angewandte Forschung für
Verteidigung und Sicherheit in
Deutschland**



Wachtberg/Online, 5. Juni

**»Fraunhofer vs. Corona«
Teilnahme an Social-Media
Kampagne #WeKnowHow der
Fraunhofer-Gesellschaft mit der
Schlüsseltechnologie Radar**



«Unsichtbares sichtbar machen. Mit dieser Eigenschaft ist Radar eine unverzichtbare Technologie in der Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung. Aber auch auf dem Weg zum autonomen Fahren spielen Radarsensoren eine wichtige Rolle, um in jeder Wetter- und Lichtsituation Hindernisse und andere Verkehrsteilnehmer zu erkennen.»

Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling
Institutsleiter Fraunhofer FHR

#WeKnowHow
FRAUNHOFER VS. CORONA

Kopenhagen/Online, 15.-20. März

**EuCAP - The 15th European
Conference on Antennas and
Propagation**

Villip, 1. Juni

**Fertig nach Plan:
Neues Gebäude in Villip**



Washington/Online, April

**Dr. Philipp Wojacek erhält den
Robert T. Hill Best Dissertation
Award der Aerospace and Elec-
tronics Systems Society (AESS)
des IEEE**



JANUAR

FEBRUAR

MÄRZ

APRIL

MAI

JUNI

Wachtberg, 16. März

**Corona-bedingter Umstieg auf
Homeoffice für ca. 70 % der
Mitarbeitenden**



Wachtberg, 1. Juni

**Ulf Herzer wird neuer
Verwaltungsleiter**



Washington/Online: 27. April-1. Mai

**IEEE International Radar
Conference**

Wachtberg/Online, 16. April

**Online durch die Kugel: Premiere
der digitalen Besucherführungen
durch TIRA**

Wachtberg/Online, 23. Juni

Fraunhofer FHR startet »Radar in Aktion«

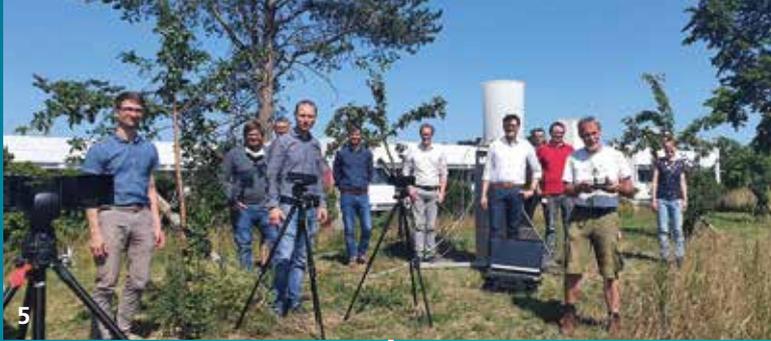
Forschung lebt vom Austausch, in Zeiten von Corona ist dieser in persönlicher Form jedoch kaum möglich. Deshalb startet das Fraunhofer FHR die internationale Online-Vortragsreihe »Radar in Aktion«, in der die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die verschiedensten Radaranwendungen des Instituts vorstellen: Von kontaktloser Lebenszeichenerfassung über Weltraumbeobachtung bis hin zum Autonomen Fahren. Die halbstündigen Vorträge mit Demonstration und Diskussion in Deutsch und Englisch stoßen auf großes Interesse bei Kunden, Partnern und Interessierten aus Industrie, Politik, Wissenschaft und Gesellschaft. Regelmäßig schalten sich über 100 Teilnehmende aus aller Welt zu den öffentlichen Veranstaltungen zu.



Wachtberg/Online, 22.- 25. Juni

Abschlusspräsentation ORAS

Eine besondere Veranstaltung: Unter den Einschränkungen der Corona-Pandemie durchgeführt wurde die Abschlusspräsentation von ORAS (Sensorgestütztes Überwachungs- und Alarmierungssystem zur Detektion und Verfolgung unbemannter Flugsysteme). Vor Ort waren nur wenige Repräsentanten anwesend, darunter der Projektträger VDI-TZ. Die TH Wildau sowie assoziierte Partner wie das BKA und Landespolizeien wurden per Live-Stream zugeschaltet. In Interviews und einer Q&A-Session gaben die beteiligten Projektpartner weitere Informationen. Die Vorführung gelang auch im hybriden Format problemlos und das System konnte erfolgreich im Einsatz vorgestellt werden.



5

München/Online, 26.-29. Oktober

Fraunhofer Solution Days

Das Institut präsentiert den Radarzielsimulator ATRIUM



7

Wachtberg, 17. September

**Expertengespräch Strategie -
Erste Veranstaltung mit Externen
im neuen Gebäude Villip 2**



6

Wachtberg/Koblenz, 25. Juni-1. Juli

**Logistische Meisterleistung: GESTRA
Transport nach Koblenz (s. S. 8)**

Florenz/Online, 21.-25. September

IEEE RADAR Conference

Prof. Peter Knott hält Keynote

Warschau/Online, 5.-8. Oktober

**International Radar Symposium
IRS**

JULI

AUGUST

SEPTEMBER

OKTOBER

NOVEMBER

DEZEMBER

Wachtberg/Online, 5. September

Digitale Ausbildungsmesse

Wachtberg/Online, 25. Juni

**Hybride Kuratoriumssitzung mit
digitaler Übertragung an alle
Mitarbeitenden**



11

Koblenz, 13. Oktober,

**Feierlicher Festakt: GESTRA
Einweihung in Koblenz (s. S. 10)**



13

Wachtberg, 4.-5. November

2. Fraunhofer FHR UAS Workshop

Hochkarätige Referenten diskutieren mit Teilnehmenden aus Forschung, Industrie, Behörden und Verbänden aktuelle Entwicklungen zu Unmanned Aerial Systems (UAS)



14

Warschau/Online, 5.-8. Oktober

**Manjunath Thindlu Rudrappa
gewinnt IRS Young Scientist
Contest**



12

Wachtberg/Online, 12. November
Virtuelles Strategieaudit



15

Berlin/Online, 13. Mai - 15. August
ILA Berlin: Prominenter Messeauftritt mit TIRA und GESTRA



GESTRA-MEILENSTEINE 2020

Transport nach Koblenz

Im Jahr 2020 absolvierte das vom Fraunhofer FHR im Auftrag der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR entwickelte Weltraumüberwachungsradar GESTRA (*German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar*) große Schritte. Am neuen Standort Koblenz befindet es sich nun in der Abschlussintegration.

7 Tage, 100 Tonnen, 200 Kilometer: eine logistische Meisterleistung

Am Morgen des 25. Juni 2020 begann auf dem Campus des Fraunhofer FHR in Wachtberg ein perfekt geplantes Vorhaben, wie es das Institut noch nicht gesehen hatte: Das Verladen und der Transport des GESTRA Systems zum finalen Standort auf der Koblenzer Schmidtenhöhe. Die beiden fast 100 Tonnen schweren 4m x 4m x 18m großen Container mit dem Sendemodul und dem Empfangsmodul sowie die beiden Radome mit 5m Durchmesser, 4,50m Höhe und je 600kg Gewicht waren bereit für den Transport. Nach einem Tag reiner Vorbereitungszeit wurden in den folgenden zwei Tagen in perfekt abgestimmter Teamarbeit der Mitarbeitenden des Fraunhofer FHR und der

Logistikfirma die Container und Radome auf die Anhänger verladen. Dazu waren zwei Kräne mit 350t bzw. 500t maximaler Hublast nötig, die nur gemeinsam im Tandemhub das große Gewicht der Radarsysteme vom Boden auf zwei 13-achsige Anhänger heben konnten. Am 29. Juni 2020 um 22 Uhr ging es pünktlich für den Schwertransport »on the road«. Neben vielen Fahrzeugen zur Absicherung wurde der Konvoi auch von mehreren Polizeifahrzeugen begleitet. Da die verladenen Container inklusive Anhänger deutlich höher als 4,50m waren, musste die gesamte Strecke fast ausschließlich über Landstraßen durchgeführt werden - einige Autobahnbrücken auf der A3 wären zu niedrig gewesen. Mitten in der Nacht, gegen 1:30 Uhr, wurde der Rhein über die Bonner Südbrücke passiert. Danach ging es in den Westerwald. Die zweite Etappe in der folgenden Nacht führte schließlich über eine Gesamtstrecke von etwa 200 Kilometern ans Ziel. Dort wurde GESTRA bereits von Vertretern der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR, der Bundeswehr und des Fraunhofer FHR sowie zahlreichen Medienvertretern erwartet. Die beiden Schwerlastkräne standen schon bereit, so dass beide Container und die Radome unter den Augen der Zuschauer noch am gleichen Tag am Zielort aufgebaut werden konnten.

Ein Umzug der besonderen Art: In 7 Tagen und Nächten wechselt GESTRA seinen Standort von Wachtberg nach Koblenz. Via Schwertransport über eine 200 km lange Strecke durch den Westerwald kommen die beiden 100t schweren Container mitsamt der Radome wohlbehalten auf der Schmidtenhöhe an.





Forschung & Wissenschaft, Verteidigung und Politik: Großer Festakt zur GESTRA-Einweihung

Am 13. Oktober 2020 wurde GESTRA offiziell eingeweiht und an das deutsche Weltraumlagezentrum übergeben. Hochkarätige Vertreter des DLR, der Fraunhofer-Gesellschaft und aus Verteidigung und Politik waren vor Ort. Im Rahmen eines feierlichen Festakts auf der Schmidtenhöhe würdigten die Redner die Bedeutung von GESTRA für Deutschland und Europa und die Leistung der Projektbeteiligten bei der Entwicklung dieser Spitzentechnologie. Es sprachen Dr. Walther Pelzer, Vorstand Deutsche Raumfahrtagentur im DLR, Thomas Jarzombek (MdB), Koordinator Luft- und Raumfahrt der Bundesregierung, Prof. Ralf Boris Wehrspohn, Fraunhofer-Vorstand, GenLt Klaus Habersetzer, Kommandeur Zentrum Luftoperationen und Roger Lewentz, Innenminister Rheinland-Pfalz. »Wir zeigen uns hier mit dem Standort Deutschland. Wir sind in der Lage, State of the Art, ganz an der Front der Wissenschaft zu arbeiten«, würdigte Dr. Thomas Eversberg, DLR-Projektleiter-GESTRA, die Forschungs- und Entwicklungsarbeit an dem Weltraumüberwachungsradar.



Nachdem die Redner symbolisch ein Band zur Eröffnung durchschnitten hatten, konnten sich die Gäste und zahlreichen Medienvertreter vor Ort ein Bild von GESTRA machen. »Dieses Radarsystem ist Technologie, die einmalig ist in Europa«, betonte Prof. Dirk Heberling im Rahmen der Veranstaltung und hob auch die besondere Verbundenheit der Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer FHR mit GESTRA hervor. »Ich erinnere mich, als die Container ausgeliefert wurden, haben Mitarbeitende persönlich die Kabel gezogen und die Kabel gegriffen, und das am Wochenende. Das zeigt den Einsatz und die Leidenschaft für dieses Projekt«, so Prof. Heberling.



Die mediale Resonanz auf die Vorstellung des ersten deutschen Weltraumüberwachungsradars war groß, bundesweit berichteten Print, TV, Radio und Social Media. Sogar die Tagesthemen brachten einen Beitrag. Ein spannender Kurzfilm des Fraunhofer FHR fasst die Highlights der GESTRA-Einweihung zusammen. Der Film ist unter <https://youtu.be/bT-olld89Qs> abrufbar.



Unter strengen Corona-Beschränkungen wurde GESTRA feierlich eingeweiht. Die Gäste aus Forschung & Wissenschaft, Verteidigung und Politik nutzten die Gelegenheit, sich vor Ort das System erläutern zu lassen und erhielten einen tiefen Einblick in die Fähigkeiten des Weltraumüberwachungsradars.



Dipl.-Ing. Helmut Wilden,
GEMTRA-Projektleiter des Fraunhofer FHR

3 FRAGEN AN...

Herr Wilden, über 5 Jahre Entwicklungsarbeit des 34-köpfigen Teams stecken in GEMTRA. Was war für Sie die größte Herausforderung in dieser Zeit?

Ausgehend von der Erfahrung zu multifunktionalen Kleinradaren stand man plötzlich vor der Aufgabe, unter den Randbedingungen Teilmobilität, Flexibilität eines digitalen Radars und maximale Sendeleistung einen Wunschkatalog von innovativen Fähigkeiten und Leistungsdaten eines Weltraumüberwachungsradars zusammenzustellen und die

innovativsten Technologien zu jedem Subsystem zu konzipieren und anzubieten. Dabei lag eine große Herausforderung in der zeitnahen Akquise von hochspezialisierten Mitarbeitenden, welche zu einem großen Teil durch Betreuung von Abschlussarbeiten mit systemnahen Themen herangezogen wurden. So entstand ein 34-köpfiges Team, welches zusammen mit den Entwicklungsteams der ca. 8 Haupt-Unterauftragnehmern ein äußerst komplexes, multifunktionales System auf Basis eines effektiven Managements konzipierte und umsetzte. Die größte Herausforderung war dabei, alle Systemspezifikationen durch Hardware- Firmware- und Softwareoptimierungen so zu erreichen und umzusetzen, dass rechtzeitig alle notwendigen Systemkomponenten verfügbar sind und gleichzeitig auch durch robuste Konzeptionierung die erwartete Lebensdauer des Systems von 12 Jahren erreicht werden kann.

Was war ihr persönliches Highlight?

Während der 6-jährigen Leitung dieses Teams erfuhr ich mehrere persönliche Highlights. Zum einen erfreute ich mich sehr an dem Einsatz und der Begeisterung der Studenten, sehr gute Ergebnisse der Abschlussarbeiten zu den systemnahen Themen zu erarbeiten. Ein weiteres Highlight war sicherlich der Transport des Systems, dessen Randbedingungen nur durch ein sehr erfahrenes Transportteam bewältigt werden konnten. Die finale Inbetriebnahme und die sukzessiven erfolgreichen Nachweise der erreichten Performance-Ziele bilden natürlich die größte Freude an dieser Entwicklungsstory.

Wie lässt man ein solches Projekt wieder los?

Ich kann zwar dieses Projekt durch meine handwerklichen und musikalischen Hobbies sehr gut loslassen, aber die verschiedenen Umsetzungsalternativen der einzelnen Subsysteme einschließlich Signalverarbeitung werden mich noch lebenslang begleiten und motivieren. Mit diesem Radardemonstrator haben wir zwar eine gute Startperformance erreicht, doch mit noch innovativeren und herausfordernden Technologien müssten bei gleichen Randbedingungen auch die Entdeckungsleistungen gegenüber kleinen Trümmern noch wesentlich zu verbessern sein.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Helmut Wilden

+49 228 9435-316

helmut.wilden@fhr.fraunhofer.de



DOKTORANDENPROGRAMM MENELAOS^{NT}

Das *European Training Network on Multimodal Environmental Exploration Systems – Novel Technologies (MENELAOS^{NT})* geht auf eine Initiative von Prof. Dr. Otmar Loffeld vom Zentrum für Sensorsysteme der Universität Siegen (ZESS) zurück. Im Austausch mit dem Fraunhofer FHR entstand die Idee, eine Kooperation zwischen namhaften europäischen Institutionen im Bereich *Compressed Sensing* ins Leben zu rufen. Nach mehrjähriger Planungszeit startete das Programm zum 1. Januar 2020. MENELAOS^{NT} wird durch das Forschungs- und Innovationsprogramm *Horizon 2020/Marie Skłodowska-Curie Actions* der Europäischen Union gefördert. 15 internationale »*Early Stage Researchers*« erhalten darin die Möglichkeit, über die Forschung an verschiedenen algorithmischen und hardware-orientierten Aufgabenstellungen zur Promotion zu gelangen.

Das Fraunhofer FHR ist einer der Kooperationspartner von MENELAOS^{NT} und betreut zwei *Early Stage Researchers*, die in den Abteilungen Höchstfrequenz-Radar und Anwendungen (HRA) und Kognitives Radar (KR) angesiedelt sind. Sanhita Guha arbeitet bei HRA, Saravanan Nagesh bei KR. Beide

werden im Rahmen ihrer dreijährigen Promotionszeit jeweils für mehrere Monate auch am Weizmann *Institute of Science* bei Tel Aviv sowie an der Universität Siegen und der Polytechnischen Universität von Bukarest forschen.

Teil des Programms sind fachliche Vorlesungen und Kurse an den Partneruniversitäten, die digital stattfinden. Darüber hinaus werden den Nachwuchswissenschaftlern an ihren Instituten Präsenzworkshops zu Themen wie wissenschaftliches Schreiben, Kommunikationsfähigkeiten, Bewerbungsstrategien, Networking auf Konferenzen etc. geboten. Am Fraunhofer FHR ist Dr. Andreas Bathelt von HRA der Koordinator für das Programm. »Es ist toll zu sehen, welche Ergebnisse die Doktoranden im Rahmen des Programms erzielen. Sie arbeiten unabhängig z. B. von Industrieprojekten, in denen immer die Anwendung für die Partner im Vordergrund steht. Daher können sie viel mehr in die Tiefe gehen und neue Methodik entwerfen. MENELAOS^{NT} sieht vor, dass die Ergebnisse der Doktoranden später auch weiter genutzt werden und das wird das Institut auch definitiv tun«, so Andreas Bathelt.



MENELAOS^{NT}



»Ich habe zunächst in Bangalore, Indien, ein Bachelorstudium in Elektronik und Messtechnik absolviert. Anschließend ging ich nach Frankreich ans Georgia Institute of Technology in Metz. Dort machte ich meinen Master in Elektrotechnik und Computertechnik und graduierte im Mai 2020. Auf der Suche nach einem interessanten Promotionsprogramm stieß ich auf MENELAOS^{NT}. Ich forsche nun in der Abteilung HRA am Fraunhofer FHR für meine Doktorarbeit zum Thema »*Adaptive methods of Compressed Sensing for more efficient Radar Detection and Localization*«. Ich arbeite an Methoden, welche die Auflösung schmalbandiger Radarsysteme mittels Bandfusion erhöhen können. Ich freue mich sehr über die Zusammenarbeit mit Dr. Andreas Bathelt als mein Supervisor, Prof. Dr. Joachim Ender und Prof. Dr. Löffeld sind Betreuer meiner Promotion. MENELAOS^{NT} ist ein umfangreiches Programm, in dem ich hoffe, viel zu lernen. Mir gefallen die Vernetzung in Europa, die Konferenzbesuche, die Möglichkeit meine *Soft Skills* und deutschen Sprachkenntnisse zu verbessern. Im Bereich *Compressed Sensing* möchte ich auch nach meiner Promotion arbeiten.«

KONTAKT

sanhita.guha@fhr.fraunhofer.de



»Nach meinem Bachelor-Abschluss in Elektronik und Nachrichtentechnik in Bangalore, Indien, arbeitete ich als Forschungsstipendiat am *Center for Airborne Systems* in Bangalore, Indien, im Bereich der luftgestützten Kommunikations- und Radarsysteme. Nach Abschluss meines Stipendiums arbeitete ich bis 2017 als leitender Ingenieur bei Robert Bosch im Bereich Fahrzeugsicherheitssysteme für den asiatisch-pazifischen Raum. Danach zog es mich zurück an die Universität und ich absolvierte ein Masterstudium der Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt Radarsignalverarbeitung an der Technischen Universität in Delft, Niederlande. Bei MENELAOS^{NT} hat mich das gute Programmdesign interessiert und so bin ich 2020 als *Early Stage Researcher* in der Abteilung KR zum Fraunhofer FHR gekommen. Meine Doktorarbeit dreht sich um das Thema »*Coded Waveform for Colocated MIMO Radar using Sparse Modeling*«, betreut von Prof. Dr. Ender. Am Institut unterstützen mich meine Teamkollegen und Dr. María Antonia González-Huici als meine Betreuerin sehr. Ich habe eine Leidenschaft für das Thema autonomes Fahren und bin begeistert, hier im Bereich *Automotive Radar* forschen zu können.«

KONTAKT

saravanan.nagesh@fhr.fraunhofer.de

PROMOTION AM FRAUNHOFER FHR

Das Fraunhofer FHR bietet 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 2020 promoviert haben, berichten über ihre Erfahrungen.

DR.-ING. FABIO GIOVANNESCHI

»Online Dictionary Learning for Classification of Antipersonnel Landmines Using Ground Penetrating Radar«
Universität Siegen

KONTAKT

+49 228 9435-143

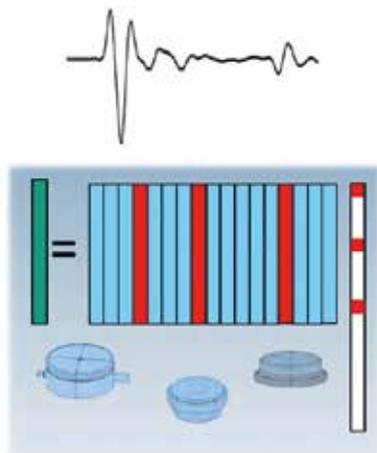
fabio.giovanneschi@fhr.fraunhofer.de



FRAUNHOFER INSTITUTE FOR HIGH FREQUENCY PHYSICS AND RADAR TECHNIQUES FHR

Fabio Giovanneschi

Online Dictionary Learning for Classification of Antipersonnel Landmines Using Ground Penetrating Radar



Seine Tätigkeit in der heutigen Abteilung Kognitives Radar (KR) des Fraunhofer FHR begann Dr. Fabio Giovanneschi im Jahr 2012. Zuvor studierte er an der Universität Pisa Telekommunikationstechnik und arbeitete anschließend zwei Jahre bei einem italienischen Unternehmen im Bereich Geophysik. Am Fraunhofer FHR befasste er sich mit Klassifizierung von Antipersonenminen mittels *Ground Penetrating Radar (GPR)*. »Ich interessierte mich darüber hinaus für die damals relativ neuartige Theorie des *Compressive Sensing* und begann diese für meine Arbeit mit GPR anzuwenden. Diesem spannenden neuen Bereich wollte ich meine Promotion widmen.«

Prof. Joachim Ender als damaliger Institutsleiter interessierte sich sehr für das Thema und so bewarb sich Dr. Fabio Giovanneschi 2014 erfolgreich für das PhD Programm am Zentrum für Sensorsysteme der Universität Siegen (ZESS), mit Prof. Ender als ersten Betreuer der Doktorarbeit. In den folgenden Jahren arbeitete er aber zunächst intensiv an anderen KR-Projekten sowie für das Projekt RAWIS (Radar- Warn- und Informationssystem für Anwendungen im Katastrophenschutz) der Universität Siegen. »2016 kam ich mit Prof. Yonina Eldar vom Technion Israel in Kontakt. Über meine Idee, eine neuartige *Dictionary Learning*-Technik zu entwickeln, die auf einen kognitiven Ansatz für das Minenklassifizierungsproblem mit GPR abzielt, begann eine fruchtbare Zusammenarbeit. Diese führte zu den Veröffentlichungen, die den Hauptbeitrag meiner Doktorarbeit bilden.« Seit Abschluss der Promotion hat Dr. Fabio Giovanneschi seine Forschung im Bereich *Dictionary Learning* fortgesetzt und auf verschiedene Radaranwendungen angewendet, wie z. B. Marine Clutter-Unterdrückung und LIDAR-Bildgebung.

»Neben der stets motivierenden und inspirierenden Zusammenarbeit mit Prof. Ender haben Dr. Stefan Brüggewirth als Abteilungsleiter und Dr. Maria Antonia Gonzalez-Huici als Teamleitung die Forschung für meine Doktorarbeit immer unterstützt. Auch die Kolleginnen und Kollegen in Wachtberg standen während all der Jahre für Austausch und Diskussion gern zur Verfügung«, so Dr. Fabio Giovanneschi rückblickend.

Nach seinem Elektrotechnikstudium mit Schwerpunkt Informations- und Kommunikationstechnik an der RWTH Aachen kam Dr. Christoph Wasserzier 2009 als Wissenschaftlicher Mitarbeiter ans Fraunhofer FHR. »Eine Promotion war nicht von Anfang an mein Ziel. Ich habe in der heutigen Abteilung Passive und störteste Radarverfahren (PSR) spannende Aufgaben in Bereichen übernommen, zu denen nicht ohne Weiteres publiziert werden kann.«

Der Wunsch zu promovieren entstand durch das Interesse im Bereich Rauschradar. »Das Thema war für mich schon immer vielversprechend und hat durch die technische Entwicklung der letzten Zeit großes Potential im Hinblick auf seine praktische Anwendbarkeit erreicht. Das fand ich reizvoll.« So absolvierte Dr. Christoph Wasserzier ab 2016 das PhD-Programm der Tor Vergata Universität Rom mit Professor Gaspare Galati als Betreuer, der seit Langem auf diesem Gebiet forscht. Für Blockseminare reiste er nach Rom, der Großteil des Austauschs mit Professor Galati fand jedoch online statt. Die klare Struktur des Programms ermöglichte es, zielgerichtet zu arbeiten und die Promotion gut mit der Tätigkeit am Institut abstimmen zu können. »Mein Teamleiter Josef Worms, Prof. Daniel O'Hagan als Abteilungsleiter und sein Vorgänger Heiner Kuschel haben meine Promotion immer unterstützt. Auch viele Kolleginnen und Kollegen von PSR oder der Werkstatt haben tatkräftig geholfen, insbesondere bei Feldversuchen.«

Dr. Christoph Wasserzier entwickelte ein neues, echtzeitfähiges Verfahren mit dem Ziel, Rauschradar zukunftssicher zu machen. Der von ihm zum experimentellen Nachweis des Verfahrens implementierte Demonstrator stieß auf großes Interesse, wurde u. a. erfolgreich in einer NATO-Messkampagne eingesetzt und wird von PSR zukünftig weiter genutzt. »Am Fraunhofer FHR gibt es beste Voraussetzungen erfolgreich zu forschen, nicht zuletzt durch die tolle Infrastruktur und Ausstattung der Labore sowie die hohe fachliche Kompetenz der Mitarbeitenden. Doch die enge Zusammenarbeit mit der Bundeswehr hat die hohe Qualität der gewonnenen Ergebnisse erst möglich gemacht«, resümiert er seine Promotionsbedingungen.

DR. CHRISTOPH WASSERZIER

»Noise Radar on Moving Platforms«

Tor Vergata Universität Rom

KONTAKT

+49 228 9435-228

christoph.wasserzier@fhr.fraunhofer.de

Christoph Wasserzier

Noise Radar On Moving Platforms



ÜBERBLICK



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 und Grundfinanzierung von Bund und Ländern. Im Jahr 2020 erwirtschaftete das Fraunhofer FHR im wehrtechnischen und im zivilen Institutsteil einen Gesamtertrag in Höhe von 38,0 Mio. €.

Zum Jahresende 2020 waren am Fraunhofer FHR insgesamt 390 Mitarbeitende beschäftigt. Davon sind 207 unbefristet und 129 Personen befristet beschäftigt. Hinzu kommen noch 54 Studierende und Auszubildende.

KONTAKT

Dipl.-Volksw. Jens Fiege

+49 151 613 653 67

jens.fiege@fhr.fraunhofer.de

FRAUNHOFER FHR IN ZAHLEN

BUDGETENTWICKLUNG



LEHR-
VERANSTALTUNGEN

WS 19/20 SS 20

15 11

ABSCHLUSS
ARBEITEN

23 MASTER
PROMOTIONEN

4

HIWIS, PRAKTIKANTEN,
AZUBIS

BEFRISTET



UNBEFRISTET

4
PROFESSUREN

191 MEDIENANALYSE
BEITRÄGE IN DEN MEDIEN
179 Mio. ERREICHTE KONTAKTE

ZEITSCHRIFTENAUFsätze

REVIEWS LETTER NOTE

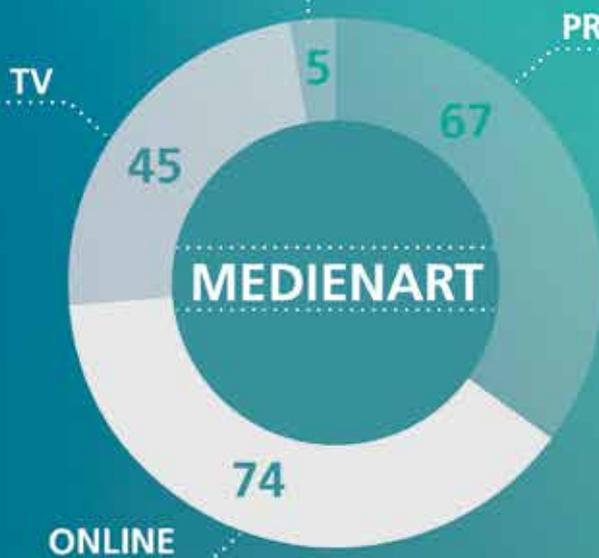


KONFERENZBEITRÄGE

NACHRICHTENAGENTUREN

PRINT

TV



ONLINE-VORTRAGSSERIE
»RADAR IN AKTION«:

ONLINE-VORTRÄGE **20**
96 TEILNEHMER PRO VORTRAG
 IM DURCHSCHNITT
 TEILNEHMER INSGESAMT **812**
 BEWERTUNG DER TEILNEHMER **93%** SEHR GUT
 ODER GUT



deutsch **1608**
englisch **1525**



1095



1130

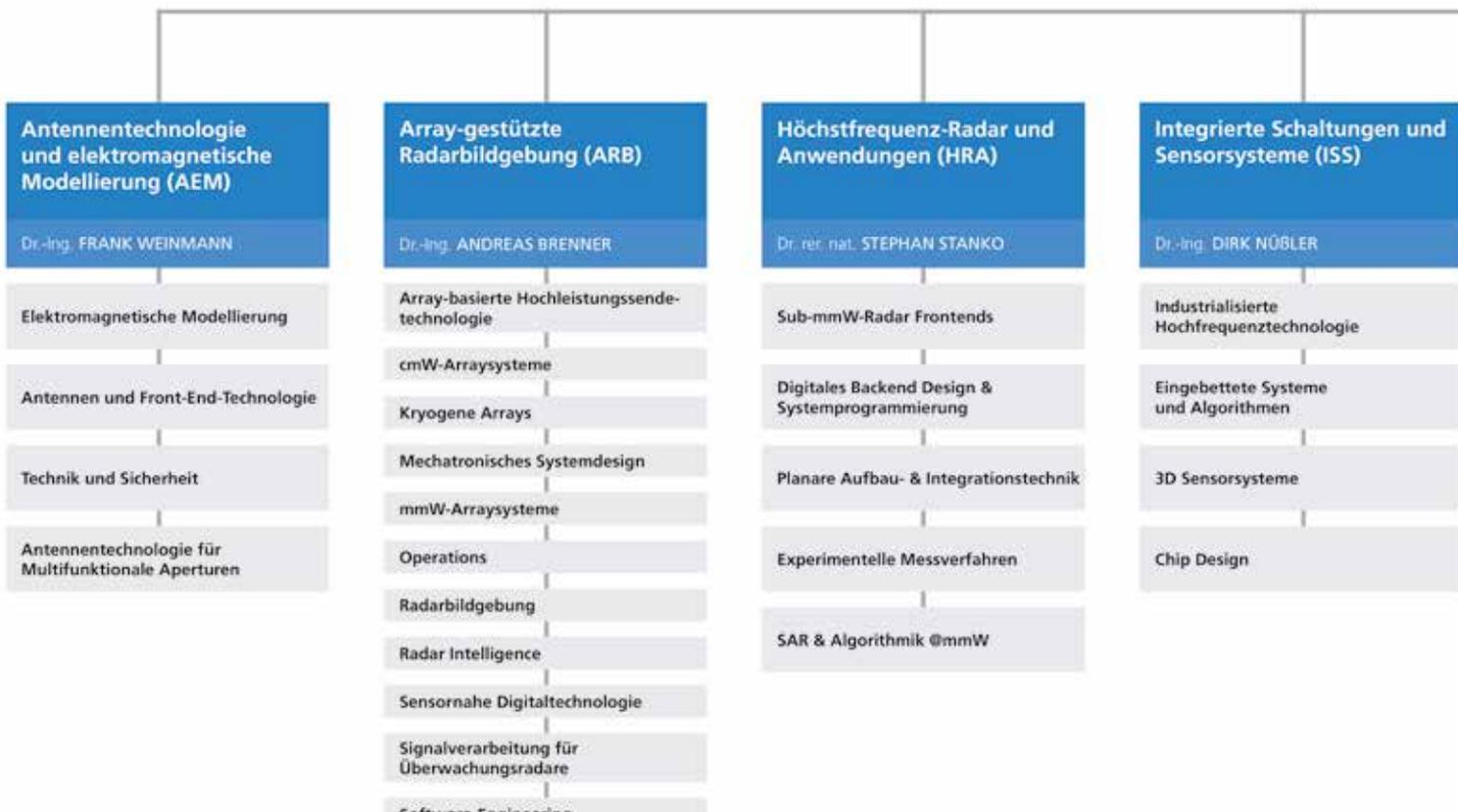


1589



179

ORGANIGRAMM



INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZTECHNIK FHR

Institutsstandorte

Hauptstandort	Wachtberg
Nebenstandorte	Aachen Bochum Siegen

RWTH Aachen

Institut für Hochfrequenztechnik

Director: Prof. Dr.-Ing. DIRK HEBERLING

Forschungsgruppe Aachen

Dr.-Ing. THOMAS DALLMANN

Forschungsgruppe Bochum

Prof. Dr.-Ing. NILS POHL

Forschungsgruppe Siegen

Prof. Dr.-Ing. JOACHIM ENDER

Stabsstellen

Kognitives Radar (KR)

Dr.-Ing. STEFAN BRÜGGENWIRTH

Nicht-kooperative Identifizierung

UWB-Radar

Adaptive Wahrnehmung

Radararchitekturen

Maschinelles Lernen für Radaranwendungen

Passive und störteste Radarverfahren (PSR)

Prof. Dr. DANIEL O'HAGAN

Passive Sensorik und elektronische Gegenmaßnahmen

Passiver Sensorverbund

Experimentalsysteme

Passive Coherent Location

Radar zur Weltraumbeobachtung (RWB)

Dr.-Ing. LUDGER LEUSHACKE

Verfahren zur Weltraumbeobachtung

TIRA Antennensystem und Infrastruktur

TIRA Hochfrequenzsysteme & Radarbetrieb

TIRA Signalverarbeitung & Digitale Systemtechnik

Weltraumaufklärung

Weltraumlage

Verwaltung

Lk. /wv. HSG ULF HERZER

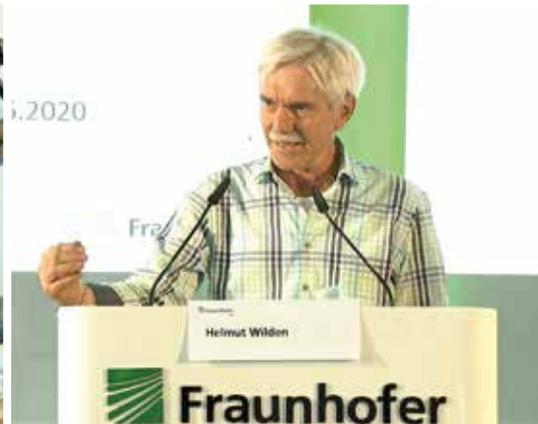
Finanzen & Controlling

Einkauf & Gerätewirtschaft

Personal

Gebäudemanagement & Technik

Informationstechnik



DAS KURATORIUM

Das Kuratorium begleitet unsere Forschungsarbeit und berät die 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 DEFENCE GmbH & Co. KG

Röthenbach a. d. Pegnitz

Dr. Gerhard Elsbacher

MBDA Deutschland GmbH

Schrobenhausen

Prof. Dr.-Ing. Martin Vossiek

Universität Erlangen-Nürnberg

Erlangen

Hans Hommel

Hensoldt

Ulm

Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

Universität Ulm

Ulm

Dr. Holger Krag

ESA / ESOC

Darmstadt

MinRat Norbert Michael Weber

Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)

Bonn

Prof. Dr.-Ing. habil. Otmar Loffeld

Universität Siegen

Siegen

Winfried Wetjen

OHB-System AG

Bremen

Prof. Dr.-Ing. Ilona Rolfes

Ruhr-Universität Bochum

Bochum

Aufgrund der Corona-Einschränkungen war die Kuratoriumssitzung am 26.6.2020 anders als gewohnt: Nur wenige Teilnehmende waren persönlich vor Ort, die meisten wurden erstmalig in der Institutsgeschichte virtuell zugeschaltet. Den Bericht des Vorstands übernahm dieses Mal Dr. Markus Zirkel, Hauptabteilungsleiter Recht der Fraunhofer-Gesellschaft.

- 1 Die HAGE3D ermöglicht einen Druck sowohl mit Filament als auch mit Granulat. Der maximale Druckraum beträgt 1200mm x 1200mm x 1000mm im 3-Achs-Betrieb, während der 5-Achs-Betrieb erlaubt komplexe Bauteile ohne Stützmaterial zu drucken, was Zeit und Material spart.
- 2 Im Rahmen von FMD wurde in ein Messlabor im Millimeterwellenbereich investiert. Die Innenansicht der echofreien Messkammer zeigt eine Messvorrichtung zur Antennencharakterisierung, aber auch Teilsysteme und vollständige Prototypen können beurteilt werden.

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 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 Fraun-

hofer 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 und befindet sich bereits im Testbetrieb. Aktuell 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.



1



2

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.

Prototypen von Platinen kurzfristig herstellen & testen

Über die Investitionsmittel der FMD wurden unter anderem Laserfräsen, *Placer* und *Bonder* angeschafft, um Prototypen von Platinen herzustellen – und das kurzfristig und schnell. Damit lassen sich sowohl Teilsysteme erzeugen – etwa zur Signalgenerierung – als auch komplette Radarsysteme. Zur Testung der Teilsysteme werden die Platinen mit Hilfe eines *On-Wafer*-Messplatzes direkt innerhalb der Schaltungen im

Hochfrequenzbereich bis 500 GHz vermessen. Durch den FMD-Gerätepark am Fraunhofer FHR können diese Teilsysteme für ihren Einsatzzweck bis einem Terahertz vermessen werden. Unter anderem wird hierzu eine echoarme Messkammer genutzt, die die Charakterisierung von Teilsystemen, Objekten und Materialien ab acht Gigahertz erlaubt. Beispielsweise kann die erwartete Abstrahlungsleistung von aufgebauten *Radar-Front-Ends* frequenzabhängig überprüft werden. Ein Klimaprüfschrank komplettiert die Messmöglichkeiten, hier lassen sich die Systeme unter verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchten untersuchen. Mit Hilfe unterschiedlicher Software lassen sich die Messgeräte gezielt mit bestimmten Parametern wie Signalform und Rauschen ansteuern und auf der Empfangsseite auswerten. Dadurch kann das Fraunhofer FHR verschiedene Einsatzszenarien für die Teilsysteme simulieren und direkt auf bestimmte Eigenschaften wie der Signallinearität testen.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

KONTAKT

Daniel Behrendt

Tel. +49 151 120 101 64

daniel.behrendt@fhr.fraunhofer.de

- Bei Fragen der Verteidigung ist Radar eine Schlüsseltechnologie – klassische Einsatzgebiete 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 und in Deutschland kommerzialisiert.
- Auch im Bereich des kognitiven Radars, das seine Parametrisierung selbst vornimmt, konnten erste Ergebnisse erzielt werden.

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 Hunderstel 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. Es gelang die Markteinführung eines solchen Systems zur Luftraumüberwachung von Windkraftanlagen im Geschäftsfeld Mensch und Umwelt.

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 Radarabbildungen 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.



Kontakt:
Geschäftsfeldsprecher Verteidigung

Dr.-Ing.
UDO USCHKERAT

Tel. +49 151 721 243 27
udo.uschkerat@fhr.fraunhofer.de

- 1 Bistatisches SAR-Bild eines Flugplatzes und eines Dorfes, aufgenommen mit dem Erdbeobachtungssatelliten TerraSAR-X als Sender und dem fliegenden Radarsystem PAMIR als Empfänger.
- 2 HF-Modul zur Synchronisierung von Radar-Sender und abgesetzten Empfängern.
- 3 Deep-Learning Ansatz zur Klassifizierung von Luftzielen mit Radar.

VERNETZTE HF-SENSORIK – SCHLÜSSEL-TECHNOLOGIE FÜR FCAS UND MGCS

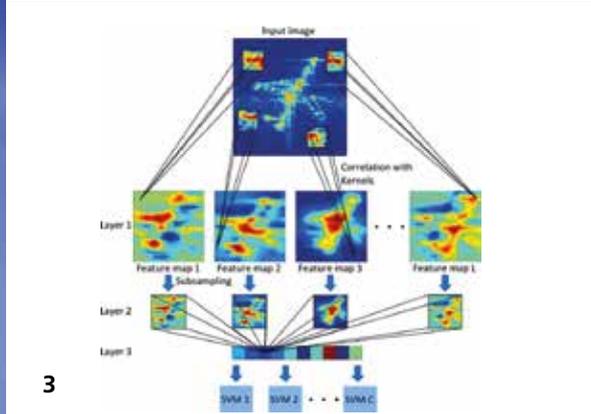
Zwei Großprojekte stehen bei der Bundeswehr auf dem Plan: Das *Future Combat Air System FCAS*, in dem ein neues Kampfflugzeug samt unbemannten Begleitflugzeugen entwickelt werden soll, und das *Main Ground Combat System MGCS*, bei dem die Entwicklung eines neuen Panzers vorangetrieben wird. Die Nato arbeitet am Großprojekt AFSC. Alle drei Großprojekte stellen komplexe *System-of-Systems* dar, bei denen vernetzte HF-Sensorik notwendig ist – eine Kernkompetenz des Fraunhofer FHR.

Piloten in Kampfflugzeugen müssen viel leisten: Es gilt, den Flieger in der Luft zu halten, zu navigieren und quasi nebenbei auch noch das Radar zu bedienen und auszuwerten. Im deutsch-französisch-spanischen Großprojekt »*Future Combat Air System FCAS*« soll daher einerseits das Automatisierungsniveau deutlich steigen, um die Piloten zu entlasten. Andererseits ist geplant, dass die bemannten Kampfflugzeuge künftig von Drohnen mit integrierter HF-Sensorik begleitet werden – auf diese Weise können deutlich mehr Lageinformationen generiert werden. Die Drohnen werden dazu mit Radar- bzw. HF-Empfangssystemen versehen, gemeinsam mit dem Flugzeug können sie ein multistatisches Radar bilden.

Dies kann nur über vernetzte HF-Sensorik gelingen. Entwickelt wird eine solche am Fraunhofer FHR. Über vernetzte Sensoriken lassen sich Menschenleben schützen, da sich die bemannte Plattform nicht in Bekämpfungsreichweite begeben muss, die Rundumsicht verbessern und die Aufklärung optimieren. Auch die Klassifizierung des Ziels gelingt mit einem Multi-Plattform-System besser, es lässt sich aus den Aufnahmen also deutlich besser darauf schließen, mit was für einem Objekt man es zu tun hat.

Elementar für die vernetzte Sensorik ist die Synchronisation zwischen Sendern und Empfängern: Die Systeme müssen,

auf Bruchteile der Wellenlänge genau, denselben Takt haben – ansonsten würde die Qualität der Abbildungen sinken. Mit dem neuen Synchronisierungsmodul (Abb. 2) kann dies über die normale Radar-Antenne erfolgen. Auch wurde am Fraunhofer FHR bereits nachgewiesen: Es kann ein bistatisches SAR-Bild mit einem Satellitenbeleuchter als Sender und dem luftgestützten Radarsystem PAMIR als Empfänger erzeugt werden (Abb. 1). Ein weiterer Teil der Entwicklungsaufgaben liegt in der intelligenten Signalverarbeitung und der Softwareentwicklung. Dies wird auch unter dem Begriff des »Kognitiven Radars« zusammengefasst – schließlich kommen hier Verfahren der Künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens zum Einsatz (Abb. 3). Und natürlich gehört auch die Hardware dazu, etwa kompakte breitbandige und energieeffiziente Radarsysteme. Dazu wird auch auf neuartige Fertigungsverfahren und Materialien gesetzt. Alle Kompetenzen, die für die Entwicklung vernetzter Sensorik geboten sind, sind am Fraunhofer FHR vorhanden – die Forscherinnen und Forscher arbeiten abteilungsübergreifend zusammen. Die für FCAS nötigen Basistechnologien sind bereits entwickelt. Und, das ist einmalig in Deutschland: Am Fraunhofer FHR gibt es sogar schon erste experimentelle Prototypen des multistatischen Radars. Mit diesem konnten die theoretischen Ergebnisse auf dem Flugplatz Mönchsheide bei einer Messkampagne bereits verifiziert werden. Während zwei Radarsensoren auf dem



Boden betrieben wurden, befand sich ein Empfänger am FHR-eigenen Ultraleichtflugzeug Delphin. Ein weiteres Flugzeug kreiste als »Zielobjekt« über der Mönchsheide.

Vernetzte HF-Sensorik am Boden

Nicht nur in der Luft, auch am Boden spielt vernetzte HF-Sensorik eine zunehmend wichtigere Rolle. So müssen Panzer einer immer größeren Kampfkraft widerstehen – sie werden daher stets dicker gepanzert. Allerdings werden sie dadurch immer schwerer, das Überqueren von Brücken kann da schnell schwierig werden, der Transport per Luft und Schiff rückt in den Bereich des Unmöglichen. Die Bundeswehr legt daher mehrere kleine Fahrzeuge zusammen: Gemeinsam sollen sie die gleiche Kampfkraft haben wie ein großer Panzer, allerdings durch Sensorik besser geschützt werden können. Im Projekt »Main Ground Combat System MGCS« entwickeln Deutschland und Frankreich einen neuen Kampfpanzer, der langfristig durch autonom fahrende Begleitfahrzeuge unterstützt werden soll. In Gebieten ohne Infrastruktur birgt die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander jedoch Herausforderungen. Eine Lösung entwickelt das Fraunhofer FHR: Es nutzt die Sensorik gleichzeitig als Kommunikationsmittel.

In weiteren aktuellen Forschungen arbeitet das Fraunhofer FHR daran, die Auflösung der Radarabbildungen zu verbessern. Möglich ist dies beispielsweise, indem die Radarsysteme zweier Fahrzeuge auf den gleichen Punkt schauen – dies würde sowohl die Detektionsfähigkeit auf größeren Entfernungen

als auch die Auflösung wesentlich verbessern. Mit einem bistatischen Radar ließe sich die Auflösung ebenfalls immens verbessern und selbst *Stealth Effekte* umgehen. Auch hier besitzt das Fraunhofer FHR eine große Expertise.

AFSC: Ein Großprojekt der Nato

Wichtig sind vernetzte Sensoriken auch im Großprojekt AFSC, kurz für *Alliance Future Surveillance and Control*. AFSC ist ein Nachfolgeprogramm für AWACS – dieses betrifft Bodenstationen ebenso wie bemannte und unbemannte fliegende Plattformen und Satellitenstationen. Auch hier sind Radarsysteme, insbesondere die Synchronisierung, eine wichtige Grundlage. Eine Grundlage, für die das Fraunhofer FHR die nötigen Technologien entwickelt.

KONTAKT

Dr.-Ing. Stefan Brüggewirth

+49 228 9435-173

stefan.brueggewirth@fhr.fraunhofer.de

Prof. Dr. Daniel O'Hagan

+49 228 9435-389

daniel.ohagan@fhr.fraunhofer.de

Dr. rer. nat. Stephan Stanko

+49 228 9435-704

stephan.stanko@fhr.fraunhofer.de

- 1 Polarimetrisches SAR-Bild (Rot: co-polar, Grün: cross-polar) des Flugplatzes Mönchsheide.
- 2 Vierkanaliges Radarsystem MIRANDA35 im Wingpod des Ultraleichtflugzeugs »Delphin«, zu erkennen sind die vier Empfangsantennen und die Sendeantenne des Radar-Frontends.
- 3 Bodenstation mit Telemetrieantenne auf einem Feld südlich von Bad Breisig während der Messkampagne 2020.

DEUTSCH-SCHWEIZER KOOPERATION: MINIATURISIERTES RADARSYSTEM MIT LIVESTREAM VOM FLUGZEUG ZUM BODEN

Bildgebende Verfahren wie Radar sind für die Bundeswehr äußerst wichtig, vor allem Luftaufnahmen geben viel Aufschluss. Mit einem Radarsystem, das das Fraunhofer FHR in einer deutsch-schweizerischen Kooperation entwickelt hat und stets weiter optimiert, lassen sich bewegte Ziele ebenso erkennen wie Höhenunterschiede. Während eines Testflugs konnten die erfassten Daten direkt zur FHR-eigenen Bodenstation geschickt werden.

Ein Bild sagt mehr als tausend Worte? Dieses Sprichwort kommt nicht von ungefähr. Auch die Bundeswehr weiß bildgebende Verfahren zu schätzen – vor allem den guten Überblick aus der Luft. Hat sich seit dem letzten Überflug etwas in der Umgebung verändert? Bewegt sich etwas am Boden, beispielsweise ein Panzer? In einer deutsch-schweizerischen Kooperation arbeiten das Fraunhofer FHR, die Universität Zürich und die Armasuisse daran, solche Fragen via Radar bestmöglich zu beantworten. Mit ihrem hochauflösenden, vierkanaligen SAR – kurz für »Synthetisches Apertur Radar« – lassen sich Änderungen erfassen, bewegte Objekte identifizieren und sogar Höhenunterschiede bestimmen.

Die vier Empfangsantennen des Systems sind »kreuzförmig« angeordnet – auf allen vier Kanälen werden gleichzeitig Daten aufgezeichnet. Auf diese Weise lassen sich »along track«-Informationen gewinnen, um z. B. bewegte Ziele am Boden zu erkennen, und gleichzeitig die »cross track«-Daten aufzeichnen, aus denen sich mittels Interferometrie z. B. Höhenunterschiede detektieren lassen. Zusätzlich zu den Radardaten nimmt das System optische Kamerabilder auf, die ebenfalls mit zum Boden geschickt werden und die Interpretation der Radarabbildungen erleichtern. Einer der vier

Empfangskanäle ist zudem auf einen polarimetrischen Betrieb ausgelegt: Die ausgesandten Radarwellen sind in einer Ebene linear polarisiert. Treffen diese auf Kanten, Ecken und ähnliche menschengemachte Dinge, kann sich ihre Polarisationsrichtung drehen – aus dieser Drehung wiederum lassen sich wertvolle Schlüsse ziehen.

Testflüge mit Ultraleichtflugzeug

Die deutsch-schweizerische Kooperation besteht bereits seit mehr als zehn Jahren: Das Fraunhofer FHR entwickelt die Hardware (Radarsystem MIRANDA35) und organisiert die Testflüge, die Universität Zürich übernimmt die Auswertung. Finanziert werden die Entwicklungen von der Armasuisse. Einmal im Jahr müssen die neu implementierten Techniken einen Praxistest bestehen: Liefern sie die gewünschten Ergebnisse? Damit das System auch vom Ultraleichtflugzeug »Delphin« des Fraunhofer FHR getragen werden kann, wurde es nun verkleinert: Dazu mussten alle Komponenten des Radarsystems in einem kleinen Wingpod unter der rechten Tragfläche untergebracht werden. Eine große Herausforderung bestand darin, die Traglast der »Delphin« nicht zu überschreiten.



Die Testflüge mit dem Ultraleichtflugzeug fanden vom 21. bis 24. September 2020 vom Flugplatz Mönchsheide aus statt – es wurden Koblenz, das Rheintal und die Umgebung überflogen. Um bewegte Ziele zu detektieren, überflog die "Delphin" mehrere Male auch die Rheinfähre in Königswinter. Ein GPS-Sender auf der Fähre lieferte Kontrollwerte. Die Ergebnisse können sich sehen lassen: Alle Komponenten sind voll funktionsfähig und liefern die gewünschten hochaufgelösten SAR-Bilder.

Besonderheiten: Online-SAR und eigene Bodenstation

Die Daten werden bereits an Bord der "Delphin" in Echtzeit prozessiert und als Bilddateien zur Bodenstation geschickt. Denn die Rohdaten wären viel zu groß, um sie während des Fluges gen Boden zu schicken. Ein solches Online-SAR bietet einen erheblichen Vorteil: Mitarbeitende am Boden erhalten die Abbildungen noch während des Überflugs – sie können dem Piloten beispielsweise umgehend signalisieren, eine interessante Stelle noch einmal zu überfliegen. Eine weitere Besonderheit: Das Fraunhofer FHR betreibt eine eigene Bodenstation und ist somit komplett autark. Von dort lässt sich das Radar steuern, der Flugtrack managen und überwachen

und Daten in einem Umkreis von 40 bis 50 Kilometern vom Flugzeug empfangen. Da die Station in einem Lieferwagen untergebracht ist, ist sie mobil.

In einer Weiterentwicklung arbeitet das Fraunhofer FHR nun daran, auch in großen Höhen mit voller Bandbreite (hoher Entfernungsauflösung) messen zu können. Der Hintergrund: Das Radarsystem beleuchtet den Boden unter einem bestimmten Winkel. Steigt das Flugzeug höher, vergrößert sich das beleuchtete Gebiet – die Datenmenge erhöht sich. Mit einer Erweiterungsplatine soll das System künftig auch in größeren Höhen hochaufgelöste Bilder liefern.

KONTAKT

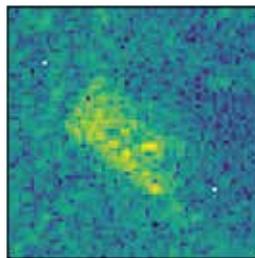
Dr. rer. nat. Michael Caris

+49 228 9435-353

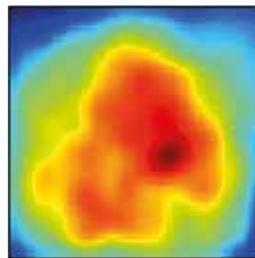
michael.caris@fhr.fraunhofer.de

Abbildung eines Panzers: Radardaten (a), Heat Map (b) und der Vergleich der ausgewerteten Abbildungsstellen (c).

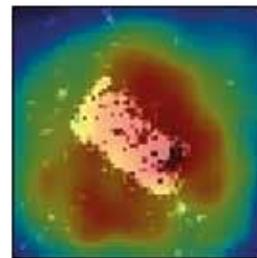
(a) Input



(b) Heatmap



(c) Overlay



KÜNSTLICHER INTELLIGENZ AUF DIE FINGER GESCHAUT

Eine automatische und smarte Auswertung von Daten wird in vielen Bereichen gebraucht. Üblicherweise setzt man dazu auf Künstliche Intelligenz, die wiederum vielfach auf Neuronalen Netzen basiert. Was diese bei ihrer Entscheidungsfindung allerdings genau tun, ist in den meisten Fällen unbekannt. Das Fraunhofer FHR untersucht nun die Prozesse, die bislang noch im Dunklen lagen.

Künstliche Intelligenz und Neuronale Netze sind Trendthemen, die sich durch zahlreiche Bereiche ziehen – von der Mobilität über Produktionsprozesse bis hin zur Verteidigung. Schließlich werden die erhobenen Datenmengen zunehmend größer, daher ist stetig mehr Unterstützung bei ihrer Auswertung nötig. Zwar liefern die Neuronalen Netze meist gute Ergebnisse, doch: Üblicherweise ist nicht bekannt, wie sie zu diesen Ergebnissen kommen, die Neuronalen Netze gleichen einer Black Box. Mitunter stützen sie sich auf unwichtige Informationen im Bild – so analysierten die Neuronalen Netze in einem in der Wissenschaftsliteratur beschriebenen Projekt, bei dem es um die Klassifikation von Schiffen in optischen Bildern ging, anstelle der Schiffe das Wasser!

Tun die Neuronalen Netzwerke das, was sie tun sollen? Sind ihre Ergebnisse also verlässlich? Diesen Fragen gehen Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer FHR unter dem Thema »Erklärbare KI« oder auch »*Explainable AI*« nach. Als Basis dienen öffentliche Radardaten, die während zweier Überflüge über ein Feld gewonnen wurden. Auf dem Feld wurden zuvor zehn Ziele platziert – Panzer, LKW, gepanzerte Fahrzeuge sowie ein Bulldozer. Die Radardaten, die während des ersten Überflugs erzeugt wurden, dienten als Trainingsdaten. Beim zweiten Überflug wurden die Testdaten erhoben, allerdings unter einem geänderten Winkel. Die Ziele wurden nicht bewegt, sie verblieben an Ort und Stelle. Es wäre also durchaus

möglich, dass die Neuronalen Netze die Radaraufnahmen über den Hintergrund klassifizieren, beispielsweise über einen Baum, der neben dem Panzer steht.

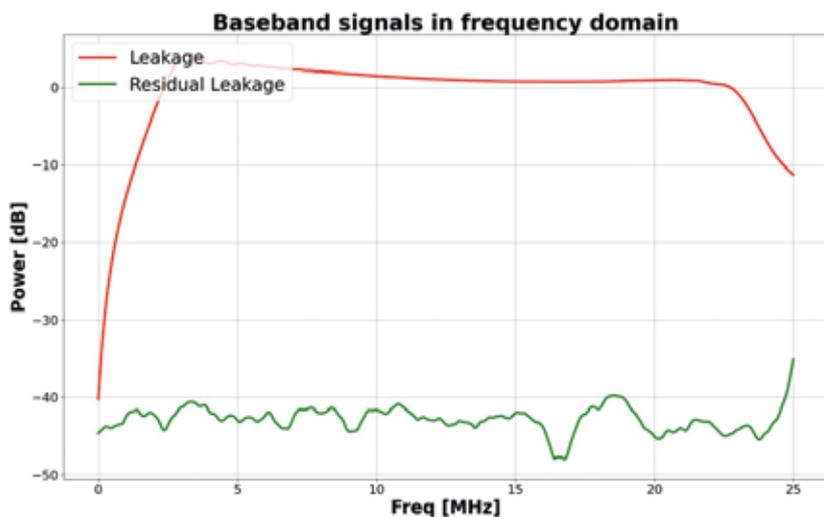
Zur Analyse dienten sowohl *Feature Maps* als auch *Heat Maps*. Die Algorithmen dafür sind bekannt, allerdings wurden sie bislang noch nicht auf die Auswertung von Radardaten angewendet. In den *Feature Maps* werten die Algorithmen die Zwischenergebnisse der einzelnen Lagen aus, in denen die Neuronalen Netze die Daten analysieren. Dabei stehen Besonderheiten wie Kanten oder die Länge des Ziels im Vordergrund. Bei tiefen Neuronalen Netzen, auch *Deep Neural Networks* genannt, wird diese Art der Analyse allerdings schnell unübersichtlich, denn: Je tiefer das Netzwerk wird, desto komplexer wird auch die *Feature Map*. Daher wurden in einer zweiten Analyse alle wichtigen Features, auf die die Neuronalen Netze »schauen«, in einer *Heat Map* zusammengeführt. Die Ergebnisse sprechen für die Neuronalen Netze des Fraunhofer FHR: Sie analysieren wie gewünscht die Ziele, nicht die Hintergründe.

KONTAKT

M. Sc. Simon Wagner

Tel. +49 228 9435-365

simon.wagner@fhr.fraunhofer.de



Empfangssignal im Frequenzbereich mit (grün) und ohne (rot) RPC.

BLINDBEREICHE BEIM RADAR VERMEIDEN

Sei es in der Kommunikation, sei es beim Radar: Sende- und Empfangsbetrieb können nicht gleichzeitig betrieben werden – das starke Sendesignal würde die Empfangsverstärker in die Übersteuerung treiben. Am Fraunhofer FHR werden nun Technologien entwickelt, die einen gleichzeitigen Sende- und Empfangsbetrieb erlauben. Blindbereiche lassen sich so beim Radar vermeiden und der Kommunikationsdurchsatz wird verdoppelt.

Mitunter ist Enge abträglich. So beispielsweise in Radar- oder Kommunikationssystemen mit ihren leistungsstarken Sendeeinheiten und empfindlichen Empfängerstufen. Vorwiegend kommt hier aus Kosten- und Platzgründen nur eine Antenne zum Einsatz. An einen gleichzeitigen Betrieb von Senden und Empfangen ist da gar nicht erst zu denken. Denn wenn die Sendestufe ihr leistungsstarkes Signal in die Welt abstrahlen möchte, wird ein Teil dieser Leistung in den Empfangszweig gekoppelt. Dieses bringt die empfindlichen Empfänger sehr schnell in die Sättigung – im ungünstigsten Fall können sie dadurch beschädigt werden. Bisher behilft man sich, indem man Sender und Empfänger abwechselnd in Betrieb nimmt. Bei Kommunikationssystemen schaffen auch unterschiedliche Frequenzen für Sende- und Empfangszweig und sehr steilflankige Filter im *Frontend* Abhilfe. Beim Radar ist dieses jedoch nicht möglich. So verursacht der abwechselnde Betrieb einen Totbereich – einen Bereich vor dem Radar, wo dieses keine Ziele detektieren kann. Denn die Signale, die von nah gelegenen Objekten reflektiert werden, erreichen den Empfänger bereits, während der Sender noch sendet und der Empfänger ausgeschaltet ist. Die Betreiber solcher Anlagen wünschen sich daher, gleichzeitig senden und empfangen zu können.

Gleichzeitiger Betrieb von Radar und Kommunikation

Das Fraunhofer FHR arbeitet im Projekt STAR daran, eine solche gleichzeitige Nutzung zu realisieren. Möglich wird es

über ein mehrstufiges Verfahren. In der ersten Stufe wird das momentane Sendesignal in einem parallelen Zweig entsprechend modifiziert und in den Empfangszweig eingekoppelt, so dass das Übersprechsignal ausgelöscht wird – man spricht dabei auch von *Reflected Power Cancellation RPC*. Auf diese Weise können Signale beliebiger Wellenform ausreichend unterdrückt werden. Für den Feinschliff sorgt ein digitaler Ansatz: Er bereitet das Auslöschsignal so vor, dass dieses über eine sehr große Bandbreite erfolgen kann. Ein Prototyp existiert bereits, erste Messungen laufen momentan.

Der Vorteil dieser Technologie: Blindbereiche beim Radar lassen sich vermeiden. Was die Kommunikation angeht, so ist eine Verdopplung der Datenrate möglich – das gleichzeitige Senden und Empfangen vorausgesetzt. Möglich ist sogar, Radar und Kommunikation miteinander zu verknüpfen und einen gleichzeitigen Betrieb zu ermöglichen. Schließlich benötigen beide das gleiche *Frontend*.

KONTAKT

Dr.-Ing. Matthias Weiß

Tel. +49 228 9435-267

matthias.weiss@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.



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. Navigations- oder Kommunikationssatelliten) 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 Weltraummächte wie Indien und China testeten Antisatellitenraketen, um ihre Fähigkeiten darzustellen. Die USA etablierten 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 Weltraumforschungsfeldern zugute.



Kontakt:
Geschäftsfeldsprecher Weltraum

M. Sc.
YOUNGKYU KIM

Tel. +49 160 2633 836
youngkyu.kim@fhr.fraunhofer.de

Schematische Ansicht Radarnetzwerk zur Weltraumüberwachung bestehend aus GESTRA EUSST Empfänger (Vordergrund) und GESTRA System (Hintergrund).



RADARNETZWERKE IN DER PRAXIS: GESTRA MEETS EUSST

Netzwerke aus mehreren Radareinheiten sind einzelnen Radarsystemen weit überlegen – das zeigte eine Studie des Fraunhofer FHR. Im Projekt GESTRA EUSST soll dies nun auch in der Praxis demonstriert werden. Dafür soll das Weltraumbeobachtungsradar GESTRA mit einem neu zu entwickelnden Empfänger namens EUSST gekoppelt werden. Künftig sollen die beiden Systeme dann räumlich getrennt, jedoch miteinander vernetzt genauere Informationen liefern.

Kommunikation, Navigation, Wettervorhersage, Fernsehen – all diese Dinge sind auf Satelliten angewiesen. Fällt einer davon aus, kann das unvorhergesehene Folgen haben. Doch ist ein solcher Ausfall keinesfalls unwahrscheinlich: Schließlich schwirren im erdnahen Orbit allerlei Schrottteile umher. Treffen sie auf einen Satelliten, kann die Wucht des Aufpralls diesen zerstören. Satellitenbetreiber haben daher ein großes Interesse daran, Schrottteilchen im Orbit aufzuspüren und ihre Flugbahnen zu bestimmen – und den Satelliten bei drohender Gefahr ein Ausweichmanöver fliegen zu lassen. Möglich macht dies das Radarsystem GESTRA, das seit 2014 vom Fraunhofer FHR aufgebaut und derzeit fertig gestellt wird. Größere Schrottteile erkennt GESTRA zuverlässig, allerdings sind der derzeitigen Auflösung Grenzen gesteckt. Schon während der Bauzeit von GESTRA stand daher die Überlegung an: Wie lässt sich die Auflösung von GESTRA verbessern, damit auch kleinere »Geschosse« zuverlässig erkannt werden können? Die Antwort liegt, wie eine Studie des Fraunhofer FHR zeigte (siehe Beitrag auf Seite 37), in Radarnetzwerken.

Praxistest für Radarnetzwerke

Im Projekt GESTRA EUSST, das Anfang 2021 startete, steht nun der Praxisnachweis an: Wie lassen sich Radarsysteme real zusammenschalten? Beauftragt wurde das Projekt vom

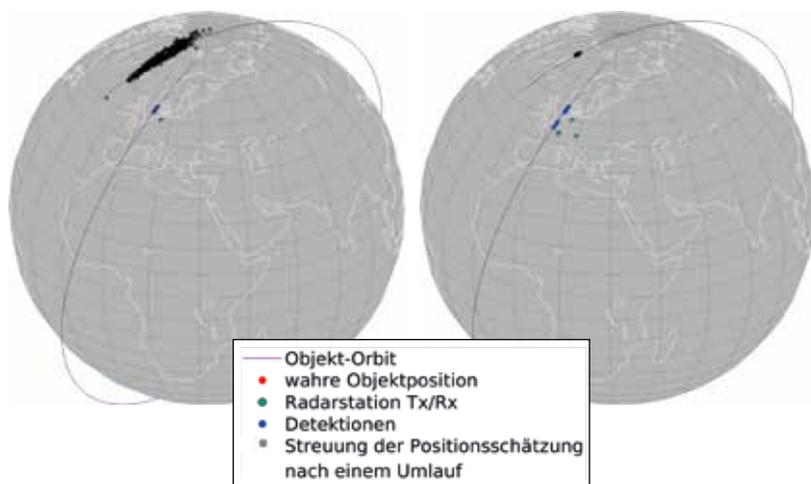
Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR. Im ersten Projektteil steht der Bau des Radarsystems namens EUSST an. Im zweiten Teil soll das »Betriebssystem« realisiert werden, das GESTRA und EUSST zusammenarbeiten lässt. Schließlich sollen zu Projektende beide Systeme zusammen einen funktionierenden Radarsensor mit deutlich verbessertem Auflösungsvermögen sowie präziserer Positions- und Bahnschätzung ergeben. Der Aufbau von EUSST ähnelt dem von GESTRA, allerdings erweitert um verschiedene Komponenten, die für den vernetzten Betrieb nötig sind. Auch soll EUSST, im Gegensatz zu GESTRA, ein reiner Empfänger ohne Sendeeinheit sein. GESTRA wird ebenfalls für die Zusammenarbeit optimiert: Vor allem die Software und die Algorithmen müssen für den Betrieb im Netzwerk angepasst werden. Ein weiterer Entwicklungspunkt liegt darin, die benötigte hochstabile Zeitsynchronisation zwischen den beiden Radarsystemen zu realisieren: In Form langzeitstabiler Atomuhren.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Markus Gilles

Tel. +49 228 9435-523

markus.gilles@fhr.fraunhofer.de



Vergleich der Detektionen und der daraus resultierenden Streuung der geschätzten Objekt-Position nach einem Umlauf des Orbits. Links: Einzelne Station, bestehend aus Sender (Tx) und Empfänger (Rx). Rechts: Multistatisches Netzwerk bestehend aus drei Stationen (Tx und Rx).

WELTRAUMÜBERWACHUNG MIT RADARNETZWERKEN

Gemeinsam ist man stärker – das gilt nicht nur für Menschen, sondern auch für Radarsysteme. Eine Studie des Fraunhofer FHR unter Mitwirkung des Fraunhofer FKIE zeigt: Schaltet man Radare zu Netzwerken zusammen, vergrößert dies den Überwachungsbereich, erlaubt eine präzisere Positionsbestimmung und steigert die Entdeckungswahrscheinlichkeit, da sich das Signal-zu-Rausch-Verhältnis und somit die Empfindlichkeit optimieren lässt.

Droht ein Zusammenstoß von Weltraumschrott mit einem Satelliten? Das Fraunhofer FHR entwickelt und betreibt verschiedene Radarsysteme, die den Weltraum überwachen und solche Fragen beantworten. Da die Anzahl der Trümmerteile rasant zunimmt und schon eine einzelne Schraube einen Satelliten außer Funktion setzen kann, stellt sich die Frage: Wie lässt sich die mit Radaren weiter verbessern? Eine Möglichkeit liegt in Radarnetzwerken. Während die Radareinheiten bei lokalen Netzwerken nah beieinanderstehen, befinden sie sich bei Netzwerken mittlerer Ausdehnung einige hundert Kilometer entfernt voneinander.

Radarnetzwerke bieten zahlreiche Vorteile

Welche Vorteile Radarnetzwerke bieten, wurde am Fraunhofer FHR in Kooperation mit dem Fraunhofer FKIE in einem dreijährigen Forschungsvorhaben, gefördert mit Mitteln vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Auftrag des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt DLR untersucht. Die Ergebnisse: Schauen die Radarsysteme in verschiedene Richtungen, lässt sich beispielsweise der Überwachungsbereich erheblich vergrößern. Blicken sie dagegen zum gleichen Objekt, lässt sich dessen Position deutlich präziser bestimmen, da die Empfänger jeweils aus unterschiedlichen Winkeln auf das Objekt schauen. Es lässt sich sogar durch Messung zu einem Zeitpunkt die Bewegungsrichtung bestimmen, während ein einzelnes Radar hierzu Beobachtungen

zu verschiedenen Zeiten benötigt. Auch die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist bei Radarnetzwerken höher als bei einzelnen Radarsystemen. Denn: Summiert man die Signale der einzelnen Radare im Netzwerk, so kompensieren sich die Rauschteile zum Teil gegenseitig, wodurch sich das Signal-zu-Rausch-Verhältnis optimieren und somit die Empfindlichkeit steigern lässt.

Zwar hängt es von den zu beobachtenden Objekten und der Art der Zusammenschaltung ab, wie weit sich die Leistung der Weltraumüberwachung steigern lässt, doch generell gilt: Die Leistung steigt kontinuierlich mit der Anzahl der Radare. Schaltet man im Idealfall der kohärenten Verarbeitung drei Empfänger zusammen, verbessert sich die Detektionsleistung um bis zu einem Faktor drei, bei vier Empfängern entsprechend um bis zu einem Faktor vier und so weiter. Ab Januar 2021 wird das Fraunhofer FHR seine Untersuchungen in einem dreijährigen Folgeprojekt mit dem DLR fortsetzen, gemeinsam mit dem Fraunhofer FKIE. Hier steht unter anderem das Ressourcenmanagement im Fokus – also die Frage, wie sich Radarnetzwerke möglichst effizient betreiben lassen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

KONTAKT

Rudolf Hoffmann

Tel. +49 228 60882-2242

rudolf.hoffmann@fhr.fraunhofer.de



GESTRA-Sendecontainer am finalen Standort in Koblenz.

PIONIERARBEIT BEI DER KOMMERZIALISIERUNG

Sei es die Bundeswehr, seien es Telekommunikationsunternehmen: Für Satellitenbetreiber ist es wichtig, diese vor Zusammenstößen mit Weltraumschrott zu bewahren. Möglich macht es das *Phased-Array-Radar* GESTRA, entwickelt vom Fraunhofer FHR. Nun arbeitet das Institut daran, GESTRA mit einem Industriepartner zu kommerzialisieren. Das Interesse ist sowohl national als auch international groß.

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 viel Weltraumschrott herum: Dieser stellt eine zunehmende Gefahr für die Satelliten dar. 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 hat das Fraunhofer FHR im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums als Experimentalsystem entwickelt und gebaut. Im September 2020 wurde das teilmobile Weltraumüberwachungsradar GESTRA an das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Weltraumlagezentrum übergeben.

Neue Wege beschreiten: Seite an Seite mit der Industrie

Nun arbeitet das Fraunhofer FHR daran, das System einer kommerziellen Nutzung zuzuführen. Das Interesse von potenziellen Endkunden, beispielsweise der Bundeswehr, an dem ersten deutschen Weltraumüberwachungsradar ist groß – nicht nur national, sondern weltweit. Die Herausforderung: Der Sensor befindet sich aktuell noch in einem Stadium, in dem er sich noch nicht unmittelbar kommerzialisieren lässt.

Um dieses Experimentalsystem in ein serienreifes, marktfähiges Produkt zu überführen, bedarf es einer langfristigen Zusammenarbeit mit einem oder mehreren Industriepartnern. Da GESTRA als sicherheitsrelevante Schlüsseltechnologie gilt, sollte es ein deutsches Industrieunternehmen sein.

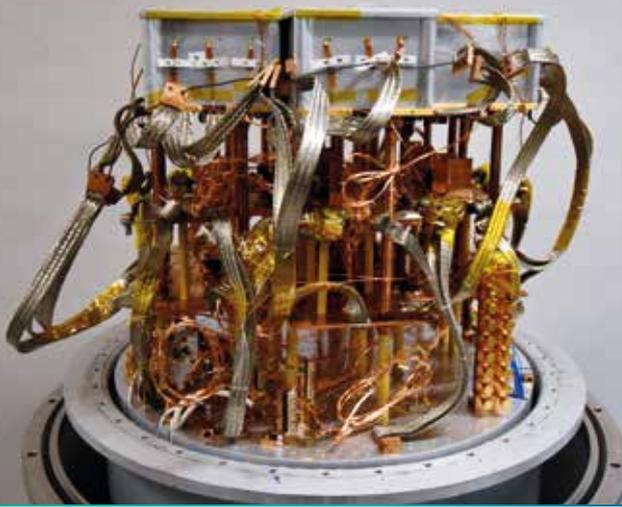
Das Fraunhofer FHR strebt eine enge Zusammenarbeit mit dem Partner an – schließlich soll der Know-how-Transfer sichergestellt werden. Auch wird es die entwicklungstechnischen Schritte als Berater und Know-how-Geber begleiten: Die Schritte hin zum fertigen Produkt sollen gemeinsam gegangen werden. So einfach dies zunächst einmal klingen mag: Die Kommerzialisierung eines so komplexen Systems hat es bei der Fraunhofer-Gesellschaft in dieser Dimension bislang noch nicht gegeben. Es existiert also keine Blaupause für die dafür benötigten Prozesse. Hier muss gewissermaßen Pionierarbeit geleistet werden, um auch für andere Großprojekte den Weg zu bereiten. Davon profitieren nicht nur Forschung und Industriepartner, sondern auch Endkunden, welche so frühzeitiger auf neue technologische Weiterentwicklungen zugreifen können.

KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH), BW Markus Postma

Tel. +49 228 9435-79043

markus.postma@fhr.fraunhofer.de



Skalierbares kryogenes 7-Element-Empfangsarray in Vorbereitung für die Hochfrequenzmessungen.

MIT TIEFGEKÜHLTEN RADAREMPFÄNGERN ZU HÖHERER EMPFINDLICHKEIT

Sollen kleinste Satelliten im Orbit überwacht werden oder soll möglichst weit via Radar ins All geschaut werden, ist eine gute Empfindlichkeit der Radarsysteme gefragt. Doch werden schwache Signale schnell vom Eigenrauschen der Empfänger überdeckt. Kryo-Technologie kann helfen: Werden die Empfänger auf vier Grad Kelvin gekühlt, ist eine verdoppelte Empfindlichkeit zu erwarten. Ein solcher Kryo-Empfänger wird derzeit am Fraunhofer FHR entwickelt.

Tausende *Cube-Sats* schwirren bereits im erdnahen Orbit umher – kleine Satelliten, mitunter nicht größer als eine Orange. Und es werden stetig mehr. Um diese mit Radargeräten sehen oder auch in weiter entfernte Bereiche des Alls schauen zu können, muss die Empfindlichkeit von Radargeräten stetig optimiert werden. Das Fraunhofer FHR setzt dazu auf Kühlung: Über Helium wird der Radarempfänger auf vier Grad Kelvin bzw. minus 269 Grad Celsius heruntergekühlt, also vier Grad über dem absoluten Nullpunkt. Bei diesen Temperaturen schwingen die Atomgitter kaum noch, das Eigenrauschen der Empfänger sinkt daher ebenfalls. Auf diese Weise könnte sich die Empfindlichkeit von Radarsystemen verdoppeln lassen, theoretischen Berechnungen zufolge.

Das Kühlmittel Helium wird dabei in einem Kreislauf geführt. Mit einem Kompressor wird es zunächst komprimiert – ähnlich wie das Kühlmittel im Kühlschrank – und dann an einen Kaltkopf gegeben, der in einem Vakuumbehälter steckt. Dort wird Helium wieder entspannt, wobei es seine Kälteenergie freisetzt. Da das System geschlossen ist, kann sich das Helium kaum verflüchtigen. Beim Aufbau eines solchen Kryo-Empfängers gibt es einige Herausforderungen zu meistern. Zum einen herrscht zwischen Vakuum und Außenraum ein Temperaturunterschied von fast 300 Grad – diese Wärmestrahlung gilt es abzufangen. Weiterhin müssen von außen

elektrische Kabel zugeführt werden, auch sie dürfen keine nennenswerte Wärme ins Vakuum leiten. Die dritte Herausforderung liegt im Vakuumbehälter selbst: Er muss nicht nur dem Druckunterschied zwischen Atmosphäre und Vakuum standhalten, sondern gleichermaßen thermisch isolieren und für bestimmte Hochfrequenzbereiche durchlässig sein. Über ein Hochfrequenzfenster lässt sich ein Kompromiss realisieren. Bei der Frage, welches Material sich für ein solches Fenster optimal eignet, sind zahlreiche verschiedene Kompetenzen gefragt, von der Hochfrequenztechnologie über die Mechanik bis hin zur Kältetechnik. Da Kryo-Technologie in der Radartechnik bisher noch wenig Einsatz findet, arbeitet das Fraunhofer FHR eng mit Radioastronomen des Max-Planck-Instituts Bonn sowie des CSIRO in Australien zusammen.

Ein erster Demonstrator ist bereits entwickelt, auch Tests zur Temperatur und zur Druckstabilität wurden durchgeführt. In weiteren Schritten stehen nun die Hochfrequenzvermessung und die Bestimmung der Rauschzahl des Systems an.

KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Fröhlich
Tel. +49 228 9435-769
andreas.froehlich@fhr.fraunhofer.de

- 1 *Das Weltraumbeobachtungsradar TIRA.*
- 2 *Cube-Sat: Satelliten dieser Größe kreisen aktuell schon zu Tausenden um die Erde.*
- 3 *Vom Menschen gemachte Objekte, die um die Erde kreisen - größtenteils Weltraumschrott.*

TIRA – WELTRAUMBEOBACHTUNGSRADAR DER ZUKUNFT

Im erdnahen Weltraum ändert sich die Lage dramatisch: Es wird zunehmend voller und die umherschwebenden Satelliten werden immer kleiner. Weltraumbeobachtungsradare müssen mit diesen Entwicklungen Schritt halten: Unter anderem sind höhere Auflösungen und eine hohe Empfindlichkeit gefordert. Das Weltraumbeobachtungsradar TIRA des Fraunhofer FHR bietet hierfür eine exzellente Basis – und wird derzeit für die zukünftigen Anforderungen fit gemacht.

Dort, wo man nur leeren Raum vermutet, wird es zunehmend voller: Getrieben durch Globalisierung, Digitalisierung, kostengünstige Technologien und stetige Miniaturisierung schwirren im erdnahen Weltraum unzählige Satelliten umher, aktive wie ausgemusterte, zudem eine immer größer werdende Menge Weltraumschrott. Stieg die Zahl der Erdtrabanten in der Vergangenheit noch linear an, so schnell sie mittlerweile nahezu exponentiell nach oben. Denn während früher nur Raumfahrtorganisationen wie ESA und NASA ihre Satelliten ins All schossen, steigen nun auch Google und Co. verstärkt ins Satellitengeschäft ein. Eine weitere Entwicklung: Die Satelliten werden immer kleiner, ihre Anbauten stets kompakter. Schließlich sind kleine Satelliten deutlich kostengünstiger, die Entwicklungszeiten kürzer – sie lassen sich bei einem Ausfall somit leichter ersetzen. Die Kleinsten von ihnen sind die sogenannten »Cubesats«, deren kleinstmögliche Einheit gerade einmal 11,35 x 10 x 10 Zentimeter groß ist. Wie stark diese Cubesats bereits im Weltraum vertreten sind, zeigt folgende Zahl: Im Jahr 2017 wurden für die nächsten fünf Jahre 18.000 Cubesat-Starts angemeldet. Bei einem solchen Gewusel im LEO – dem erdnahen Orbit, der sich zwischen 200 und etwa 2000 Kilometer über der Erdoberfläche befindet – wird ein geordneter, sicherer Betrieb von Satelliten immer schwieriger. Viele Satellitenbetreiber weichen daher bereits in größere Höhen aus. Je weiter die Satelliten vom Radar entfernt

sind, desto schwerer sind sie jedoch auch zu detektieren und abzubilden.

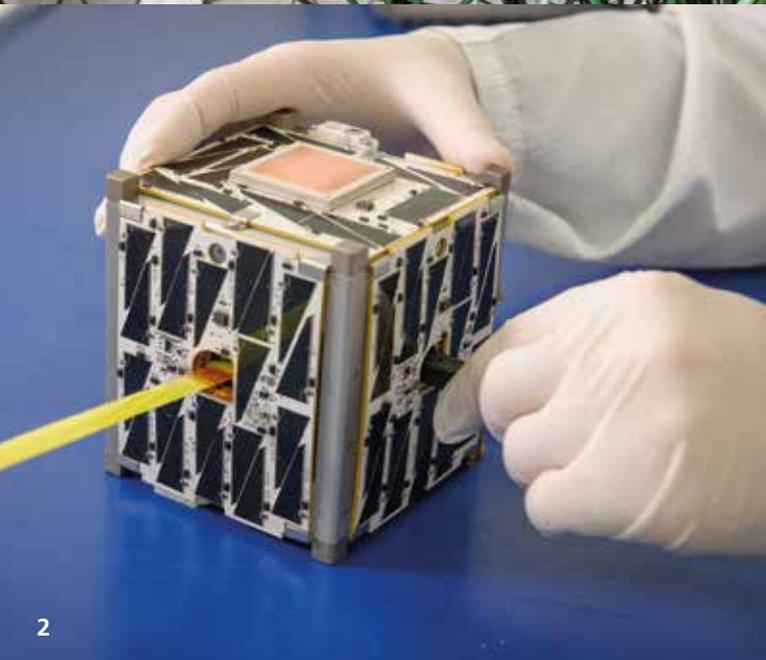
Besonders für hochwertige Satelliten wird der Bedarf unter anderem für die Missionsunterstützung in den nächsten Jahren deutlich steigen. Ist an den Satelliten etwas beschädigt? Und wenn ja, was? Solche Fragen lassen sich mit aktuellen Systemen zukünftig immer schwerer beantworten.

Anforderungen an Weltraumbeobachtungssysteme

Was die Wahl der Weltraumbeobachtungssysteme für die Zukunft angeht, so ist Radar hierfür ideal. Denn es wartet gegenüber optischen Systemen mit einigen Vorteilen auf: Während optische Systeme nur bei wolkenlosem Himmel Ergebnisse liefern und zudem darauf angewiesen sind, dass die Satelliten, nicht aber der Sensor von der Sonne beleuchtet werden, arbeiten aktive Radarsysteme auch bei wolkenverhangenem Himmel, bei Nebel und Dunst sowie Tag und Nacht gleichermaßen effizient. Allerdings sind die Anforderungen an die Auflösung mittlerweile enorm. Schließlich sollen selbst kleine Satelliten auf Radarabbildungen nicht nur als Punkte erkennbar sein, vielmehr gilt es, zukünftig auch Einzelheiten wie Anbauten oder Beschädigungen erkennen zu können. Dazu braucht es jedoch mindestens zehn Auflösungszellen pro



1



2



3

Objekt pro räumlicher Dimension. Das heißt: Bei einem 5 x 5 Meter großen Satelliten müsste die Auflösung mindestens 50 Zentimeter betragen.

TIRA erfüllt als einziges System in Europa die Grundvoraussetzungen

Das TIRA-System bringt bereits zahlreiche Grundvoraussetzungen mit, die ein Weltraumbeobachtungssystem der Zukunft braucht. So verfügt es über zwei Radarsysteme: Ein hochpräzises Zielverfolgungsradar, das Objekte im Weltraum verfolgen kann sowie ein Abbildungsradar, das mit Unterstützung des Zielverfolgungsradars hochauflösende Abbildungen erstellt. Eine wesentliche Kernkomponente von TIRA ist seine 34m große Antenne, die für eine hohe Empfindlichkeit sorgt. Mit dieser ist es möglich, viel Energie zielgerichtet in den Weltraum auf ein Objekt abzustrahlen und möglichst viel der von diesem Objekt zurückgestreuten Energie wieder aufzufangen – die Grundvoraussetzung für eine hohe Empfindlichkeit. Auch ist die gesamte nötige Infrastruktur vorhanden, samt

einer hochpräzisen Mechanik, mit der die Radarantenne exakt den am Himmel vorbeiziehenden Weltraumobjekten folgt. Weiterhin ist die Antenne besonders agil, was die Verfolgung von Weltraumobjekten selbst bei Überflügen nahe dem Zenit ermöglicht.

Kurzum: TIRA ist das einzige System in Europa, welches diese Grundvoraussetzungen erfüllt und das sich daher mit relativ überschaubarem Aufwand zum Weltraumaufklärungssensor der Zukunft erweitern lässt. Dieser Herausforderung stellt sich das Fraunhofer FHR in den kommenden Jahren, um den Informationsgehalt der zukünftigen TIRA-Radarabbildungen erheblich zu erhöhen und somit auch kleine und weit entfernte Weltraumobjekte hinreichend gut abbilden zu können.

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

*ORAS-Abschlusspräsentation auf dem
Institutsgelände.*



DROHNE IM ANFLUG?

Spielt ein Kind im familieneigenen Garten mit einer kleinen Drohne, ist das unproblematisch. Anders sieht es dagegen bei politischen Kundgebungen oder Sportveranstaltungen aus: Hier kann eine anfliegende Drohne ernstliche Gefahr bedeuten. Das System ORAS erkennt Drohnen im Anflug zuverlässig, selbst wenn sie sich durch Häuserschluchten nähern. In der Abschlusspräsentation konnte das System mit seinen Fähigkeiten überzeugen.

Ohne entsprechende Sicherheitsmaßnahmen können politische Demonstrationen leicht aus dem Ruder laufen, und auch politische Kundgebungen und Sportveranstaltungen gilt es bestmöglich zu sichern. Einsatzkräfte müssen dabei nicht nur die Personen im Auge behalten, die sich im Gebiet befinden, sondern zunehmend auch den Luftraum. Denn es könnte sich eine Drohne nähern, um beispielsweise politische Veranstaltungen zu stören oder bei Sportveranstaltungen unerlaubterweise Transparente oder Flaggen hinter sich herziehen. Im Projekt ORAS hat das Fraunhofer FHR daher mit verschiedenen Partnern ein radarbasiertes System für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) entwickelt, das Drohnen umgehend erkennt.

Erfolgreiche Abschlusspräsentation

In der Abschlusspräsentation konnte das System zeigen, was es kann. Ursprünglich war diese für April 2020 in Moosbach geplant, bedingt durch die Pandemie-Einschränkungen musste sie jedoch auf Juni 2020 und auf das Gelände des Fraunhofer FHR verlegt werden. Um die Zahl der Teilnehmenden vor Ort möglichst gering zu halten, wurde die Präsentation per Livestream zu Partnern und potentiellen Endnutzern übertragen. Am Zaun des Geländes befanden sich Zaunradare, 200 Meter weiter das Kamerasystem und das Domradar. Von außen gesteuert führte eine Drohne agile Flugmanöver über dem FHR-Gelände

aus: Sie flog im Zickzack, herauf und herunter, kam näher und entfernte sich. In einem ersten Szenario flog sie von außen über das Zaunradar auf das Gelände – dies entspricht einem Einflug durch eine Häuserschlucht. In einem zweiten Szenario näherte sich die Drohne in größerer Höhe und wurde zuerst vom Domradar erfasst, dies entspricht einem Flug oberhalb der Häuserdächer. In beiden Szenarien schwenkte die Kamera auf die Drohne. Der Testlauf verlief erfolgreich: Die verschiedenen Anwendungen des Systems konnten anschaulich demonstriert werden.

Zusätzlich zur Abschlusspräsentation wurden im Oktober in Moosbach neben ORAS auch drei weitere BMBF-geförderte Projekte vorgestellt, die dasselbe Ziel hatten. In der stillgelegten Kaserne konnte ORAS seine Stärken optimal demonstrieren – so beispielsweise beim Durchflug einer Drohne durch eine Häuserschlucht unterhalb der Dachkante. Die potentiellen Anwender aus BOS und Industrie stellten ORAS ein positives Zeugnis aus, weshalb das FHR eine Weiterentwicklung des Systems mit Blick auf eine Kommerzialisierung anstrebt.

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

KONTAKT

Dipl.-Ing. Andries Küter

Tel. +49 151 21416393

andries.kueter@fhr.fraunhofer.de



Emulator des Senders des Küstenradars (links) und die zwei Antennen des Passivradars, die langfristig auf den Drohnen angebracht werden sollen (rechts).

KÜSTENLINIEN: GUT GESCHÜTZT

Außengrenzen wollen ausreichend geschützt sein – so auch die der Europäischen Union. Im Forschungsprojekt Roborder entwickelt ein Konsortium ein integriertes autonomes System, das die EU künftig bei der Grenzsicherung unterstützen soll. Ein Passivradar, das vom Fraunhofer FHR entwickelt und auf Drohnen platziert werden soll, kann die Reichweite des Küstenradars dabei um bis zu 20 Prozent erhöhen.

Die Europäische Union hat großes Interesse daran, ihre Außengrenzen gegen illegale Einwanderung zu schützen – etwa am Mittelmeer. Wie lässt sich diese Grenzsicherung optimieren? Dieser Frage gehen 26 Partner aus Wissenschaft und öffentlichen Einrichtungen im EU-Konsortialprojekt Roborder nach, beteiligt ist auch das Fraunhofer FHR. Das Entwicklungsziel: Ein integriertes autonomes System, das fliegende, schwimmende, fahrende und tauchende Drohnen samt darauf montierten Sensoren umfasst. Das Fraunhofer FHR widmet sich dem Passivradar, mit dem die fliegenden und schwimmenden Drohnen ausgestattet werden sollen. Während beim Radar üblicherweise ein Sender am Radargerät ein elektromagnetisches Signal aussendet und eine Antenne das Echo empfängt, das von den Objekten reflektiert wird, sendet das Gerät beim passiven Radar nicht selbst. Stattdessen nutzt es die Signale anderer Quellen, etwa Radio- oder Fernsehsignale. Im Falle von Roborder nutzt das System die Signale, die von einem Netz von Küstenradaren erzeugt werden. Dieses Küstenradarnetz wird von einem der Projektpartner – dem italienischen Forschungsinstitut Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni CNIT – betrieben. Ebenso wie die Passiv-Radar-Empfänger auf den Drohnen arbeitet es im X-Band, also ungefähr bei zehn Gigahertz.

Reichweite um bis zu 20 Prozent vergrößern

Doch wofür braucht man die passiven Empfänger auf den Drohnen, wenn man doch schon ein Küstenradar hat? Die Küstenradargeräte stehen an Land, sind also relativ weit weg von Schiffen, die – eventuell unerlaubterweise – auf die Küste zusteuern. Das Küstenradar sendet seine Wellen aus, diese werden vom Schiff reflektiert und müssen dann den gesamten Weg zurück zum Radargerät an Land zurücklegen. Doch werden die Signale umso stärker gedämpft, je weiter der Weg ist, den sie hinter sich bringen müssen. Die Drohnen dagegen schwimmen oder fliegen jeweils zwei bis drei Kilometer vor dem Land hin und her, parallel zur Küstenlinie. Der Weg, den die reflektierten Signale bis zur Antenne zurücklegen müssen, ist bei den Drohnen also deutlich kürzer als der bis zu den Antennen an Land. Theoretischen Berechnungen des Fraunhofer FHR zufolge erweitert sich die Reichweite des Radars auf diese Weise um bis zu 20 Prozent – bei gleicher Entdeckungswahrscheinlichkeit. Im Frühjahr 2021 steht die praktische Demonstration an: Gemeinsam mit dem CNIT vor der Küste der italienischen Provinz Livornos.

KONTAKT

Dr.-Ing. Diego Cristallini

Tel. +49 228 9435-585

diego.cristallini@fhr.fraunhofer.de

- 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 Verkehrsteilnehmenden 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.

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 puncto 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 Mitarbeitende mit einem tiefgreifenden physikalischen Verständnis. Doch nicht nur das: Die Mitarbeitenden 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 Landeassistenz 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.



Kontakt:
Geschäftsfeldsprecher Verkehr

Dr.-Ing.
ANDREAS DANKLMAYER

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

- 1 Testmessung am Fraunhofer IIS: Eine Person wird vor und nach dem Loslaufen vom Radar erfasst, die ermittelte Position über einen optisch überwachten Marker auf dem Helm überprüft.
- 2 Am Fraunhofer FHR entwickelter MIMO-Radarsensor zur Bewegungserfassung (unten links)
- 3 Bewegt sich eine der Personen auf die Straße (unten rechts)?

MEHR SICHERHEIT IM STRASSENVERKEHR

Fußgänger, Radfahrer, Straßenbahnen, Autos – im Straßenverkehr kann es mitunter unübersichtlich werden. Ein neuartiges Radar-Sensorsystem kann Autofahrer künftig frühzeitig warnen, wenn sich eine Person stetig in Richtung Auto bewegt. Entwickelt wurde es von den Fraunhofer-Instituten FHR, IIS und IVI. In einem Folgeprojekt soll das System via Künstlicher Intelligenz ganze Straßenszenen deuten können und somit für noch mehr Sicherheit sorgen.

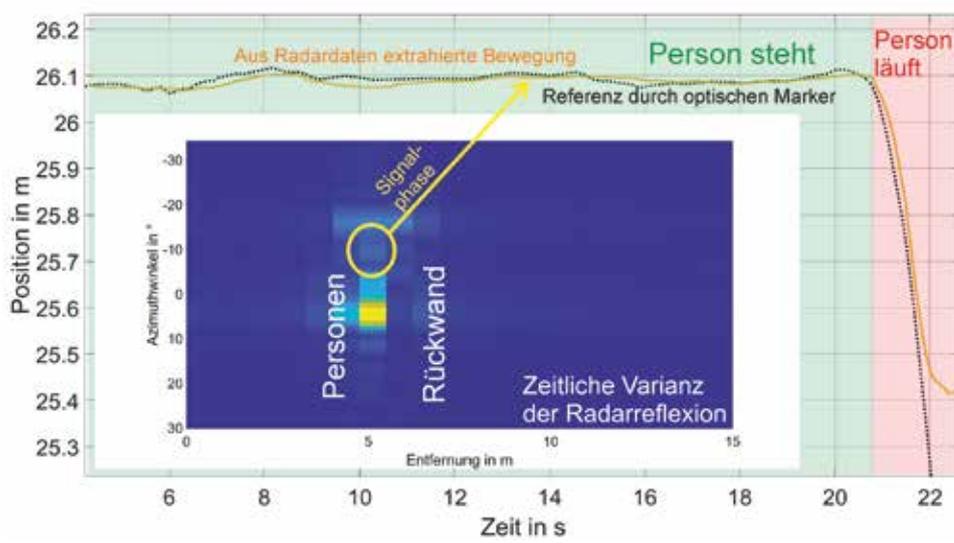
Menschen reagieren schnell. Doch mitunter nicht schnell genug: Rennt beispielsweise ein Kind über die Straße, um den auf der gegenüberliegenden Straßenseite haltenden Bus noch zu erwischen, ist das für einen Autofahrer oft schwer vorhersehbar – mit teilweise gravierenden Folgen. Zwar können Sensoren niedrige Abstände zu Personen oder anderen Objekten bestimmen und den Fahrer warnen, doch im Falle eines auf die Straße rennenden Kindes käme diese Warnung zu spät. Die Sicherheit im Verkehr zu erhöhen – vor allem dort, wo viele Verkehrsteilnehmende zusammenkommen – haben sich die drei Fraunhofer-Institute FHR in Wachtberg, IIS in Erlangen und das IVI-Anwendungszentrum »Vernetzte Mobilität und Infrastruktur« in Ingolstadt im Projekt HORIS zum Ziel gesetzt. Statt einer Abstandswarnung wie bisher soll eine zuverlässige Verhaltensvorhersage realisiert werden. Das heißt: Läuft ein Kind auf die Straße, sollen die Sensoren dies bereits zu einem Zeitpunkt erkennen, zu dem der Autofahrer noch reagieren und das Auto zum Stehen bringen kann, bevor es zu einem Unfall kommt.

Geschwindigkeit statt Abstand

Dabei setzt das Fraunhofer-Forscherteam auf die bereits bestehende Technologie der Autoindustrie auf: Es verwendet sowohl die gleiche Radar-Chiptechnologie als auch die gleichen Komponenten für die Sensoren. Die hauptsächliche Entwicklungsarbeit liegt in der Auswertung der Daten, also in

den Algorithmen. Der Clou: Während derzeit verbaute Sensoren den Abstand einer Person vom Auto analysieren, setzt das neue System auf die Messung der Geschwindigkeit. Auf diese Weise erkennt man eine drohende Gefahr bereits am Anfang einer Bewegung – man gewinnt wertvolle, mitunter gar lebensrettende Zeit. Die Algorithmen erkennen ein Objekt als Person, setzen einen Marker und bestimmen die Geschwindigkeit sowie die Richtung, mit der sich die Person bewegt. Läuft sie auf den Radarsensor und damit auf die Straße zu? Dabei gilt es, den schmalen Grat zwischen Fehlalarmen und zu spätem Alarm zu finden. Und zwar auf folgende Weise: Der Radarsensor macht etwa hundert Messungen pro Sekunde. Erst wenn sich die Person über mehrere Messungen hinweg konsequent mit einer bestimmten Mindestgeschwindigkeit in Richtung Straße bewegt, wird ein Alarm ausgelöst, der den Fahrer warnt.

Die drei Institute haben sich die Entwicklungsaufgaben dabei entsprechend ihrer Kompetenzen aufgeteilt: Das Fraunhofer FHR widmet sich der technologischen Seite und entwickelt die Algorithmen, das Fraunhofer IVI gestaltet passende Testszenarien aus. Das Fraunhofer IIS kümmert sich um dieameratechnik, die Bewegungserfassung und stellt die Messhallen zur Verfügung.



1



2



3

Demonstration für Frühjahr 2021 geplant

Das Projekt startete im Mai 2020, im Dezember 2020 wurde es beendet. Der Demonstrator ist fertig: Er kann derzeit bis zu acht Personen gleichzeitig erfassen und feststellen, ob diese sich in Richtung Fahrbahn bewegen. Anfang 2021 soll er in einem Testlauf eine Straßenszene erfassen, ein Gesamttest sowie eine Präsentation für interessierte Industriekunden ist für das zweite Quartal 2021 in Ingolstadt geplant.

Damit ist die Kooperation zwischen den drei Fraunhofer-Instituten jedoch keineswegs abgeschlossen. Denn in einem Folgeprojekt werden sie auf die HORIS-Ergebnisse aufsetzen und den Sensor weiter optimieren. Dann geht es um das »Wie« statt nur um das »Ob«: Mittels künstlicher Intelligenz und einer zusätzlichen Infrarotkamera soll das System nicht nur sehen, dass sich jemand auf das Auto zubewegt, sondern die sich abspielende Szene verstehen. Dies soll zum einen die Reaktionszeit des Systems verbessern. Rollt beispielsweise ein Ball auf die Straße, könnte einige Sekunden später ein Kind folgen, und hält ein Bus, ist es möglich, dass jemand eilends

über die Straße flitzt. Indem das System die gesamte Szene erkennt, statt nur die Bewegungen einzelner Personen, kann es weitere wertvolle Sekunden gewinnen, um den Fahrer zu warnen und gefährliche Situationen zu entschärfen. Darüber hinaus soll die Situationserkennung die Genauigkeit erhöhen und Fehlalarme somit noch weiter reduzieren. Und langfristig die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden weiter erhöhen.

KONTAKT

Dr.-Ing. Reinhold Herschel

+49 228 9435-582

reinhold.herschel@fhr.fraunhofer.de

Szenario mit Bodenwahrheitstrajektorie, geschätzter Trajektorie und Orientierungspunkten.



GENAUE POSITIONSBESTIMMUNG FÜR SELBSTFAHRENDE AUTOS

Befindet sich das Auto auf der richtigen Spur? Wie weit ist der Zebrastreifen noch entfernt? Was ein menschlicher Fahrer üblicherweise mit einem Blick abschätzt, erfordert bei autonom fahrenden Autos ausgeklügelte Sensoren. Am Fraunhofer FHR wurde nun untersucht, was Radarsensoren in diesem Zusammenhang leisten können. Das Ergebnis: Über sie lässt sich die Position des Autos auf einige Zentimeter genau bestimmen.

Sollen Autos künftig autonom durch Straßen und Gassen kurven, so ist dafür einiges an Basistechnologien nötig. Unter anderem muss das Fahrzeug seine Position auf wenige Zentimeter genau bestimmen können und dabei gegebenenfalls auch noch eine Karte der Umgebung erstellen. Man spricht dabei auch von SLAM, kurz für »*Simultaneous Localization and Mapping*«. Nötig ist das vor allem in Gebieten, in denen das GPS-Signal nicht genau genug oder die Umgebung unbekannt und keinerlei Kartenmaterial verfügbar ist. Generell lässt sich die Umgebung mit dreierlei Sensoren vermessen: Mit optischen Kameras, LiDAR und Radar. Optische Kameras funktionieren nur im Hellen und bei einigermaßen klarer Sicht. LiDAR-Systeme sind sperrig und teuer, auch sind ihre Ergebnisse unter schlechten Wetterbedingungen wenig verlässlich. Eine Alternative bieten Radarsysteme: Sie liefern auch bei Nebel, starkem Regen und Dunkelheit zuverlässige Ergebnisse.

Untersuchung anhand realer Testdaten

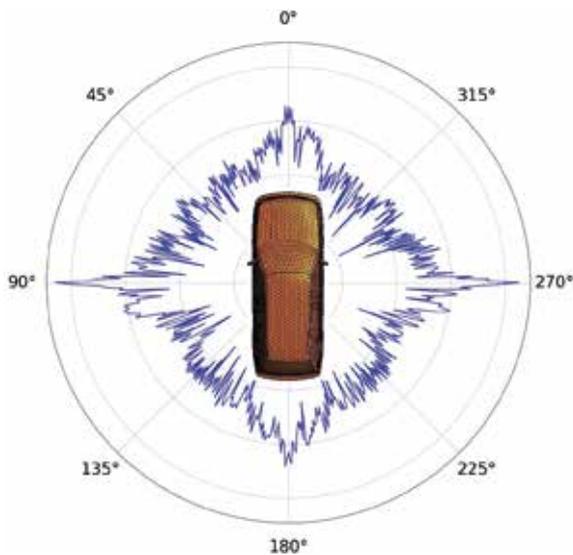
Lässt sich eine solche Selbst-Positionsbestimmung via Radarsensoren im Auto realisieren? Dies wurde am Fraunhofer FHR untersucht. Als Testdaten dienten dabei Daten von nuScenes, ein breit angelegter öffentlicher Datensatz für das autonome Fahren. Diese umfassen Radardaten ebenso wie LiDAR-Daten und Daten von optischen Kameras. Das Framework stammt aus dem Bereich der Robotik – schließlich müssen sich Roboter

auch unfallfrei in ihrer Umgebung bewegen können und ihr Umfeld dafür genauestens erfassen.

Da die Radardaten zu umfassend sind, um jeden einzelnen Punkt auszuwerten, werden Daten, die zu einem Objekt gehören, zusammengefasst. Dabei helfen Begrenzungsrahmen, die anhand der Sensordaten von Kamera und LiDAR erstellt wurden. Wird beispielsweise ein Begrenzungsrahmen für ein Auto erstellt, werden alle in diesem Rahmen liegenden Radardaten geclustert. Die Arbeit bezüglich SLAM zeigt: Zwar ermöglichen Selbstlokalisierungstechniken, die nur Radardaten und bekannte Orientierungspunkte verwenden, höhere Positionierungsgenauigkeiten – doch ermöglichen SLAM-Techniken es auch dann, wenn keine anderen Sensordaten verfügbar sind, gleichzeitig eine Karte mit Radardaten zu generieren. Die Position des Autos lässt sich auf wenige Zentimeter genau bestimmen.

KONTAKT

Dr. rer. nat. María A. González-Huici
Tel. +49 228 9435-708
maria.gonzalez@fhr.fraunhofer.de



Simulierter RCS (Radar Cross Section) eines Golf III Modells.

ZEITDYNAMISCHE RADARSIMULATION VON VERKEHRSSZENARIEN IN ECHTZEIT

Sollen neue Fahrerassistenzsysteme entwickelt werden, sind bis dato zahlreiche Testfahrten nötig. Schließlich müssen die Entscheidungsalgorithmen entsprechend trainiert werden. Am Fraunhofer FHR wurde nun ein Simulationstool entwickelt, das Radarrohdaten erzeugt und zeitdynamische Prozesse elektromagnetisch simuliert – basierend auf Physikalischer Optik und je nach Komplexität in Echtzeit. Wie geschaffen also, um aufwändige Testfahrten zu ersetzen.

Fahrerassistenzsysteme erleichtern dem Autofahrer den Überblick zu behalten und sorgen somit für mehr Sicherheit. Dazu sind Umgebungssensoren nötig, die das Umfeld des Autos zuverlässig »im Blick« behalten, sowie Algorithmen, die diese Daten auswerten und hinsichtlich der Sicherheit notwendige Entscheidungen treffen. Bislang werden diese Algorithmen überwiegend auf realen Testfahrten geprüft und trainiert – ein aufwändiges und teures Unterfangen.

Schnelle Simulationen statt langwieriger Testfahrten

Über das Tool GOPOSim des Fraunhofer FHR lassen sich Rohdaten für das Testen der Algorithmen erzeugen – und auf diese Weise Testfahrten ersetzen. Und, das ist das Besondere: Auch für zeitdynamische Prozesse, wie sie in Verkehrsszenarien ja allorten stattfinden, etwa weil ein Radfahrer aus einer Seitenstraße ohne zu schauen die Fahrbahn überquert. Das Simulationstool wird bereits in verschiedenen Projekten mit Industriekunden eingesetzt. Die Ergebnisse können auch als Objektliste aufbereitet, im Radarzielsimulator ATRIUM eingesetzt werden, mit dem Radarsensoren Over-the-Air getestet werden können.

Mit der Software lassen sich Rohdaten erstellen, die für die Auswertung von Mikro-Doppler-Effekten an beweglichen Objekten in der Szene geeignet sind. Solche treten auf, wenn

bei einem Objekt mehrere größere und kleinere Bewegungen überlagert sind – zum Beispiel die Bewegung von Armen und Beinen eines laufenden Fußgängers, bei der sich die Gliedmaßen unabhängig vom Fußgänger bewegen. Über solche Mikro-Doppler-Signaturen können mit entsprechenden Algorithmen Klassifizierungen durchgeführt werden, mit denen ein Fußgänger, ein Fahrradfahrer oder ein Fahrzeug identifiziert werden können. Die Simulation basiert auf einem deterministischen Raytracing-Verfahren sowie Physikalischer Optik bei der Berechnung der Streuung an den Objekten. Im Gegensatz zum »Shooting and Bouncing Rays«-Algorithmus, bei dem eine feste Anzahl von Strahlen in den Raum gesendet werden, versendet man bei GOPOSim nur die Strahlen in den Raum, von denen man weiß, dass sie auch auf Objekte treffen – man spricht dabei von einem analytischen Ansatz. Der entscheidende Vorteil: Die Simulationszeit kann entscheidend reduziert werden, zudem sind bereits je nach Komplexität Simulationen in Echtzeit möglich. Dies ist Voraussetzung für *Software in the Loop* oder *Hardware in the Loop* Simulationen.

KONTAKT

M. Eng. Stefan Wald

Tel. +49 228 9435-771

stefan.wald@fhr.fraunhofer.de

*Synthetisches Modell eines Gleisbettes (links) neben
Experimentalmodell (rechts) inklusive GPR-Sensor.*



FRÜHERKENNUNG VON GLEISBETTSCHÄDEN MITTELS RADAR

Regnet es ohne Unterlass, etwa während des Monsuns, haben selbst ausgeklügelte Gleisbetten kaum eine Chance, das Wasser abzutransportieren. Unterspülungen und Löcher sind die Folge, die wiederum schwere Unfälle nach sich ziehen können. Mit einem bodendurchdringenden Radarsystem lassen sich solche Unterspülungen berührungslos und auf der gesamten Gleislänge frühzeitig aufspüren.

Gleisbetten bestehen im Wesentlichen aus drei verschiedenen Lagen: Dem Schotterbett, auch Bettung genannt, der Planumschutzschicht und dem Unterbau, auch Planum genannt. Diese Strukturen dienen dazu, die Gewichtskraft des Zuges gleichmäßig auf den Boden zu verteilen und Regenwasser ablaufen zu lassen. Doch der Zahn der Zeit nagt an den Gleisbetten: Einige Schottersteine zerspringen durch den Druck der Züge, auch weitet sich das Gleisbett im Laufe der Jahre und wird flacher. Problematisch sind vor allem zu viel Regen, etwa in Monsungebieten oder Schmelzwasser in Gebirgslagen: Das Wasser kann Schotterbett und Unterbau unterspülen und Löcher hineinreißen, die wiederum schwerwiegende Unfälle nach sich ziehen können. Bisher lässt sich dies jedoch kaum überprüfen. Die gegenwärtigen Möglichkeiten bestehen in der Sichtkontrolle und im Graben eines Lochs, um die Struktur stichprobenhaft zu kontrollieren.

Zerstörungsfreie Analyse des gesamten Gleisbettes

Das Fraunhofer FHR hat gemeinsam mit der RWTH Aachen nun ein GPR-System – kurz für »Ground penetrating radar« oder bodendurchdringendes Radar – entwickelt, mit dem sich die Gleisbetten zerstörungsfrei und auf ganzer Länge untersuchen lassen. Dafür soll das Radarsystem auf einer mobilen Plattform befestigt werden, die das Gleis abfährt und untersuchen kann. Löcher bis in eine Tiefe von etwa

einem Meter lassen sich mit dem System erkennen, bei einer üblichen Gleisbetttiefe ist dies mehr als ausreichend. Die räumliche Auflösung liegt bei einem Zentimeter: Es wird also ein hochauflösendes Radarbild gewonnen, mit dem sich kleine Strukturen innerhalb des Gleisschotters untersuchen lassen.

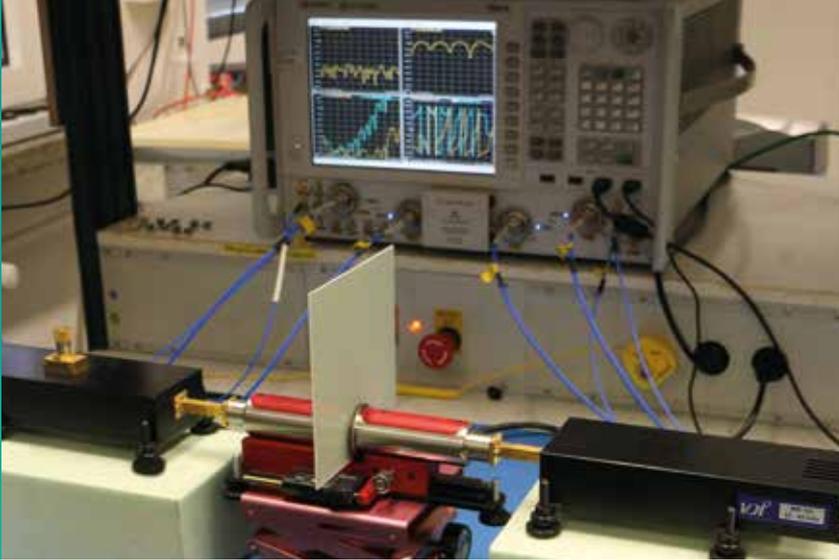
Die Herausforderung liegt vor allem in der Auswertung der erhobenen Daten: Wo befinden sich Schäden im Gleisbett? Hier hilft ein ausgeklügeltes System aus Realversuchen, Simulationen und Maschinellem Lernen. In einem Gleisbett-Modell wurden zunächst Hohlräume innerhalb des Gleisbettes unter verschiedenen Bedingungen wie Schotterverschmutzung und Schotteralterung modelliert und mittels Bodenradar vermessen. Diese realen Ergebnisse dienen dazu, das Simulationsmodell zu verbessern. Die Simulationsergebnisse wiederum schufen die riesige Datenbasis, die nötig ist, um das maschinelle Lernen zu trainieren. Wollte man diese Datenbasis allein über Gleisbett-Modelle erzeugen, würde dies mehrere Jahre dauern. Die Simulation der benötigten Daten erfordert dagegen nur einen Bruchteil der Zeit. Das Simulationsmodell ist fertig, ein erstes Unternehmen hat bereits Interesse bekundet.

KONTAKT

Dr.-Ing. Fernando Rial Villar

Tel. +49 228 9435-770

fernando.rial@fhr.fraunhofer.de



Zur Bestimmung der Materialparameter werden zuerst Transmission und Reflexion nahezu ebener elektromagnetischer Wellen gemessen.

PRÄZISE MATERIALCHARAKTERISIERUNG

In Fahrzeugen sind bereits zahlreiche Sensoren verbaut, die die Umgebung scannen und wertvolle Daten für die Fahrassistenz liefern. Für Fahrzeughersteller ist daher wichtig zu wissen: Wie verändern die Bauteile des Fahrzeugs die elektromagnetischen Signale, die die Sensoren aussenden und empfangen? Das Fraunhofer FHR führt solche Analysen präzise aus – und berechnet erstmals zu den Ergebnissen auch Angaben zur Messgenauigkeit.

Ohne Fahrer kurvt das Fahrzeug durch die Straßen, während die Insassen ihre Nase in ein Buch stecken oder aufs Smartphone schauen – so sieht zumindest die langfristige Vision vom autonomen Fahren aus. Elementar dabei ist, dass die Autos ihre Umgebung jederzeit erkennen und Gefahren richtig einschätzen können. Wichtig ist dies auch schon bei einer Fahrassistenz, wie sie zunehmend in Fahrzeugen verbaut wird. Die Grundlage für diese Umgebungserkennung bilden zahlreiche verschiedene Sensoren: Im Auto integriert erkennen sie Hindernisse auf der Fahrbahn und geben ihre Daten an die Fahrzeugsteuerung weiter, die beispielsweise bei drohender Gefahr ein Bremsmanöver einleitet. Radarsensoren nutzen elektromagnetische Wellen, um ihre Umwelt wahrzunehmen. Doch diese müssen sich nicht nur durch die Luft ausbreiten, bis sie auf ein mögliches Hindernis treffen, sondern auch durch die Autoteile, hinter denen sie verbaut sind. Hersteller wollen daher wissen: Wie beeinflussen die Fahrzeugmaterialien samt der verschiedenen Lackschichten die elektromagnetischen Wellen? Wie wirken sich die verschiedenen Lackierverfahren aus?

Analysen...

Entsprechende Untersuchungen führt das Fraunhofer FHR für zahlreiche Kunden durch. Mit dem Messequipment lassen sich verschiedene Arten von Materialien professionell vermessen und charakterisieren – auch solche, die aus mehreren verschie-

denen homogenen Schichten bestehen. Dazu werden zwei elektromagnetische Parameter bestimmt. Der eine Parameter ist die Dielektrizitätszahl, also eine Angabe dafür, wie das Material mit dem elektrischen Feld der Welle interagiert. Der zweite ist der Verlustfaktor, der beschreibt, welche Dämpfung die Welle bei der Interaktion mit dem Material erfährt.

...mit Messgenauigkeiten und Standardabweichungen

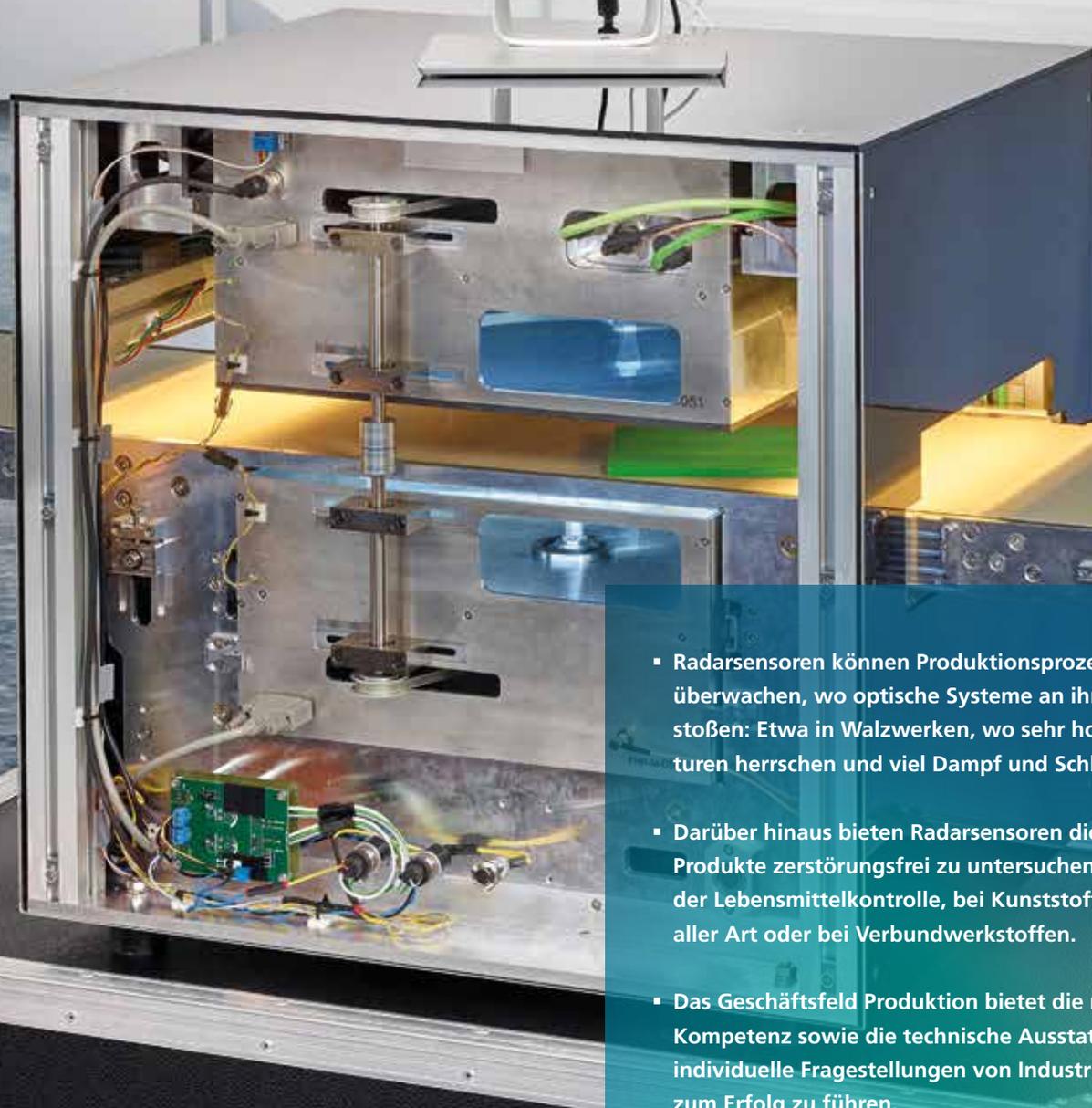
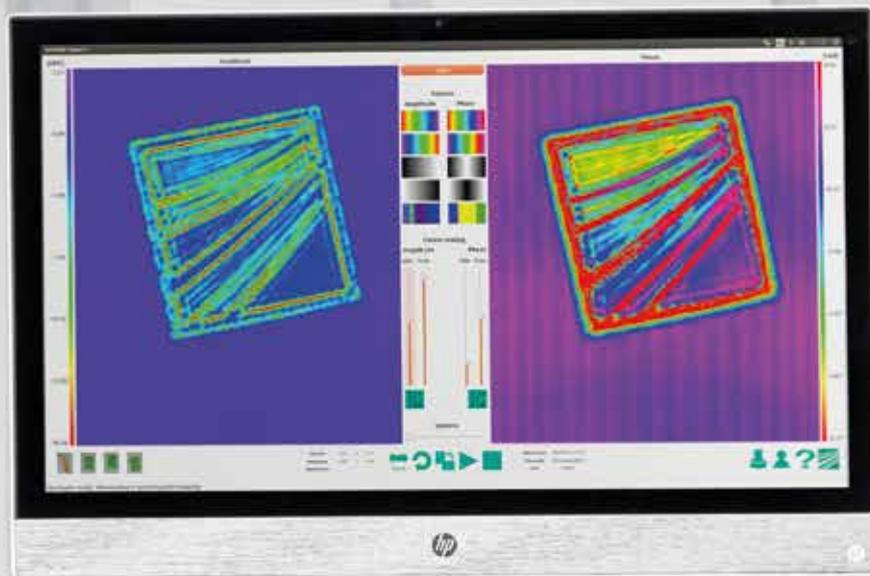
Und, dieser Punkt ist neu: Die Kunden sollen in Zukunft nicht nur die Messergebnisse wie bisher, sondern auch eine Angabe der Messgenauigkeiten erhalten – genauer gesagt die Verteilung der Messergebnisse sowie die Standardabweichung. Für die Kunden heißt das: Sie können die auftretende Messgenauigkeit genau einschätzen, die Ergebnisse werden für sie noch konkreter und aussagekräftiger als bisher. Sie sind sogar in der Lage, die verschiedenen Messungen von mehreren Laboren zu kombinieren, um die beste mögliche Abschätzung der Parameter eines Materials und ihrer Messunsicherheiten zu bekommen. Zudem wurden am Fraunhofer FHR Elemente in dem Messaufbau identifiziert, über die sich die Messgenauigkeit in einem weiteren Schritt weiter optimieren und reduzieren lässt.

KONTAKT

Dr.-Ing. Thomas Bertuch

Tel. +49 228 9435-561

thomas.bertuch@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.

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. Dazu erarbeitet das FHR unter anderem im über die EFRE Leitmarkt-Agentur. NRW geförderten Projekt FiberRadar Bildgebungsalgorithmen für hochauflösende Millimeterwellen-Radarscans bei 60 GHz. Diese dienen dem Monitoring von Glasfaseranlagen bei der Faserverbundherstellung. Mit der Breitband-Radartechnologie des FHR bei 80 und 220 GHz wurden hier bereits vielversprechende Resultate erreicht. Die voll-integrierte SiGe-Chiplösung des FHR bei 220 GHz kann eine bislang unerreichte Bildauflösung erzielen, sodass sowohl die Faserlagen als auch Materialdefekte klar sichtbar werden. Für größere Durchdringungstiefen sollen mehrere Frequenzbänder fusioniert werden.

Produktionsprozesse bei Metallen prüfen

Ein interessanter Anwendungsbereich von Radarsystemen sind Walzwerke in der Stahlindustrie (siehe Beitrag auf Seite 56). 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. Mit einem Millimeterwellensensor lassen sich auch kleinste Kratzer zuverlässig detektieren. Langfristig ließe sich auf diese Weise sogar eine 100-Prozent-Kontrolle realisieren.

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

- 1 *Radarbreitenmessung am Vorgerüst der Salzgitter Flachstahl GmbH.*
- 2 *STRIKE-Sensor integriert in den IMS Dickenmessbügel.*
- 3 *Messbügel der Dickenmessanlage der IMS Messsysteme GmbH.*

DICKE VON STAHLBLECHEN MIT RADAR KONTROLLIEREN

Beim Walzen von Stahlbändern muss sichergestellt werden, dass diese die gewünschte Dicke haben. Bislang ist dies in Anwendungen, wo widrige Umweltbedingungen wie Dampf, Zunder und Spritzwasser vorherrschen, nur mit ionisierender Isotopen- oder Röntgentechnologie realisierbar. Ein neuartiges Radarsystem misst die Dicke verschiedener Messgüter dagegen im Submillimeterbereich auch bei widrigen Bedingungen – und dies sogar ohne ionisierende Strahlung.

Sei es für Autos, sei es für das Verkleiden von Bauteilen: Stahl wird vielfach in Form von Bändern weiterverarbeitet. Dazu werden die Brammen aus Rohmaterial in Walzwerken schrittweise zu langen Bändern ausgewalzt und für den Transport zu *Coils* aufgerollt. Elementar beim Walzprozess ist: Das produzierte Band muss die vorgegebene Dicke haben, und zwar auf ganzer Länge und ohne größere Schwankungen. Zur Messung der Band- bzw. Blechdicke werden derzeit überwiegend Systeme eingesetzt, die auf Isotopen- und Röntgenstrahlung basieren. Hierdurch entsteht aber zusätzlicher Aufwand – schließlich sind Strahlenschutzmaßnahmen nötig. Zudem stoßen diese Systeme bei sehr dickem Material an ihre Grenzen. Optische Systeme reagieren wiederum empfindlich auf Wasserdampf und Nebel.

Daher hat das Fraunhofer FHR zusammen mit der IMS Messsysteme GmbH die erste auf Radarsensorik basierende Dickenmessung für Warmwalz- und Grobblechstraßen entwickelt. Die Vorteile: Radarsysteme benötigen nur geringe Sendeleistungen, so dass keine zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen erforderlich sind. Im Gegensatz zu optischen Systemen sind sie unempfindlich gegenüber harschen Umweltbedingungen wie Nebel, Spritzwasser und Staub. Dabei erfordern Radarsysteme kaum Instandhaltungsarbeiten. Die Elektronik ist wartungsfrei,

lediglich das Sichtfenster des Sensors muss von Dreck, Zunder und Walzemulsion freigehalten werden.

Der STRIKE-Sensor liefert auch bei widrigen Umweltbedingungen belastbare Ergebnisse

Der am Fraunhofer FHR entwickelte Strike-Sensor wurde bereits in eine Dickenmessanlage der IMS integriert. Mit ihm lassen sich die Messgutdicken selbst in dampfigen, nebligen, staubigen und sehr aggressiven Umgebungen zuverlässig und genau messen. Das Messsystem besteht aus zwei vierkanaligen Radarsensoren, die gegenüberliegend in einem C-Bügel montiert sind. Die beiden Sensoren senden Radarstrahlen aus, die vom durchlaufenden Messgut reflektiert und vom Sensor wieder empfangen werden. Da dies zeitgleich von unten und oben geschieht, lassen sich aus Referenzkalibrationsdaten die Abstandswerte berechnen und somit die Dicke des Bandes bestimmen. Eine Herausforderung: Das Stahlband bewegt sich ständig mit einer Geschwindigkeit von bis zu 20 km/h unter den Sensoren hinweg, die Messrate muss daher entsprechend hoch und die Messung auf Ober- und Unterseite synchron sein – nur so lässt sich die Dicke des Messguts fortlaufend mit hoher Genauigkeit erfassen. Der entwickelte STRIKE-Sensor gewährleistet dies: Er arbeitet derzeit mit einer Messrate von



einem Kilohertz. Das gesamte Messsystem liefert also achtmal 1000 synchron erfasste Distanzmesswerte pro Sekunde.

Die Auswerteeinheit basiert auf FPGAs – also auf programmierbaren digitalen Bausteinen. Sie ist direkt im Sensor integriert und erlaubt eine vollständig *edge*-gestützte Auswertung. Die gesamte Signalverarbeitung der Radarsignale findet auf dem FPGA statt – auch die Ansteuerung der Radarchips und die Kommunikation mit der zentralen Recheneinheit der IMS Messsysteme GmbH wurde in dieser integrierten Logikeinheit implementiert. Somit kann die Dicke des Stahlblechs mit einer Rate von einem Kilohertz in Echtzeit gemessen werden.

Die Genauigkeit der Dickenbestimmung liegt bei ebenen laufendem Band bei unter 100 Mikrometern. Ist die Bandoberfläche beispielsweise aufgrund der Bandbewegung oder Wellenbildung geneigt, werden mittels der Vierer-Anordnung die Winkelauslenkungen bestimmt und korrigiert. Die Messgenauigkeit der Dickenmessung kann somit unter $\pm 150\mu\text{m}$ erhalten werden. Der Messbereich der möglichen Winkellagen

des Bandes liegt bei der genutzten Antennengeometrie bei von bis zu 3 Grad in jede Richtung.

Der Sensor ist fertiggestellt. Derzeit befindet er sich in der Testphase, um Ausfallsicherheit garantieren zu können. Ist diese abgeschlossen, wird die IMS Messsysteme GmbH die Sensoren in ihren Aufbau integrieren und eine erste Messanlage an ein US-amerikanisches Walzwerk ausliefern. Natürlich ist die Anwendung des Sensors keineswegs auf Walzwerke begrenzt – vielmehr lässt er sich überall dort einsetzen, wo Distanzen und Winkel bestimmt werden müssen.

KONTAKT

Sabine Gütgemann

+49 160 966 519 27

sabine.guetgemann@fhr.fraunhofer.de

- 
- Radarsysteme 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 Bereichen die nötigen Kompetenzen.

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.

Radar für den Menschen

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. 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.

Radar für die Kommunikation

Radar hat jedoch nicht nur im medizinischen Umfeld viel zu bieten, sondern auch im Bereich der Kommunikation. Ein interessantes Feld sind Mensch-Maschine-Interaktionen, so haben z. B. Smartphones der neuesten Generation vielfach bereits einen Radarsensor integriert. Der Vorteil: Der Sensor erkennt Gesten auch durch Kleidung hindurch. So kann ein Nutzer durch eine Geste etwa einen Anruf annehmen, ohne das Telefon dafür aus der Jackentasche nehmen zu müssen. Sinnvoll ist die Gestenerkennung via Radar auch im Arbeitsschutz. So braucht man nicht länger mit dicken Arbeitshandschuhen kleine Knöpfe zu drücken, sondern kann die Maschinen stattdessen mit Gesten und Handzeichen steuern. Sinn macht 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.

Radar für die Umwelt

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. Zudem rücken auch Tiere in den Fokus: Die Detektion von Wildtieren und die Vitalparameterüberwachung von Stalltieren ist ein weiteres spannendes Feld, auf dem Radartechnik neue Möglichkeiten eröffnen kann.

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.

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.



Kontakt:
Geschäftsfeldsprecher
Mensch und Umwelt

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

- 1 *Beispielhafte MRT-Aufnahmen mit einem homogenen Phantom (rechts) und einer Kiwi (links) mit und ohne Metamaterial-Platte. Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) im markierten Bereich (ROI) ist jeweils angegeben. Für die Phantom-Messungen (mit $TR=100$ ms) ist die gezeigte Schicht senkrecht zur Metamaterial-Platte orientiert, wohingegen bei der Messung mit der Kiwi ($TR=1$ s) die Schicht parallel dazu liegt.*
- 2 *Die intelligente Metamaterial-Platte (hergestellt am Fraunhofer FHR) im Einsatz im MR-Scanner am Fraunhofer MEVIS.*
- 3 *Die innovative Mantelstromsperre ermöglicht die Verwendung anderer diagnostischer Mittel unter den extremen Bedingungen im MRT.*

METAMATERIALIEN OPTIMIEREN DIE MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE

Bisher lässt sich die Magnetresonanztomographie (MRT) nur schlecht mit anderen Diagnosemethoden kombinieren. Der Grund: Die starken Hochfrequenzfelder im MRT induzieren Mantelströme auf den Kabeln der Zusatzgeräte. MRT-fähige, kompakte Mantelstromsperren auf Basis von Metamaterial-Technologie aus dem Fraunhofer FHR vereinfachen dies nun deutlich. Weiterhin bewirken intelligente Metamaterial-Platten ein wesentlich höheres Signal-zu-Rausch-Verhältnis in der MRT: Feine Strukturen lassen sich deutlich besser erkennen.

Die Magnetresonanztomographie, kurz MRT, ist aus der medizinischen Diagnostik kaum noch wegzudenken. Sie erlaubt unter anderem, Gehirn und Rückenmark, innere Organe, Muskeln und Gelenke schichtweise abzubilden und nicht-invasiv zu untersuchen. Doch mitunter reicht sie für eine korrekte Diagnosestellung nicht aus – es müssen verschiedene Diagnoseverfahren miteinander kombiniert werden. Dies birgt jedoch Herausforderungen: Die hochfrequenten Felder des MRT koppeln in die Kabel der Zusatzgeräte ein, seien es nun Ultraschallgeräte, Bildschirme oder ähnliches – Störungen bei den Messungen können die Folge sein. Auch ist es möglich, dass die Kabel durch die induzierten Ströme derart erhitzt werden, dass der Patient sich daran verbrennen könnte. Es ist daher unbedingt notwendig, die induzierten Mantelwellen zu unterdrücken. Üblicherweise greift man hierfür zu Mantelstromsperren: Kleine Ferritkerne, die man über einen Schnappverschluss am jeweiligen Kabel befestigen kann. Diese Ferritkerne sind jedoch magnetisch und eignen sich somit nicht für eine Anwendung im MRT. Andere Lösungen basieren auf dem Aufwickeln der Zuleitungen, um für die Mantelströme eine möglichst hohe Impedanz zu realisieren. Dieser Ansatz verlängert aber die Zuleitungen und nimmt zusätzlich viel Platz ein.

Mantelstromsperren für die MRT

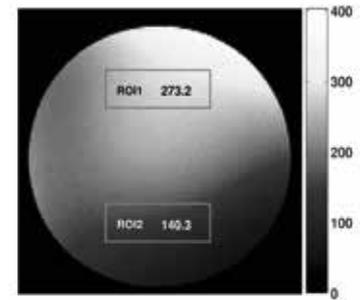
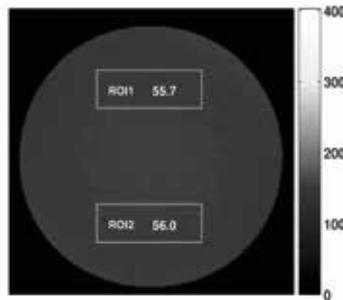
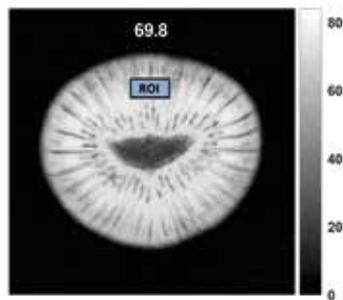
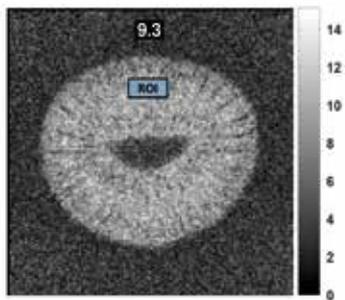
Das Fraunhofer FHR hat in einem internen Projekt gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Digitale Medizin MEVIS nun eine handliche und praktikable Lösung für dieses Problem entwickelt. Entweder werden nur an einigen Stellen des Kabels spezielle kleine Mantelstromsperren aufgesteckt, oder aber das ganze Kabel wird mit einem Außenmantel umhüllt. Die Grundlage der Technologie, die derzeit patentiert wird, bilden Metamaterialien. Diese sind keine Materialien im üblichen Sinne, sondern künstliche Gebilde, die mit einer speziellen Strukturierung versehen sind. Da die MRT-Geräte je nach Ausführung und Hersteller bei verschiedenen Frequenzen arbeiten, wurden diverse Ausführungen von Mantelstromsperren entwickelt: Für 1,5, 3 und 7 Tesla Geräte. Die Mantelstromsperren sind kompakt, abstimmbare und wiederverwendbar. Zudem erhalten sie die flexiblen Eigenschaften des Kabels. Sie können von einem Kabel gelöst und an einem anderen befestigt werden. Auch lassen sich die Kabel gleichzeitig mit mehreren verschiedenen Mantelstromsperren ausrüsten, so können zum Beispiel sowohl eine Mantelstromsperre für 1,5, 3 als auch eine für 7 Tesla an einem Kabel angebracht werden.

Body Coil

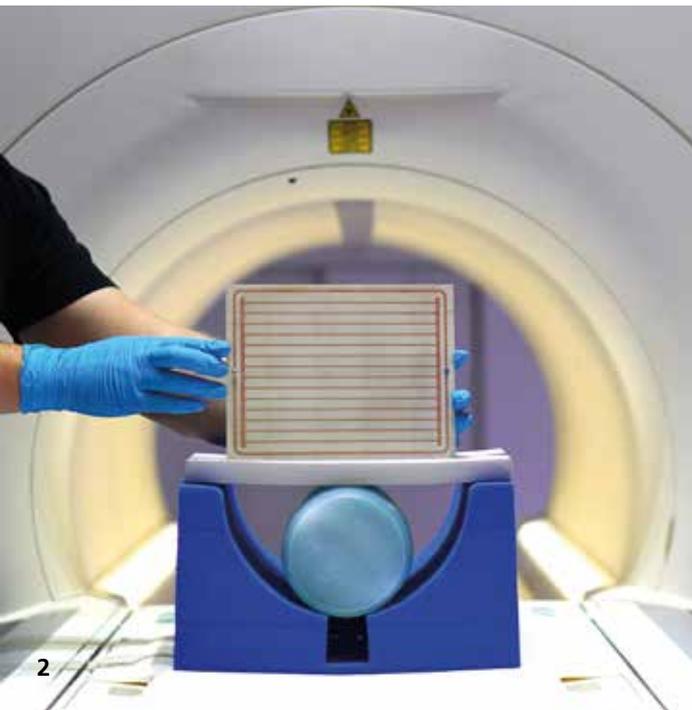
Smart Metasurface

Body Coil

Smart Metasurface



1



Im hauseigenen MRT-Gerät des Fraunhofer MEVIS wurden bereits verschiedene Mantelstromsperrern vermessen und ihre Funktionalität erfolgreich nachgewiesen. Auch im Fraunhofer FHR steht entsprechendes Mess-Equipment zur Verfügung – unter anderem zwei Spulen, mit denen die Mantelströme gezielt erzeugt und vermessen werden können. Bislang werden die Mantelstromsperrern durch konventionelle Fertigungsmethoden hergestellt. Jedoch werden nun neue Fertigungstechnologien eingesetzt, beispielsweise die 3D-Drucktechnologie – also die additive Fertigung – was ebenfalls am Fraunhofer FHR möglich ist. Dadurch ist eine kostengünstige und gleichzeitig leistungsfähige Lösung gegeben.

Metamaterialien verbessern Messempfindlichkeit um Faktor fünf

Metamaterialien bieten auch bei den MRT-Messungen selbst viele Vorteile und Möglichkeiten. So können sie unter anderem die Messeffizienz deutlich verbessern: Verwendet man für die Messung Oberflächenspulen, die auf den Körper des Patienten aufgelegt werden, kann das Signal-zu-Rausch-Verhältnis je

nach Fragestellung um bis zu 20 Prozent verbessert werden. Werden die im MRT-Gerät fest verbauten Spulen verwendet, ist sogar eine Verfünfachung des gemessenen Signals möglich. Auf den Bildern lassen sich somit feine Strukturen deutlich besser erkennen – der Kontrast steigt erheblich. Diesen großen Sprung in der Messeffizienz ermöglichen intelligente Metamaterial-Platten, die während der MRT-Aufnahme auf die zu untersuchende Stelle des Körpers aufgelegt werden. Im MRT-Gerät des Fraunhofer MEVIS wurden bereits verschiedene Metamaterial-Platten getestet und ihr verstärkender Effekt erfolgreich nachgewiesen.

KONTAKT

Dr. Endri Stoja

Tel. +49 228 9435-701
endri.stoja@fhr.fraunhofer.de

Dr. Diego Betancourt

Tel. +49 228 9435-370
diego.betancourt@fhr.fraunhofer.de

Monitoringsystem zur kontaktlosen Erfassung von Vitalparametern.



GESUNDHEITZUSTAND VON CORONA-INFIZIERTEN STETS IM BLICK

Nur ein geringer Teil der Patienten, die mit Corona infiziert sind, liegen auf der Intensivstation. Bei allen jedoch stellt sich die Frage: Verschlechtert sich der Zustand? Ein Sensorsystem, das verschiedene Fraunhofer-Institute im Konsortialprojekt M3-Infekt entwickeln, soll eine solche Verschlechterung frühzeitig erkennen – unter anderem über ein MIMO-Radar, das berührungslos die Atemfrequenz analysiert.

Verschlechtert sich der Gesundheitszustand von Patienten, die mit COVID-19 infiziert sind? Diese Frage stellt sich nicht nur auf Intensivstationen, in denen die Betreuung sehr engmaschig ist, sondern auch auf anderen Krankenhausstationen sowie in der häuslichen Betreuung. Ein modulares, multi-modales und mobiles Sensorsystem namens M³-Infekt kann den Gesundheitszustand infizierter Personen künftig stets im Blick behalten und eine Verschlechterung frühzeitig erkennen. Das Fraunhofer FHR ist Teil eines Konsortiums bestehend aus 10 Fraunhofer-Instituten. Das entwickelte Sensorsystem soll zukünftig nicht nur den Gesundheitszustand von COVID-19-Patienten überwachen, sondern auch bei Betroffenen anderer Infektionskrankheiten Anwendung finden.

Verschiedene Sensoren arbeiten gemeinsam

Das Sensorsystem besteht aus verschiedenen Sensorgruppen, die einander ergänzen. Eine dieser Gruppen sind Wearable-Sensoren, die sich am Körper tragen lassen. Ein textil-integrierter Sensor erfasst die EKG-Daten, ein Sensorarmband die Körpertemperatur, den Puls und die Sauerstoffsättigung des Bluts und ein weiterer textiler Sensor die Belüftungssituation der Lunge. Ebenfalls Teil des Projekts ist das *Energy Harvesting*: Hier werden Konzepte und Lösungen erarbeitet, wie sich diese tragbaren Sensoren durch mechanische Bewegung mit Energie versorgen lassen.

MIMO-Radarsensor misst die Atemfrequenz

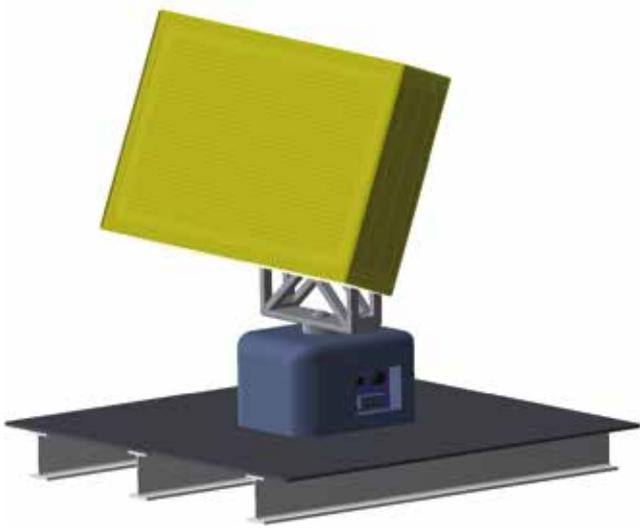
Das Fraunhofer FHR steuert einen kontaktlos arbeitenden MIMO-Radarsensor bei. Dieser kann beispielsweise in einer Raumecke angebracht werden: Von hier aus ermittelt er die Atemfrequenzen der Personen, die sich im weiträumigen Blickfeld des Sensors befinden. Denn durch die Atmung bewegt sich der Brustkorb auf und ab – via Radar lässt sich dies selbst durch Bettdecken hindurch erfassen. Durch das hier verwendete Sensorkonzept können Signale verschiedener Personen voneinander getrennt werden. Ändert sich die Grundatemfrequenz des Patienten, kann dies ein Anzeichen für eine Verschlechterung des Zustandes sein. Neben dem Radarsensor gibt es noch einen weiteren kontaktlosen Sensor: Ein hyperspektraler Bildsensor des Fraunhofer IIS/ENAS. Seine Ergebnisse können dabei helfen, Mehrfachreflexionen und dadurch entstehende Geisterziele des MIMO-Radar herauszurechnen. Bis Mitte September 2021 sollen die Sensoren so weit aufgebaut sein, dass sie für erste Probandenstudien eingesetzt werden können.

KONTAKT

M. Sc. Sven Leuchs

Tel. +49 160 6840822

sven.leuchs@fhr.fraunhofer.de



Konzept-Rendering-Modell, vorne.

KURZSTRECKENRADAR OPTIMIERT WETTERVORHERSAGE

Bislang basieren Wettervorhersagen auf Long-Range-Radar. Dieses birgt jedoch Herausforderungen: 70 Prozent der Troposphäre unter einem Kilometer können aufgrund der Erdkrümmung damit nicht beobachtet werden, auch ist die zeitliche Auflösung recht gering. Mit einem Kurzstreckenradar des Fraunhofer FHR lässt sich dagegen auch die untere Atmosphäre abbilden. Zudem verbessert sich die räumliche und zeitliche Auflösung.

Regen, Hagel, Sturm, Sonnenschein: Das Wetter ist ein Teil unseres Lebens. Zwar sind die Vorhersagen in Deutschland insgesamt gut, doch gibt es immer wieder Starkregenereignisse, Sturzfluten oder Stürme, die ganze Landstriche vollkommen unvorbereitet treffen. Dazu kommt: Für zahlreiche Länder gibt es keine verlässlichen Wettervorhersagen.

Üblicherweise werden zur Wettervorhersage mechanisch rotierende *Long-Range-Radarsysteme* genutzt – ihre Reichweite liegt bei etwa 250 Kilometern. Radarstrahlen, die auf niedrige Höhen gerichtet sind. Sie biegen sich nur mäßig zur Erdoberfläche, daher entsteht mit zunehmendem Abstand vom Sensor eine immer größer werdende Lücke, in die die Radarstrahlen nicht vordringen können: Etwa 70 Prozent der Troposphäre unter einem Kilometer können daher nicht per Radar beobachtet werden. Auch die Kosten der *Long-Range* Radargeräte haben es in sich, sie liegen bei mehreren Millionen Euro pro Gerät. Eine *Long-Range*-Radaraufnahme dauert derzeit fünf Minuten – bei wichtigen Wetterereignissen ist das jedoch zu lange.

Bessere zeitliche und räumliche Auflösung

Ein Netzwerk aus Mikroradar-Systemen könnte mit diesen Nachteilen aufräumen und die Wettervorhersage genauer werden lassen: Denn seine Reichweite ist mit 50 Kilometern vergleichsweise kurz, die Erdkrümmung fällt hier kaum ins Ge-

wicht. Es lässt sich somit auch die untere Troposphäre abbilden. Zudem lassen sich die Abbildungen durch eine elektronische Steuerung der Höheneinstellung deutlich schneller erstellen: Ein Volumetrischer Scan nimmt nur eine Minute in Anspruch, die zeitliche Auflösung ist also fünfmal höher als beim Long-Range-Radar. Entwickelt wurde der Demonstrator eines solchen Mikroradars vom Fraunhofer FHR in einer Wetterradarinitiative, die die Verbesserung der Meteorologie für Zentraleuropa zum Ziel hatte. Dazu wurde ein Memorandum of Understanding mit dem Meteorologischen Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn und der Technischen Universität Delft in den Niederlanden unterzeichnet und fertiggestellt.

Ende 2021 soll das flache Radar auf dem Dach des Fraunhofer FHR in Villip installiert sein und erste Ergebnisse liefern. Geplant ist weiterhin eine Kommerzialisierung des Systems mit deutschen und europäischen Industriepartnern. Eine Schlüsselbedingung: Das System soll mit unter 100.000 Euro vergleichsweise kostengünstig sein und somit neue Möglichkeiten für die Wettererfassung der nächsten Generation eröffnen.

KONTAKT

Dr. Stefano Turso

Tel. +49 228 9435-0

stefano.turso@fhr.fraunhofer.de

AUSBILDUNG UND LEHRE

Vorlesungen

WS 2019/2020

Bertuch, Thomas: »Antennen und Ausbreitung«, Fachhochschule Aachen

Brüggenwirth, Stefan: »Kognitive Sensorik«, Ruhr-Universität Bochum

Cerutti-Maori, Delphine: »Radar Systems and Measurements«, Technische Universität Braunschweig

Cerutti-Maori, Delphine: »Signal Processing for Radar and Imaging Radar«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Heberling, Dirk: »High Frequency Technology - Passive RF Components«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Heberling, Dirk: »Hochfrequenztechnisches Praktikum«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Heberling, Dirk: »Moderne Kommunikationstechnik - EMV für Mensch und Gerät«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Knott, Peter: »Antenna Design for Radar Systems (VO)«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Knott, Peter: »Antenna Design for Radar Systems (UE)«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Krebs, Christian: »Leiterplattendesign«, Hochschule Koblenz

Pohl, Nils: »Bachelor-Vertiefungspraktikum Elektronik«, Ruhr-Universität Bochum

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

Pohl, Nils: »Grundlagenpraktikum ETIT«, Ruhr-Universität Bochum

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

Pohl, Nils: »Master-Praktikum Schaltungsdesign integrierter Hochfrequenzschaltungen mit CADENCE«, Ruhr-Universität Bochum

SS 2020

Brüggewirth, Stefan:

»Grundlagen der Radartechnik«, Universität der Bundeswehr München

Caris, Michael:

»Radar in der Medizintechnik«, Hochschule Koblenz

Ender, Joachim:

»Radar - Techniques and Signal Processing«, Universität Siegen

Heberling, Dirk:

»Elektromagnetische Felder in IK (ehemals EMF 2 IK)«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Heberling, Dirk:

»High Frequency Technology - Antennas and Wave Propagation«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Heberling, Dirk:

»Hochfrequenztechnisches Praktikum«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Knott, Peter:

»Radar Systems Design and Applications«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Krebs, Christian:

»Leiterschaltungsdesign«, Hochschule Koblenz

Pohl, Nils:

»Master-Praktikum Schaltungsdesign integrierter Hochfrequenzschaltungen mit CADENCE«, Ruhr-Universität Bochum

Pohl, Nils:

»Integrierte Digitalschaltungen«, Ruhr-Universität Bochum

Stanko, Stephan:

»Radar in der Medizintechnik«, Hochschule Koblenz

Betreute Promotionen

Giovanneschi, Fabio: »On-line dictionary learning for classification of antipersonnel landmines using ground penetrating radar«, Universität Siegen

Krämer, Patrick: »Studies of Higher Order Mode Couplers for the Upgraded Travelling Wave Acceleration System in the CERN SPS«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Marquardt, Pascal: »Adaptive Spectral Least-Square Techniques for Reaction-Diffusion Equations«, Universität Duisburg-Essen

Wasserzier, Christoph: »Noise Radar on Moving Platforms«, Tor Vergata University of Rome, Italien

Abschlussarbeiten

Arumugam, Ram Kishore: »Development of super-resolution detection algorithms for sparse scenes in presence of clutter«, Technische Hochschule Ingolstadt

Awadhiya, Rajat: »Increasing the coherent integration time for space surveillance radar operations«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Bauer, Alexander: »Micro-Doppler Based Limb Detection For Gait Analysis«, Hochschule Koblenz

Cetin, Zuhail: »Design und Realisierung eines D-Band Verstärkers in einer SiGe-BiCMOS Technologie«, Ruhr-Universität Bochum

Esser, Niclas Alexander: »Konzeptionierung und Programmierung eines Systems zur echtzeitfähigen Datenaufzeichnung, Verarbeitung und Visualisierung von Radarsignalen«, Hochschule

Bonn-Rhein-Sieg

Galleguillos Loza, Pablo Ernesto: »Vitalparametermessung bei Nutztieren mithilfe eines zweikanaligen 94GHz FMCW-Radars«, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

Jung, Marie: »Kontaktlose Blutdruckmessung mithilfe eines CW-Radars anhand von Modellen des maschinellen Lernens«, Hochschule Trier

Langmesser, Florian: »Design and Implementation of a Low-Power Narrow-Band Radar Transmitter at X-Band«, Fachhochschule Aachen

Liebelt, Lukas: »Entwicklung eines synchronisierbaren, kohärenten Frequenzkonverters auf Basis der direkten digitalen Synthese«, Technische Hochschule Bingen

Nalkay, Rahul: »Design of a carrier platform and Analysis of a Cooling High-Power Transmit Modules of a Ra-

dar«, Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Chaudhury, Nandan Dutta: »An investigation on the possibility for bandwidth improvement of dielectric antennas via modification of their geometry«, KTH Royal Institute of Technology, Schweden

Oevuenc Kaya, Sertac: »Baseband Receiver Optimization for NR mmWave Mobile Radio Testing«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Ramesh, Avinash Nittur: »SLAM with RADAR in Automotive Applications«, Universität Siegen

Schneider, Moritz: »Development and Construction of the Mechanics for a 16-Element Phased-Array Radar to Analyse Fragmenting Objects in Earth Orbit«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Schneuing, Arne: »Reconstruction of Undersampled Magnetic Resonance Fingerprinting Data«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Schuth, Kim-Simon: »Entwurf und Implementierung einer Automatisierungssoftware für das MIRANDA 300 Radarsystem«, Hochschule Koblenz

Slavov, Angel: »Implementation of an FM-based multistatic passive radar using a software defined radio«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Smarza, Sonja: »Design und Realisierung eines Frequenzteilers in einer SiGe-BBiCMOS Technologie«, Ruhr-Universität Bochum
Spenrath, Tobias: »Development of an Adaptive Zero-IF Receiver for Narrow-Band Radar Applications at X-Band«, Fachhochschule Aachen

Spenrath, Florian: »Development of an Adaptive Zero-IF Receiver for Narrow-Band Radar Applications at X-Band«, Fachhochschule Aachen

Thindlu Rudrappa, Manjunath: »Vitalparameterdetektion bewegter Personen mit MIMO-Radar«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Ugurmann, Glen: »Entwurf eines Spannungsreglers für einen RFID-Transponder in einer 65nm CMOS Technologie«, Ruhr-Universität Bochum

Valdes Crespi, Ferran: »Implementation of a distributed time and frequency synchronisation system based on two way time transfer«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Wallrath, Patrick: »Verfahren zur Bestimmung der Eigenbewegung eines

MIMO-Radars unter Verwendung der ZF-Signale und Sensordatenfusion mit einer IMU«, Hochschule Trier

Zentarra, Michael: »Untersuchung der Auswirkungen der Strahlschwenkung von 5G«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule 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 2020:

www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2020



Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften

www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2020-journals



Publikationen bei wissenschaftlichen Konferenzen

www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2020-konferenzen



Fraunhofer-Publikationsdatenbank:

<http://publica.fraunhofer.de>





GREMIENTÄTIGKEITEN

Behrendt, D.

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP): Mitglied

Bertuch, T.

- IEEE Antennas and Propagation Standards WG P145: Mitglied

Brüggenwirth, S.

- IEEE AESS Germany Chapter: Secretary
- EDA Radar Captech: German Governmental Expert
- European Microwave Week (EuMW) 2020: Technical Review Committee
- IEEE Radar Conference 2020, TPC member

Cerutti-Maori, D.

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

Cristallini, D.

- NATO STO Group SET-242 "PCL on Mobile Platforms": Co-Chair
- European Defence Agency: CapTech Member
- European Microwave Week (EuMW) 2020, online: Technical Program Member
- International Radar Symposium (IRS) 2020, online: Technical Program Member
- AGERS 2020, online: Technical Program Member

Dankmayer, 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
- Radar Symposium (IRS) 2020 Warsaw, Technical Program Committee

Heberling, D.

- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2021,

Düsseldorf: Mitorganisator, Mitglied des Steering Committee

- Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) 2020, Siegen: Wissenschaftlicher Beirat
- Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG): Fachkollegiat
- IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.): Vorsitzender
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member

Klare, J.

- International Radar Symposium IRS 2020, Technical Program Committee
- European Microwave Week (EuMW) 2020, Technical Review Committee
- 7th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI) 2020, Technical Program Committee
- 13th European Conference on Synthetic Aperture Radar EUSAR 2020, Technical Program Committee
- ICP 2020 IEEE 8th International Conference on Photonics, Technical Program Committee

Knott, P.

- Informationstechnische Gesellschaft (ITG) im VDE, Fachausschuss HF 4 „Ortung“: Vorsitzender
- 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
- Chair of the 20th International Radar Symposium (IRS), Warsaw
- European Liaison for IEEE Radar Conference (RadarCon), Florence

Matthes, D.

- NATO STO Group SCI-332 "RF-based Electronic Attack to Modern Radar": Chairman
- International Radar Symposium (IRS) 2020: Technical Program Committee

Nüßler, D.

- VDI/VDE-GMA FA 8.17 Terahertz-Systeme: Mitglied
- European Machine Vision Association (EMVA): Mitglied
- International Radar Symposium (IRS) 2020, Ulm: Technical Program Committee

O'Hagan, D.

- NATO STO Group SET-268 "Bi-/Multi-static radar performance evaluation under synchronized conditions": Chairman
- IEEE AES Magazine: Deputy Editor-in-Chief
- IEEE AES Magazine: Associate Editor for Radar
- IEEE Radar Conference 2020: Special Sessions Co-Chair
- European Defence Agency: CapTech Member
- International Radar Symposium (IRS) 2020: Technical Program Member

Pohl, N.

- International Microwave Symposium (IMS 2020), Los Angeles (online): Technical Program and Review Committee
- European Microwave Week (EuMW) 2020, Utrecht (online): Technical Review Committee
- IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS 2020), Monterey (online): Technical Program Committee, Co-Chair for MM-Wave & THz ICs
- VDI ITG Fachausschuss 7.3 Mikrowellentechnik: Mitglied
- IEEE MTT Technical Committee MTT-24 Microwave/mm-wave Radar, Sensing, and Array Systems: vice-chair
- IMA (Institut für Mikrowellen- und Antennentechnik e. V.): Mitglied
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member

Uschkerat, U.

- EDA CapTech Radar: German Governmental Expert
- BMVI Nationalen Vorbereitungsgruppe zur WRC-23 (NVG23): Mitglied
- ETSI TGUWB: Mitglied

Walterscheid, I.

- IGARSS 2020: Scientific Committee

- IEEE Radar Conference 2020: Technical Program Committee
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member
- VDE (ITG) Member

Wasserzier, C.

- NATO STO Group SET-287 "Characterization of Noise Radar": Chair
- IRS 2020 TP committee member
- IEEE Sensor Signal Processing for Defense (SSPD) TP committee member

Weinmann, F.

- ITG-Fachausschuss 7.1 „Antennen“: Mitglied
- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2020: Technical Review Committee
- IEEE Antennas and Propagation Standards WG P2816: Mitglied
- EurAAP Working Group "Active Array Antennas" (WGA3): Mitglied

Weiß, M.

- EUSAR 2020/21, Leipzig/online: Technical Chair, EUSAR Executive
- IGARSS 2020, Waikoloa: Technical Program Member
- European Radar Conference (EuRAD) 2020, Utrecht: Technical Program Member
- International Radar Symposium (IRS) 2020, Warsaw: Technical Program Member
- Signal Processing Workshop (SPW) 2020, Vilnius: Technical Program Member

Worms, J.

- IEEE Radar Conference: Technical Program Member



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

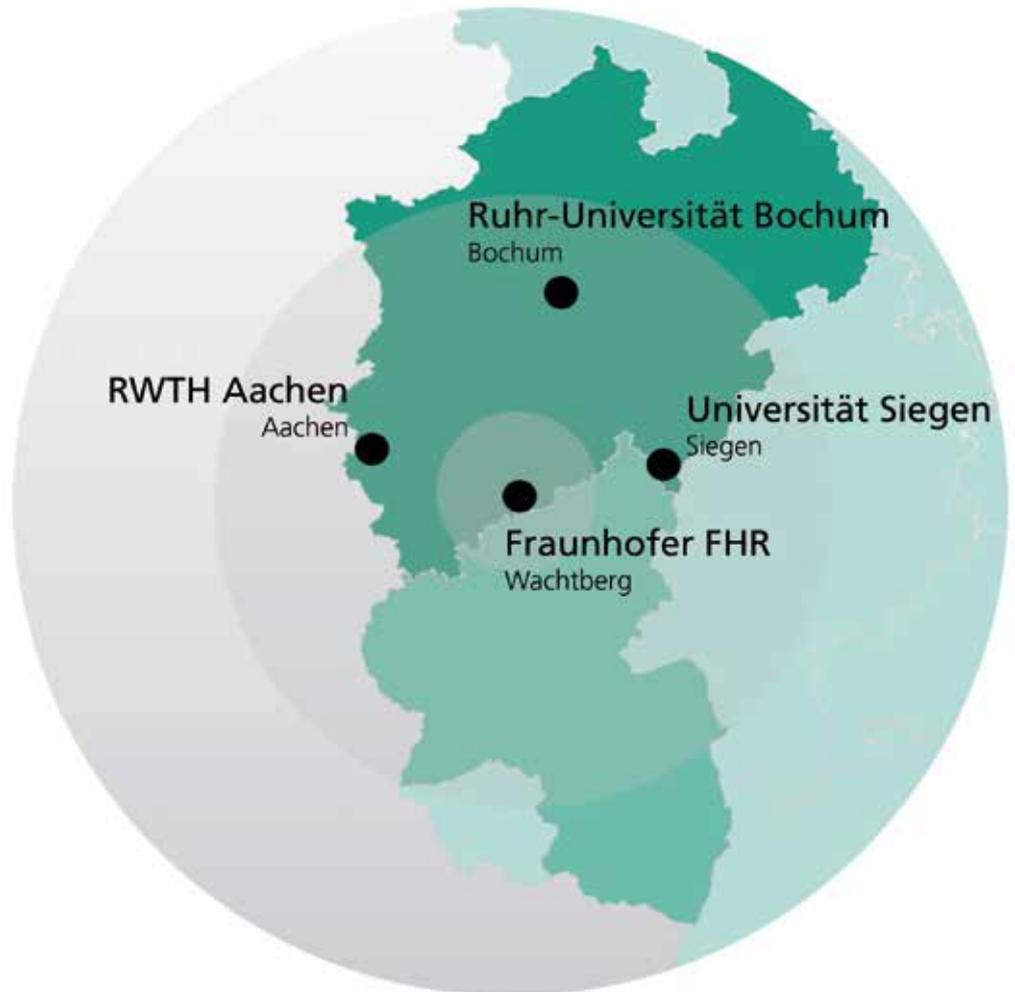
Tel.: +49 228 9435-0
Fax: +49 228 9435-627

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

Institutsteil Wachtberg-Villip

Am Campus 2
53343 Wachtberg-Villip

Tel.: +49 228 60882-1007



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 2021

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 / Jens Fiege

S. 2: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 6 Bild 1: Fraunhofer FHR, Bild 2: Fraunhofer FHR / Bellhäuser, Bild 3: Fraunhofer FHR / Fiege, Bild 4: Fraunhofer FHR / Wojacek, Bild 8: Fraunhofer FHR / Knott, Bild 9: Fraunhofer FHR / Herzer, Bild 10: Fraunhofer FHR / Fiege

S. 7 Bild 5: Fraunhofer FHR / Welsch, Bild 6: Fraunhofer FHR / Fiege, Bild 7: Fraunhofer FHR / Fiege, Bild 11: Fraunhofer FHR / Fiege, Bild 12: Fraunhofer FHR / Manjunah Thindlu Rudrappa, Bild 14: Fraunhofer FHR / Fiege, Bild 15: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 8: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 9: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 10 Bild 1 / Bild 4: Fraunhofer FHR / Carola Welsch, Bild 2 / Bild 3 / Bild 5: DLR / Evi Blink

S. 11 Bild 1: Fraunhofer FHR / Jens Fiege, Bild 2: DLR / Evi Blink

S. 13: Fraunhofer FHR / Marco Gallasch

S. 17: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 22: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 25: Bild 1 Fraunhofer FHR / Shoykhetbrod, Bild 2 Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 26: Fraunhofer FHR

S. 29: Bild 1 / Bild 3 Fraunhofer FHR, Bild 2 Fraunhofer FHR / Mies

S. 31: Fraunhofer FHR

S. 32: Fraunhofer FHR / Simon Wagner

S. 33: Fraunhofer FHR / Matthias Weiß

S. 34: Fraunhofer FHR / Andreas Schoeps

S. 36: Fraunhofer FHR / Andreas Schoeps

S. 37: Fraunhofer FHR / Rudolf Hoffmann

S. 38: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 39: Fraunhofer FHR / Andreas Fröhlich

S. 41 Bild 1: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser, Bild 2: NASA, Bild 3: Shutterstock

S. 42: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 44: Fraunhofer FHR / Carola Welsch

S. 45: Fraunhofer FHR / Diego Cristallini

S. 46: iStockphoto

S. 49 Bild 1: Fraunhofer FHR / Reinhold Herschel, Bild 2: Fraunhofer FHR / Alexander Shoykhetbrod, Bild 3: Fraunhofer FHR / Shutterstock

S. 50: Fraunhofer FHR

S. 51: Fraunhofer FHR / Stefan Wald

S. 52: Fraunhofer FHR / Fernando Rial Villar

S. 53: Fraunhofer FHR / Thomas Bertuch

S. 54: Fraunhofer FHR / Uwe Bellhäuser

S. 57 Bild 1: Fraunhofer FHR / Sabine Gütgemann, Bild 2 / Bild 3: IMS Messsysteme GmbH

S. 61: Fraunhofer MEVIS

S. 62: Shutterstock

S. 63: Fraunhofer FHR / Stefano Turso

S. 67: Fraunhofer MEVIS

S. 69: Shutterstock

S. 72 Fraunhofer FHR / Jens Fiege

RADAR IN AKTION

Was ist »Radar in Aktion«?

Mit der Präsentation unserer Forschungsergebnisse möchten wir zeigen, was mit Radar möglich ist und wie Sie die Möglichkeiten nutzen können. Da das zurzeit leider in persönlicher Form kaum möglich ist, haben wir 2020 die öffentliche Online-Vortragsreihe »Radar in Aktion« gestartet. Die Vorträge richten sich an Kunden, Partner und Interessierte aus Industrie, Politik, Wissenschaft und Gesellschaft.

In 2020 gab es 20 Veranstaltungen mit durchschnittlich etwa 100 Teilnehmern, insgesamt über 900 Personen, die häufig mehrmals teilnahmen. Über 93% bewerteten die Vorträge mit sehr gut oder gut.

Die Veranstaltungen finden immer dienstags von 14.00 Uhr bis 14.30 Uhr statt. Sie beinhalten Live-Präsentationen zu einer Radaranwendung - teilweise inklusive Live-Demonstration mithilfe von Experimentalsystemen sowie Gelegenheit zu Fragen und Austausch. Die Teilnahme ist kostenlos, es ist nur eine Anmeldung notwendig.



Viele Vorträge aus unserer Online-Vortragsreihe »Radar in Aktion« finden Sie jetzt auch auf unserem YouTube-Kanal:

<https://www.youtube.com/c/fraunhoferfr>



TERMINÜBERSICHT 1. HALBJAHR 2021

23.2.2021

High-resolution imaging with a 240-GHz radar with SiGe chip
Referenten: Prof. Dr.-Ing. Nils Pohl, Dr.-Ing. Reinhold Herschel

2.3.2021

Parasol: Passive radar controls nighttime marking of wind turbines
Referenten: Dipl.-Ing. Jochen Schell, Marvin Friedrichsen (Parasol GmbH & Co. KG)

9.3.2021

Radar schützt Fußgänger – das HORIS-Projekt
Referent: Dr.-Ing. Reinhold Herschel

16.3.2021

Ballast Condition Assessment in modern railways using RADAR
Referenten: M. Sc. Thoetphan Kingsuwannaphong (RWTH Aachen), M. Sc. Stefan Rümmler

23.3.2021

Real-time SAR - live aerial imaging in all weather conditions
Referent: Dr. rer. nat. Stephan Stanko

20.4.2021

Danger from drones: Monitoring airports with millimeter wave radar
Referent: M. Sc. Winfried Johannes

27.04.2021

Synthese von Radarrohdaten in Verkehrsszenarien durch Raytracing
Referenten: M. Eng. Stefan Wald, Dr.-Ing. Thomas Dallmann

04.05.2021

Machine Learning for Radar applications - Classification of Targets using Neural Networks
Referent: Dr.-Ing. Simon Wagner

11.05.2021

TIRA als Sensor im Bereich Space Situational Awareness (SSA)
Referentin: M. Sc. Nora Egli

18.05.2021

DVB-S based passive radar imaging
Referentin: Dr. Iole Pisciotano

1.6.2021

Additive Herstellungsverfahren für Millimeterwellen-Komponenten
Referent: M. Eng. Alex Shoykhetbrod

8.6.2021

The HORIS Project – How radar helps to protect pedestrians
Referent: Dr.-Ing. Reinhold Herschel

15.6.2021

Bildgebende Materialanalyse – SAMMI 3.0
Referent: M. Sc. Sven Leuchs

Mehr Infos zu unserer Online-Vortragsreihe und kostenlose Anmeldung unter:

www.fhr.fraunhofer.de/RadarinAktion



