

Jahresbericht 2023

---

# Das neue Fraunhofer FHR





Jahresbericht 2023



# Das neue Fraunhofer FHR

# Vorwort

---



## Sehr geehrte Leserinnen und Leser, liebe Partner und Freunde des Fraunhofer FHR,

2023 war ein sehr dynamisches Jahr für das Fraunhofer FHR. Neben unseren Forschungsprojekten lag der Schwerpunkt auf der zukunftsweisenden Gestaltung unserer Institutsstruktur. Ziel ist es, unsere Kompetenzen in der Forschung und Entwicklung neuer Radar- und Hochfrequenztechnologien immer direkter zum Nutzen unserer Kunden und Partner in die Anwendung zu bringen.

Dazu haben wir unsere Kräfte entlang unserer Hauptanwendungsfelder in den drei Bereichen Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme (MFR), Industrielle Hochfrequenzsysteme (IHS) und Radar zur Weltraumlage (RWL) gebündelt (Bericht S. 8 und 9). Mit dem neu gegründeten Projekt Management Office (PMO) sorgen wir dafür, insbesondere unsere Großvorhaben von der Planung bis zur Abnahme souverän zu meistern. Durch die Neuaufstellung unserer Verwaltung wurde das Zusammenspiel von Verwaltung und Fachbereichen zu einer gewinnbringenden Symbiose in die Wege geleitet. Mitte Oktober haben Camilla Szpurka und Marcus Lieber die Leitung der Verwaltung übernommen. Wir freuen uns, damit zwei Fraunhofer-erfahrene Verwaltungs- und Wissensmanagementexperten für uns gewonnen zu haben.

Eine besondere Veranstaltung erlebte das Institut im Oktober: Ina Brandes, Ministerin für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, besuchte zum ersten Mal die Fraunhofer-Institute in Wachtberg. Die Ministerin informierte sich an den Standorten Villip und Werthhoven über aktuelle Projekte des Fraunhofer FHR sowie TIRA und GESTRA und zeigte sich begeistert von unserer »Spitzenforschung made in NRW« (Bericht S. 20 und 21).

Messehöhepunkt 2023 war für uns die European Microwave Week im September in Berlin. Ein großes Team des Instituts beteiligte sich mit zwei Ständen und zahlreichen Workshops und Vorträgen. Neben dem Gemeinschaftsstand mit TNO, CITC und Fraunhofer IAF wurden auf dem *terahertz.NRW*-Messestand die Fortschritte des 2022 gestarteten Forschungsnetzwerks gezeigt. Hier arbeitet ein Konsortium unter der Koordination des Fraunhofer FHR daran, das Potenzial der THz-Technologie führend weiterzuentwickeln.

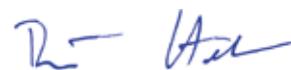
Unser 11. Wachtberg-Forum im Juni zeigte State-of-the-Art Radaranwendungen zur Unterstützung von Bundeswehr, Industrie und Gesellschaft. Eine besondere Ehre war die Teilnahme von Generalmajor Michael Traut, Kommandeur Weltraumkommando der Bundeswehr. Das große Interesse der über 130 Besucher unterstrich erneut den Beitrag unserer Anwendungen zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen (Bericht S. 18 und 19).

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre der Neuigkeiten des Fraunhofer FHR und der Auswahl spannender Projekte aus der großen Bandbreite unserer Forschungsarbeit.

Herzliche Grüße



Peter Knott



Dirk Heberling

### Geschäftsführender Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing.  
Peter Knott  
+49 228 60882-1001  
peter.knott@  
fhr.fraunhofer.de

### Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing.  
Dirk Heberling  
+49 228 60882-1002  
dirk.heberling@  
fhr.fraunhofer.de

# Inhaltsverzeichnis

---

Vorwort .....	4
Inhaltsverzeichnis .....	6
<b>Aus dem Institut .....</b>	<b>8</b>
Das neue Fraunhofer FHR .....	8
Bereich Multifunktionale Hochfrequenz und Radarsysteme (MFR) .....	10
Bereich Radar zur Weltraumlageerfassung (RWL) .....	12
Bereich Industrielle Hochfrequenzsysteme (IHS) .....	14
Besondere Ereignisse im Jahr 2023 .....	16
11. Wachtberg-Forum: Radarforschung im Zeichen von Verteidigung, Weltraum und Sicherheit .....	18
Premiere: NRW-Forschungsministerin Ina Brandes besucht Fraunhofer FHR .....	20
Promotion am Fraunhofer FHR .....	22
<b>Überblick .....</b>	<b>24</b>
Fraunhofer FHR im Profil .....	24
Das Jahr 2023 in Zahlen .....	26
Organigramm .....	28
Das Kuratorium .....	30
<b>Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme (MFR) .....</b>	<b>32</b>
Mine oder Schraube? Minensuche per Radar .....	34
Wie breiten sich Radarwellen über dem Meer aus? .....	36
<b>Radar zur Weltraumlageerfassung (RWL) .....</b>	<b>38</b>
Auf dem Radar: Wiedereintritt des Satelliten Aeolus .....	40
Himmelsausschnitte systematisch beobachtet .....	42

<b>Industrielle Hochfrequenzsysteme (IHS)</b> .....	<b>44</b>
Drohnen: Verletzte bei Großschadensereignissen finden .....	46
Waste4future: Recycling von Kunststoffen .....	48
<b>Anhang</b> .....	<b>50</b>
Veröffentlichungen .....	50
Ausbildung und Lehre .....	52
Gremientätigkeiten .....	56
Standorte .....	60
Impressum .....	62

# Das neue Fraunhofer FHR

Mit drei thematisch gebündelten Bereichen entlang der Hauptanwendungsfelder, einem Project Management Office und passgenauen Strukturen in der Verwaltung hat das Institut die Weichen für eine weiterhin erfolgreiche Zukunft gestellt.

Das Fraunhofer FHR hat sich neu aufgestellt: Für noch gezielter, auf die Bedarfe seiner Kunden und Partner zugeschnittene Forschungs- und Entwicklungsleistungen werden ab sofort die europaweit einzigartigen Kompetenzen rund um Radar- und Hochfrequenztechnologien in den drei Hauptanwendungsfeldern gebündelt: Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme (MFR), Radar zur Weltraumlageerfassung (RWL) und Industrielle Hochfrequenzsysteme (IHS).

So macht sich das Fraunhofer FHR mittels flexibel an Kundenbedarfe angepasster Roadmaps in einem sich rasch ändernden Marktumfeld stark für den Wettbewerb: Von maßgeschneiderter Einzelsensorik über komplexe Großprojekte bis hin zu Systemen und Subsystemen, von der Machbarkeitsstudie über Simulationen bis zum Prototypenbau und der Nullserienproduktion.

Darüber hinaus wurde ein Project Management Office (PMO) eingeführt, um Großprojekte effizient und qualitätsgesichert durchzuführen. Auch die organisatorische Abwicklung der Projekte wurde durch eine prozessorientierte Umstrukturierung unserer Verwaltung (VW) optimiert.

Die Umsetzung der Projekte des Fraunhofer FHR bleibt hiervon natürlich unberührt und die Abwicklung erfolgt wie gewohnt. Auch die bisherigen Ansprechpersonen bleiben bestehen. Die drei thematisch gebündelten Bereiche stellen sich wie folgt dar:



## Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme (MFR)

Mit innovativen multifunktionalen Hochfrequenz- und Radarsystemen gehen wir europaweit in wichtigen Großprojekten wie FCAS in Führung und leisten einen wichtigen Beitrag zur »Zeitenwende«.

Seit Jahrzehnten dominieren wir mit unseren Fachkenntnissen und Experimentalsystemen die wehrtechnische Radarforschung. Über das gesamte Institut hinweg sind hier einzigartige Kompetenzen und ein enorm wertvoller Erfahrungsschatz entstanden. All diese Kräfte bündeln wir ab sofort im Bereich Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme. Dies ermöglicht die enge Verzahnung von Hard- und Software in gemeinsamen Architekturen mit abgestimmten Schnittstellen sowie den gezielten Austausch von Daten. So können wir BMVg, Bundeswehr und die wehrtechnische Industrie in Deutschland und Europa

noch gezielter als bisher mit innovativen, werthaltigen Komponenten für zukünftige Verteidigungssysteme zur Aufrechterhaltung der Souveränität Deutschlands und Europas unterstützen.

### **Radar zur Weltraumlageerfassung (RWL)**

Weltraum unter einem Dach: Wir vereinen Forschung und Spitzentechnologien in Aufklärung und Überwachung für mehr Sicherheit im All im Dienste der Gesellschaft.

Objekte im erdnahen Weltraum detektieren, verfolgen und abbilden – unsere europaweit einmaligen Verfahren und Systeme leisten schon jetzt einen enorm wertvollen Beitrag zum Schutz unserer Infrastruktur im Weltraum. Im neu gestalteten Geschäftsbereich Radar zur Weltraumlageerfassung bündeln wir unsere geballte Expertise zur radargestützten Analyse und Charakterisierung von Weltraumobjekten mit Spitzentechnologien wie TIRA und GESTRA sowie perspektivisch mit raumgestützten Radarsystemen. Unser Ziel: Europaweit führend in der Erforschung und Entwicklung innovativer Systeme und Verfahren für die Sicherheit im erdnahen Weltraum.



### **Industrielle Hochfrequenzsysteme (IHS)**

Wir werden mit unserer Radarforschung die Nummer 1 in Deutschland für moderne Mobilitätslösungen bis hin zur Inline-Messtechnik.

Industrielle Hochfrequenzsysteme finden ihre Anwendungen heute von der industriellen Messtechnik über Mobilitätslösungen und Medizintechnik bis in das Umweltmonitoring. So vielfältig die Anwendungen von Radar sind, so umfassend und gleichermaßen tiefgehend sind die Kompetenzen unserer Know-how-Träger hierfür. Indem wir diese in einem Geschäftsbereich bündeln, werden wir für die deutsche Industrie zum Keyplayer für die maßgeschneiderte Entwicklung von Hochfrequenzsensorik, inklusive der Verbindung von Sensorik und Kommunikation und der Quantenelektronik.

#### **Kontakt**

Prof. Dr.-Ing. Peter Knott  
+49 228 60882-1001  
peter.knott@  
fhr.fraunhofer.de

#### **Kontakt**

Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling  
+49 228 60882-1002  
dirk.heberling@  
fhr.fraunhofer.de

# Bereich Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme (MFR)

## Interview zur neuen Institutsstruktur mit Dr.-Ing. Stefan Brüggewirth, Bereichsleiter MFR

### **Wo sehen Sie das Institut in 5 Jahren und warum ist die marktorientierte Bereichsstruktur der beste Weg dafür?**

Ich erwarte durch die bessere Nutzung unserer Synergieeffekte ein nachhaltiges Wachstumspotential in allen drei Bereichen. Durch die Bündelung der Kompetenzen können wir wieder mehr Innovationen auf den Markt bringen. Im Bereich Verteidigung sehe ich die erfolgreiche Implementierung eines gemeinsamen MFR-Experimentalsystems als sehr große Chance an. Durch die Konzentration unseres Know-hows könnten wir ein solches System in fünf Jahren in Hard- und Software erstellen und wären damit europa-, wenn nicht weltweit führend. Das wäre ein enormer Erfolg, der durch die Bereichsstruktur greifbar wird!

### **Was sind die wichtigsten Ziele, die das Institut damit verfolgt?**

Als messbare Ziele sehe ich eine solide, langfristige Finanzierung des Bereichs an, sowie ein ausgewogenes Mitarbeiterwachstum, das für weniger Belastungsspitzen sorgen soll. Herausfordernd bleibt dafür nach wie vor der aktuelle Fachkräftemangel. Umso wichtiger ist als zweites Hauptziel die Mitarbeitendenzufriedenheit, die dann auch für mehr Kontinuität sorgen kann. Nicht zuletzt natürlich streben wir damit mehr erfolgreiche querschnittliche Projekte an, wofür wir passende KPIs und Ziele je Bereich entwickeln und unsere »Stärken stärken« werden, d. h.

optimale Randbedingungen für die fachliche Arbeit des Bereichs schaffen werden.

### **Bezogen auf Ihren Bereich: Welche Vision haben Sie hier? Wo soll Ihr Bereich in 5 Jahren stehen?**

Ich möchte in meinem Bereich eine Matrix für die Zusammenarbeit etablieren. Mit abgestimmten Roadmaps wird jede Abteilung, jede Gruppe einen Forschungsbereich haben, der zukunftssträftig ist und sich nicht mit dem der anderen überlappt. Damit wir dabei dennoch für die einzelnen Projekte ideal auf die gegenseitigen Kompetenzen zugreifen können, möchte ich für einen zielgerichteten, offenen Datenaustausch und Know-how-Transfer sorgen. Mit erfolgreichen Großprojekten wie FCAS und der Entwicklung des gemeinsamen MFRF-Systems können wir so wertvoller Teil der »Zeitenwende« sein.

### **Wie optimiert die Strukturveränderung die Zusammenarbeit mit unseren Kunden und Partnern?**

Effiziente Vertriebswege erfordern eine gewisse Größe und Zeit, bis sie nachhaltig etabliert sind. Das wird mit den Bereichen und den Bereichsleitern möglich. Die erleichtern als »One-Face-to-the-Customer« den Kunden die Ansprache, kennen den Markt, die Roadmaps der Kunden, die Mitbewerber und Fördergeber und das eigene Portfolio, das sie gemeinsam mit Kunden und Amtseite langfristig strategisch weiterentwickeln.



## Das neue Fraunhofer FHR: Mit gestärkten Stärken schaffen wir mehr wertvolle Innovationen für unsere Märkte und die »Zeitenwende«.

Zum anderen erlauben die größeren Bereiche das Abfedern von Auftragspitzen und eine gleichmäßige Auslastung, was die Mitarbeitenden entlastet und die Zuverlässigkeit in der Projektabwicklung für die Kunden verbessert. Mit abgestimmten Roadmaps und einem Technologie-»Baukasten« können wir deutlich einfacher gesamte Systeme bzw. Subsysteme als werthaltige Komponenten mit passenden internen Schnittstellen anbieten.

**Bei aller Änderungsnotwendigkeit: Wo ist das Fraunhofer FHR erfolgreich? Worauf können wir bauen, was nehmen wir mit?**

Wir sind das größte Radarforschungsinstitut in Europa mit einem hervorragenden Ruf. Wir haben auch relativ treue Kunden, die uns auch weiterhin beauftragen werden. Wir haben herausragende Mitarbeitende und langfristige Großprojekte und das, denke ich, ist die Grundlage, auf der wir für diese Umstrukturierung aufbauen können.

**Zum Schluss noch eine persönliche Frage: Was bedeutet diese Umstrukturierung für Sie? Was ändert sich für Sie und wieso stellen Sie sich der Herausforderung?**

Die Leitung des Bereichs MFR ist sicher eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, hat aber aus meiner Sicht auch sehr viele spannende Möglichkeiten – auch jetzt in der neuen geopolitischen Lage. Mit acht erfolgreichen Jahren als

Leiter der ehemaligen Abteilung Kognitives Radar habe ich sowohl das Vertrauen in das Institut, dass alle hier mitgehen, als auch, dass ich die Aufgabe stemmen kann.

Während der Umstrukturierungsphase bedeutet das ein Verlassen der Komfortzone, weil viele teils gegensätzliche Interessen zu berücksichtigen sind. Als ich ans Institut kam, habe ich eine vergleichbare Situation erlebt. Damals wurde eine Abteilung in die Abteilungen PSR und KR gespalten, was zunächst für Verunsicherungen gesorgt hat. Letztlich war es aber sehr gut, dass wir die strategische Lücke »künstliche Intelligenz« erkannt haben und die Abteilungen so angelegt wurden. Ich stelle mir vor, dass das mit dem Bereich Verteidigung ähnlich läuft. Ich glaube, dass Deutschland mehr militärische Verantwortung übernehmen muss und wir als Fraunhofer FHR wieder stärker als Berater und als Innovations-treiber aktiv werden und wieder mehr unseres Know-hows in die Verwendung bringen müssen. Eine so verantwortungsvolle Aufgabe zu übernehmen, ist für mich ein wichtiger Anspruch.

### Kontakt

Dr.-Ing. Stefan Brüggewirth  
+49 228 9435-173  
stefan.brueggewirth@  
fhr.fraunhofer.de

# Bereich Radar zur Weltraumlageerfassung (RWL)

---

## Interview zur neuen Institutsstruktur mit Dr. rer. nat Lars Fuhrmann, Bereichsleiter RWL

### **Wo sehen Sie das Institut in 5 Jahren und warum ist die marktorientierte Bereichsstruktur der beste Weg dafür?**

Ich hoffe, dass wir in 5 Jahren ein modernes, effektives und am Markt gut platziertes, konkurrenzfähiges Institut sind, das auf soliden Finanzen basiert. Auch für andere Faktoren wie unsere Vernetzung, Wissenschaftlichkeit und Fraunhofer-Orientierung sehe ich in der neuen Struktur großes Potenzial. Die neue Bereichsstruktur ist dafür ein guter Mittelweg, der die nötigen Anpassungen ermöglicht, ohne das Institut zu überfordern.

### **Was sind die wichtigsten Ziele, die das Institut damit verfolgt?**

Wichtig ist, die Führung effizienter zu gestalten, die Führungsspanne zu verkleinern und die Strukturen handhabbarer zu machen. Dadurch können wir uns wieder gezielter mit unseren Technologien und hinsichtlich des Fraunhofer-Auftrags zukunftssicher am Markt aufstellen und eine sichere finanzielle Basis schaffen.

### **Bezogen auf Ihren Bereich: Welche Vision haben Sie hier? Wo soll Ihr Bereich in 5 Jahren stehen?**

Kurz- bis mittelfristig möchte ich die beiden Welten GESTRA und TIRA erfolgreich fusionieren. Ich möchte sie so zusammenbringen, dass wir eine gemeinsame Perspektive entwickeln und gemeinsam neue Wege gehen, wenn

die GESTRA-Projekte in 5 bis 10 Jahren nach und nach erfolgreich beendet worden sind. Der erfolgreiche Abschluss der TIRA- und GESTRA-Projekte ist dafür natürlich primäres Ziel. Den Strategieprozess für den neuen Bereich haben wir trotzdem direkt gestartet, um uns die Karten für die nächsten Jahre zu legen und eine detaillierte Roadmap aufzustellen. Auch die wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen den »alten Welten« soll bis dahin Früchte tragen und ich verspreche mir natürlich Synergien, was den Markt angeht. Weil wir jetzt breiter aufgestellt sind, können wir in 5 Jahren hoffentlich schon erste Erfolge in der Akquise neuer interessanter Projekte aufweisen. Hier freue ich mich schon auf das Ausloten der Möglichkeiten z. B. im New Space Markt zusammen mit Dr. Stephan Stanko als unseren Geschäftsfeldentwickler.

### **Wie optimiert die Strukturveränderung die Zusammenarbeit mit unseren Kunden und Partnern?**

Wir haben das »One face to the customer«-Prinzip. Damit sind wir in den Bereichen stärker als Einheit sichtbar. Der Kunde kann an einer Stelle andocken und von dort aus geht es effektiv zu einer Problemlösung für seine Fragestellung weiter. Umgekehrt wird uns durch die breitere Marktaufstellung und die gebündelten Kompetenzen die Akquise deutlich leichter fallen. Wenn wir dann durch das Entsendeprinzip und die parallel schon stattfindende Optimierung unserer Prozesse eine zugeschnittene Unterstützung durch die



## Das neue Fraunhofer FHR: Modern, effektiv und am Markt gut platziert entwickeln wir gemeinsame Perspektiven im Dienste der Gesellschaft.«

Verwaltung bekommen und z. B. Vertragsschlüsse schneller und transparenter erfolgen können, profitieren beide Seiten zusätzlich.

**Bei aller Änderungsnotwendigkeit: Wo ist das Fraunhofer FHR erfolgreich? Worauf können wir bauen, was nehmen wir mit?**

Wir sind stark sowohl in der Verteidigungsforschung als auch bei Weltraum und was Industrielösungen angeht. Wir haben viele Alleinstellungsmerkmale und können Lösungen anbieten. Das ist ein sehr solides Fundament. Wir haben über die Jahrzehnte einen großen Erfahrungsschatz aufgebaut, den wir aber wegen der neuen, von außen drückenden Rahmenbedingungen neu kanalisieren müssen, um ihn weiterhin gewinnbringend nutzen zu können. Für TIRA und GESTRA kann ich zudem sagen, dass wir ein hohes Identifizierungspotential mit den Arbeiten, den Gruppen, dem Bereich und dem Institut haben – ein wichtiger Baustein für die konstruktive, zielgerichtete Ausgestaltung der neuen Strukturen.

**Zum Schluss noch eine persönliche Frage: Was bedeutet diese Umstrukturierung für Sie? Was ändert sich für Sie und wieso stellen Sie sich der Herausforderung?**

Ich selbst identifiziere mich sehr mit dem Bereich Weltraum und aus meiner Sicht machte nur eine interne Besetzung der Bereichsleiterfunktion durch jemanden, der die Interna kennt, Sinn. Ich habe in meiner

Zeit hier einen guten Einblick bekommen, seit Mitte 2021 auch in der Abteilungsleiterfunktion, und habe den Eindruck, dass es sehr gut funktionieren kann. Das Umfeld dafür stimmt nach meinem Empfinden auf jeden Fall im Bereich Weltraum. Ich habe großen Respekt vor der Position und vor den Herausforderungen, die die Umstrukturierung mit sich bringt. Dazu zählt insbesondere das Zusammenführen von TIRA und GESTRA in Zeiten, die für beide Großprojekte an sich schon sehr herausfordernd sind. Das werden spannende, sicher auch etwas ungewisse Zeiten, aber ich freue mich auf die neuen Möglichkeiten und Herausforderungen. Ich hoffe, dass wieder mehr Freiraum für die Führungskräfte – mich eingeschlossen – entsteht, über den Tellerrand zu schauen und deutlich aktiver neue Ideen und Themen in die Bereichs- und Institutsstrategie einfließen lassen zu können.

### Kontakt

Dr. rer. nat. Lars Fuhrmann  
+49 228 9435-399  
lars.fuhrmann@  
fhr.fraunhofer.de

# Bereich Industrielle Hochfrequenzsysteme (IHS)

## Interview zur neuen Institutsstruktur mit Prof. Dr.-Ing. Dirk Nüßler, Bereichsleiter IHS

### **Wo sehen Sie das Institut in 5 Jahren und warum ist die marktorientierte Bereichsstruktur der beste Weg dafür?**

Mit dieser Aufteilung können wir uns viel spezifischer an den Besonderheiten der einzelnen Märkte ausrichten. Weitbereichssysteme für den Verteidigungsbereich z. B. erfordern eine ganz andere Technologie als die Nahbereichssysteme im zivilen Bereich. Dem können wir uns nur anpassen, wenn wir sie langfristig in den Technologie- und Forschungsroadmaps aufgreifen und spezifische Lösungen entwickeln. Das geht nur, wenn wir unsere Kompetenzen in unseren drei Kernbereichen bündeln.

Ich glaube, dass wir damit in den nächsten 5 Jahren Bereiche sehen, die in ihren Kernmärkten wettbewerbsfähiger sind und sich Alleinstellungsmerkmale erarbeitet haben, die auch langfristig die Finanzierung und Sicherung der Arbeitsplätze gewährt. Deshalb müssen wir uns heute auf diesen Weg machen.

### **Was sind die wichtigsten Ziele, die das Institut damit verfolgt?**

1. Eine gemeinsame, an den Märkten ausgerichtete Forschungs- und Technologieroadmap bis Ende 2024.
2. Die Zusammenführung der Kompetenzbereiche und eine Effizienzsteigerung in den jeweiligen Bereichen bis Mitte 2026.
3. Die deutlich leistungsfähigere Projektakquise und Sicherstellung der Finanzierungsstrukturen bis Mitte 2027.

4. Das Gewinnen neuer Mitarbeitender durch gezielte Wissenschaftsagenden und die Besetzung der Themen mit Papern, wodurch wir für z. B. Frontend-Entwickler und andere Spezialisten deutlich sichtbarer und attraktiver als Arbeitgeber werden.

### **Bezogen auf Ihren Bereich: Welche Vision haben Sie hier? Wo soll Ihr Bereich in 5 Jahren stehen?**

Ich will mit dem Bereich IHS zu einem der Schlüsselspieler in dem stark wachsenden Markt der zivilen Hochfrequenzsysteme werden. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Thema »Joint Communication and Sensing« zu. Ich möchte, dass das Fraunhofer FHR und damit der Bereich IHS Anwendungsfelder wie Automotive-Radar, Inline-Messtechnik und Umweltmonitoring mit Hochfrequenzsystemen bis in den Terahertz-Bereich in Deutschland mitgestaltet.

### **Wie optimiert die Strukturveränderung die Zusammenarbeit mit unseren Kunden und Partnern?**

Wir werden optimalere, wettbewerbsfähigere Angebote erstellen können. Als One-Stop-Shop bieten wir Kunden und Partnern einen Ansprechpartner, der ihnen die besten Kompetenzen für ihr Anliegen am Institut zusammensucht. Zudem können wir größere Projekte in kürzerer Zeit abliefern, weil wir die nötigen Ressourcen darauf konzentrieren können. Durch die Bündelung und das



## Das neue Fraunhofer FHR: Mit gebündelten Kompetenzen werden wir Keyplayer in der Entwicklung von Hochfrequenzsensorik.«

Zurückgreifen auf bestehendes Know-how werden Projekte wirtschaftlich interessanter – selbes Geld in kürzerer Zeit für weniger Arbeit – und wir müssen nicht in jedem Projekt das Risiko der Neuentwicklung in Kauf nehmen. Bisher war das Know-how sehr diffus am Institut verteilt. Wenn das Institut weiß, was es weiß, können wir mehr und größere Projekte in der gleichen Zeit mit weniger Risiko für uns und unsere Kunden stemmen.

**Bei aller Änderungsnotwendigkeit: Wo ist das Fraunhofer FHR erfolgreich? Worauf können wir bauen, was nehmen wir mit?**

Wir haben auch vorher keinen schlechten Job gemacht - sonst wären wir nicht da, wo wir sind! Das gilt für den zivilen und den Verteidigungsbereich, der über Jahrzehnte einer der dominanten Player in Sachen Radar war. Wir haben eine ganze Menge an Kompetenzen, Know-how in den Köpfen und an Infrastruktur aufgebaut und sind mit den Einzelpersonen und Einzelteams durchaus wettbewerbsfähig! Aber wir waren es in unserer Gesamtstruktur nicht mehr und die Teams konnten ihre Möglichkeiten nicht mehr richtig zur Geltung bringen. Deshalb haben wir die Gruppen an sich bei der Umstrukturierung unberührt gelassen, sie aber in den neuen Einheiten einer verbesserten Dachstruktur gebündelt.

**Zum Schluss noch eine persönliche Frage: Was bedeutet diese Umstrukturierung für Sie? Was ändert sich für Sie und wieso stellen Sie sich der Herausforderung?**

Tatsächlich stelle ich mich der Herausforderung, weil ich glaube, dass sie der einzige Weg ist, das Institut langfristig wettbewerbsfähig aufzustellen und sein wirtschaftliches Überleben zu garantieren. Wenn ich davon nicht überzeugt wäre, wäre ich diesen Schritt nicht gegangen.

Das bedeutet für mich mehr Verantwortung hinsichtlich der Großakquisen und ich bin sehr viel stärker gefordert, die neuen Führungsmannschaften weiterzuentwickeln und aufzubauen. Dabei müssen wir eine Entwicklung, die für die ehemalige Abteilung ISS für die nächsten 5 Jahre vorgesehen war, nun für den Bereich IHS wie in einem Brennglas in maximal 2 Jahren durchführen. Den Bereich in der kurzen Zeit wirtschaftlich wettbewerbsfähig als Einheit aufzustellen, die auch für das gesamte Institut funktioniert, ist wohl die größte Herausforderung.

### Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Dirk Nüßler  
+49 228 60882-2501  
dirk.nuessler@  
fhr.fraunhofer.de

# Besondere Ereignisse im Jahr 2023

Stuttgart, 9.-12. April  
Internationale Messe für  
Qualitätssicherung Control



2

Wachtberg, 27. April  
Girls'Day

Wachtberg, 10. Juli  
Besuch einer Delegation des National  
Astronomical Research Institute  
of Thailand (NARIT) zur Vertiefung  
der Kooperation



3

Bath, 24.-27. April

**NATO SET Panel Excellence Award**  
Die exzellente Arbeit der Kollegen des  
Fraunhofer FHR in der NATO Research  
Task Group-SET 250 würdigte die  
NATO mit dem NATO SET Panel Excel-  
lence Award.



1

Berlin, 7.-8. Februar  
Future Security

Januar

Februar

März

April

Mai

Juni

Bonn, 18. April

**Mitarbeitendenversammlung mit  
Vorstellung der neuen Instituts-  
struktur**

San Diego, 6.-11. Juni

**IEEE Microwave Prize  
2023 für Dr. Jan Wessel**



5

Wachtberg, 1.-7. Juli

**14. International Summer School  
on Radar/SAR**

57 internationale Studierende, Dok-  
toranden und Young Professionals  
aus der ganzen Welt die Gelegen-  
heit, einen intensiven Einblick in die  
Radar- und SAR-Technik zu gewinnen  
und sich in der Radar-Community zu  
vernetzen.



6

Berlin, 4.-6. Mai

**Down to Earth Space Technology**

Berlin, 24.-26. Mai

**International Radar Symposium IRS**



4

Wachtberg 21.-22. Juni  
11. Wachtberg-Forum

Wachtberg, 23. Juni  
16. Kuratoriumssitzung  
des Fraunhofer FHR

Bonn, 2.-6. August (Gesamtzeit-  
raum von Mai bis Oktober)  
GESTRA auf der MS Wissenschaft

Bochum, 1. August

**Dr.-Ing. Dirk Nübler zum Professor berufen**

Mit Wirkung zum 1.8.2023 wurde Dr.-Ing. Dirk Nübler, Bereichsleiter Industrielle Hochfrequenzsysteme IHS am Fraunhofer FHR zum Professor für Integrierte Hochfrequenzsensoren an die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Ruhr-Universität Bochum berufen.



7

Berlin, 17.-22. September

**European Microwave Week**

Ein großes Team des Fraunhofer FHR war mit 2 Messeständen, 6 Workshops, 8 Vorträgen und einer Posterpräsentation vertreten. Gezeigt wurden Radaranwendungen für die Industrie und zahlreiche Beispiele additiv gefertigter Hochfrequenzkomponenten sowie die Arbeit des Forschungsnetzwerks *terahertz.NRW*.



8

Berlin, 23. November

**Informationstechnische Gesellschaft im VDE ITG**

Auszeichnungen der VDE ITG Prof. Dr.-Ing. Joachim Ender erhielt der »Fellow der ITG«, Dr. Alexander Marek den VDE ITG Dissertationspreis und Prof. Dr.-Ing. Nils Pohl und seine Mitautoren den VDE ITG Preis 2023.

Wachtberg, 14. September

**Fraunhofer FHR Grillen**



9

Wachtberg, 23. Oktober

**Besuch der NRW-Ministerin für Kultur und Wissenschaft Ina Brandes**

Juli August September Oktober November Dezember

Bonn, 24. August

**Bonner Firmenlauf**

70 Kolleginnen und Kollegen der Fraunhofer-Institute FHR, FKIE und IZB absolvierten gut gelaunt den Lauf.



10

Ulm, 24. Oktober

**Hensoldt Forschungspreis ARGUS 2023 für Thomas Weyland**



12

Bremen, 14.-16. November

**Space Tech Expo Europe**

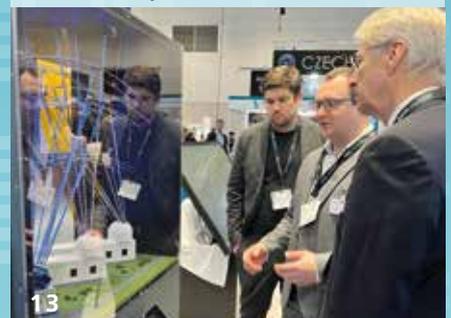
Hochkarätiger Besuch am Stand des Fraunhofer FHR: Unter anderem informierten sich Ex-ESA-Astronaut Thomas Reiter, DLR-Vorstand Dr. Walther Pelzer und der Fraunhofer-Vorstand für Forschungsinfrastrukturen und Digitalisierung, Prof. Dr. Axel Müller Groeling über die neuesten Entwicklungen im GESTRA Projekt.

Wachtberg, 7. September

**Verladung und Montage des neuen GESTRA Containers auf dem Institutsgelände**



11



13

# 11. Wachtberg-Forum: Radarforschung im Zeichen von Verteidigung, Weltraum und Sicherheit

State-of-the-Art Radaranwendungen zur Unterstützung von Bundeswehr, Industrie und Gesellschaft: Auf dem 11. Wachtberg-Forum des Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR vom 21. bis 22. Juni 2023 präsentierte das Institut eine breite Palette seiner Forschungsergebnisse. Über 130 Gäste aus Wirtschaft und Verteidigung, Wissenschaft und Industrie besuchten die Veranstaltung auf dem Campus in Wachtberg-Werthhoven rund um das Weltraumbeobachtungsradar TIRA. Auf dem Programm standen eine Ausstellung und Fachvorträge mit Live-Demonstrationen. Für die Keynote konnte in diesem Jahr Generalmajor Traut, Kommandeur Weltraumkommando der Bundeswehr, gewonnen werden.

Im großen Ausstellungsbereich zeigten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer FHR aktuelle Projekte des Instituts aus den Bereichen Verteidigung, Weltraum und Sicherheit. Ganz praxisnah wurden den Besuchern zahlreiche Anwendungen der Radar- und Hochfrequenzforschung vorgeführt.

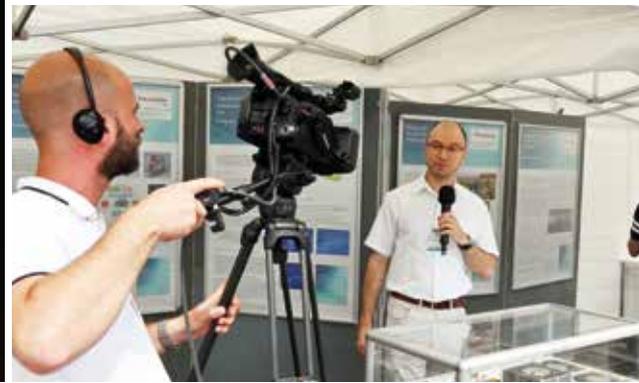
Auf dem Programm des ersten Tages stand neben der Vorstellung der neuen Struktur des Fraunhofer FHR das Thema »Radar als Schlüsseltechnologie zur Weltraumlageerfassung«.

In seiner Keynote hob Generalmajor Traut die wachsende Bedeutung der Sicherheit im Weltraum hervor - sowohl in Bezug auf die Space Safety, also der Verhütung von Unfällen und unbeabsichtigten Risiken als auch im Bereich der Space Security, worunter die Abwehr absichtlich herbeigeführter Risiken und Bedrohungen fällt. Am zweiten Tag behandelten die Vorträge den Schwerpunkt »Radar als Schlüsseltechnologie für Verteidigung und Sicherheit«. Hier standen unter anderem die Themen Satellitengestütztes passives Radar, Simulation und Anwendung elektronischer Aufklärung und ultrahocho aufgelöstes Drohnen-SAR auf der Agenda. Highlights der Vorträge waren die Live-Demonstrationen der vorgestellten Systeme, die per Video vom Ausstellungsgelände in die Vorträge übertragen wurden.

»Das Wachtberg-Forum 2023 hat zahlreiche Player der Branche zusammengebracht und viel Austausch, Kooperation und Vernetzung im Bereich der Zukunftstechnologie Radar angestoßen. Dabei zeigt uns das große Interesse der Besucher aus Industrie, Verteidigung und Forschung, dass wir mit unseren Radar- und Hochfrequenzanwendungen einen wichtigen Beitrag zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen der Gesellschaft leisten«, so Prof. Dr.-Ing. Peter Knott, Institutsleiter des Fraunhofer FHR.

*Hochkarätig und gelungen:  
Das Wachtberg-Forum 2023.*





# Premiere: NRW-Forschungsministerin Ina Brandes besucht Fraunhofer FHR

**Am 23. Oktober 2023 besuchte mit Ina Brandes zum ersten Mal in der Geschichte des Instituts eine für Wissenschaft und Forschung zuständige Landesministerin das Fraunhofer FHR.**

Wissenschaftliche Exzellenz in Nordrhein-Westfalen – dafür steht auch der Name Fraunhofer. Am 23. Oktober konnte sich Ina Brandes, Ministerin für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, bei einem Besuch in Wachtberg davon überzeugen: Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR und das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE öffneten die Türen ihrer Labore, um der Politikerin spannende Einblicke in die aktuellen Forschungsarbeiten der insgesamt fast 1.000 an den beiden Instituten beschäftigten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu gewähren. Begleitet vom Landtagsabgeordneten Jonathan Grunwald und dem Wachtberger Bürgermeister Jörg Schmidt informierte sich die Ministerin über die Arbeit der beiden Fraunhofer-Institute in Wachtberg.

Wissenschaftsministerin Ina Brandes: »Aus dem Institut in die Industrie: Diesem Leitgedanken fühlen sich die Forscherinnen und Forscher der beiden Fraunhofer-Institute in Wachtberg besonders verpflichtet. Die Arbeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist ein hervorragendes Beispiel für Spitzenforschung ‚made in NRW‘, die helfen wird, Lösungen für die großen Herausforderungen unserer Zeit zu finden.

Der Austausch von Wissenschaft und Unternehmen stärkt sowohl den Wissenschafts- als auch den Wirtschaftsstandort Nordrhein-Westfalen.«

Prof. Dr. Peter Knott, Institutsleiter des Fraunhofer FHR, begrüßte die Ministerin am zweiten Standort des Instituts in Wachtberg-Villip. In modernen Büro- und Laborgebäuden arbeiten dort über 100 Forscherinnen und Forscher an industriellen Anwendungen der Hochfrequenz- und Radartechnik. Schwerpunkt ist hier der Innovationstransfer in kleine und mittelständische Unternehmen. Bereichsleiter Prof. Dr. Dirk Nübler präsentierte der Ministerin nicht nur Projektbeispiele wie Radarsensoren für die Stahlindustrie oder 3D-gedruckte Antennen, sondern zeigte auch die moderne technologische Ausstattung, die es von der Chipentwicklung über die Aufbautechnik bis zur Systemintegration ermöglicht, nach den spezifischen Anforderungen des Kunden industrietaugliche Prototypen zu entwickeln.

## **Das Forschungsnetzwerk *terahertz.NRW***

Das Fraunhofer FHR berichtete weiterhin zum Stand von *terahertz.NRW*, einem Projekt unter Federführung des Instituts mit Partnern an den Universitäten Bochum, Duisburg-Essen und Wuppertal und dem Fraunhofer IMS in Duisburg, das aus dem Haus der Ministerin gefördert wird. Sein Ziel ist es, die führenden Köpfe der Terahertz-Forschung zusammenzubringen, um das bislang noch



*Prof. Dr. Dirk Nübler präsentiert die Projekte in Villip.*



*TIRA stieß auf reges Interesse – auch als Modell.*

relativ unerforschte, aber disruptive Potenzial der Technologie für neue mobile Anwendungen nutzbar zu machen.

### **Sicherheit im Weltraum dank Radar**

Nicht fehlen durfte auch ein Besuch des Weltraumbeobachtungsraders TIRA, dem größten und in Europa einzigartigen Experimentalsystem des Fraunhofer FHR, das durch seine mit einem Durchmesser von 47,5 Metern riesige Dimension und weithin sichtbare weiße Hülle »ein wichtiges Markenzeichen der Region ist, auf das wir sehr stolz sind«, wie Jörg Schmidt, Bürgermeister der Gemeinde Wachtberg, bei dem Rundgang über den Campus der beiden Institute betonte. Bereichsleiter Dr. Lars Fuhrmann erläuterte den Gästen die Wichtigkeit von Radar zur Beobachtung des erdnahen Welt- raums und die Bedeutung der Fraunhofer- Radare TIRA und GESTRA für die Sicherheit im Weltraum.



*Als Souvenir gab es TIRA als Glasquader für die Ministerin.*

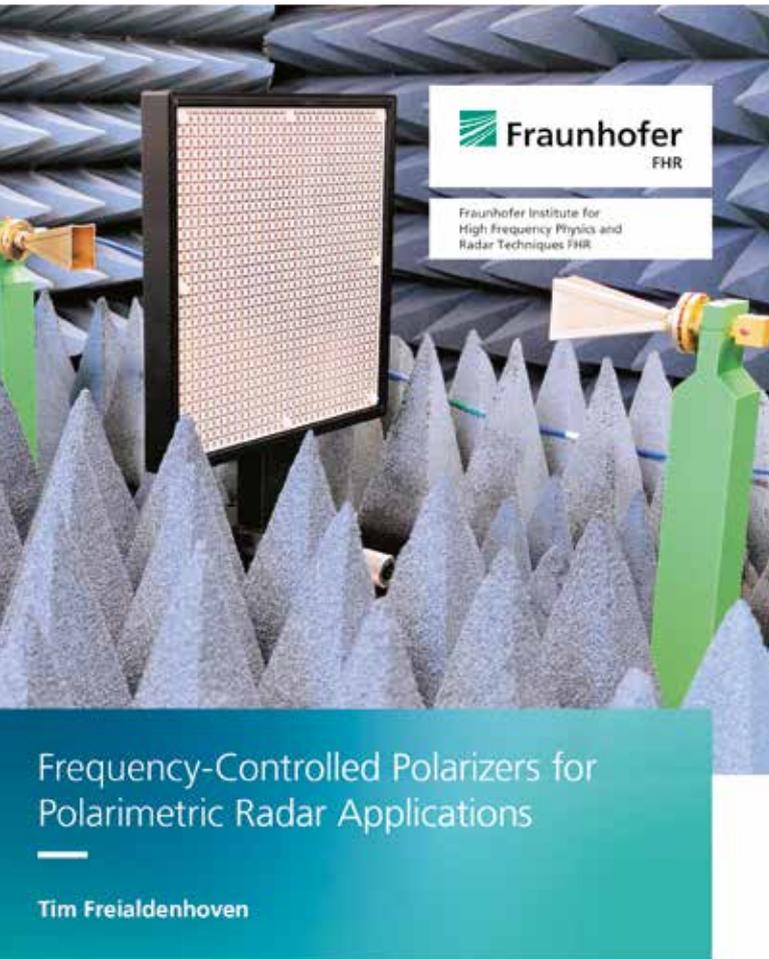


*Eine große Gruppe des Fraunhofer FHR und FKIE begleitete den Besuch der Politiker.*

### **Kontakt**

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

# Promotion am Fraunhofer FHR



## Dr.-Ing. Tim Freialdenhoven

Im September 2023 hat Dr.-Ing. Tim Freialdenhoven seine Doktorarbeit »Frequency-Controlled Polarizers for Polarimetric Radar Applications« am IHF der RWTH Aachen erfolgreich verteidigt. Doktorvater war Prof. Dr.-Ing. Dirk Heberling, Betreuer am Institut Jun.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Dallmann.

Dr. Freialdenhoven hat an der RWTH Elektrotechnik, Informationstechnik und Technische Informatik mit dem Schwerpunkt Informations- und Kommunikationstechnik studiert und 2015 seinen Master gemacht. Anschließend arbeitete er zunächst zwei Jahre bei einem KMU in der Sensor- und Industrieautomatisierungstechnik, bemerkte jedoch, dass er neben einer praxisnahen Tätigkeit gern wissenschaftliche Aspekte intensivieren wollte. Über Prof. Heberling und Jun.-Prof. Dallmann, bei denen er am IHF seine Masterarbeit geschrieben hatte, entstand der Kontakt zum Fraunhofer FHR. Von 2017 war er knapp 6,5 Jahre am Institut tätig, zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter der damaligen Forschungsgruppe Aachen und zuletzt als Standortleiter Aachen, angesiedelt im Bereich Industrielle Hochfrequenzsysteme IHS.

Den Gedanken an eine Promotion verfolgte Dr. Freialdenhoven bereits nach dem Studium. Als er von der Gründung der damaligen Forschungsgruppe Aachen und den Promotionsmöglichkeiten am Fraunhofer FHR erfuhr, war ihm klar, dass dies sein Weg ist. Das Thema seiner Arbeit ergab sich aus dem Projekt, für das er eingestellt wurde: PERFOM, ein Fraunhofer FHR intern gefördertes Projekt in dem abteilungsübergreifend eine polarisationsverändernde Struktur für die Radarpolarimetrie entwickelt werden sollte. Das Thema begeisterte ihn derart, dass er nach dem Projektende daran weiterforschen wollte.

Die Doktorarbeit von Dr. Freialdenhoven befasst sich mit polarimetrischen Radaren, die orthogonale elektromagnetische Polarisationen verwenden, um zuverlässige Zielcharakterisierungen und -klassifizierungen zu ermöglichen. Ein nicht-polarimetrisches, frequenzmoduliertes Radar kann zu einem polarimetrischen System erweitert werden, indem die in seiner

Die Förderung der Wissenschaftlichkeit ist dem Fraunhofer FHR ein wichtiges Anliegen. Das Institut unterstützt daher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aktiv auf ihrem Weg zu Promotion. Je nach persönlichen Forschungsschwerpunkten und Interessen gibt es individuell zugeschnittene Betreuungs – und Fördermöglichkeiten.

Arbeit vorgestellten, frequenzabhängigen und polarisationsrotierenden Reflect- und Transmitarrays verwendet werden. Die eingeführten Polarisatoren bestehen dabei aus speziell entwickelten, kompakten Einheitszellen, die entweder für die Erhaltung oder die Rotation einer linearen Polarisation in zwei nah benachbarten Frequenzbändern optimiert sind und mit Leiterplattentechnologie herstellbar sind. Der Einfluss von Fertigungstoleranzen und Kalibrierungsmethoden werden diskutiert und mit Messungen von hergestellten Mustern ausgewertet.

»Am meisten hat mich an meinem Promotionsthema fasziniert, welche Informationen ein Radarsystem zusätzlich erhalten kann, wenn man die Polarisation der elektromagnetischen Welle auswertet und dass dies mit vor einem Radar montierten Strukturen machbar ist«, so Dr. Freialdenhoven. Die größten Herausforderungen seiner im Oktober 2017 begonnenen Promotion lagen für ihn im Abstecken des Themas und der praktischen Realisierung der entwickelten Strukturen. Auch die Vereinbarkeit mit der Projektarbeit war nicht immer leicht. Dies gelang ihm aber nicht zuletzt, weil ihm Freiräume und finanzielle Mittel für sein Promotionsthema gewährt wurden. »Auch die sehr guten Weiterbildungsmöglichkeiten der Fraunhofer-Gesellschaft, die mir ermöglicht haben, überfachliche Qualifikationen aufzubauen, waren sehr hilfreich. Für die keineswegs selbstverständlichen Möglichkeiten am Fraunhofer FHR bin ich sehr dankbar.«

Auch die Unterstützung der Kollegen und insbesondere die Betreuung durch Jun.-Prof. Dallmann war für ihn hervorragend. »Die Zusammenarbeit in einem sympathischen Team und die tolle Arbeitsatmosphäre in der Forschungsgruppe Aachen sowie der enge Kontakt zum IHF der RWTH Aachen waren ein »Highlight« meiner Promotion. Ich ziehe

ein sehr positives Fazit meiner Promotionszeit am Fraunhofer FHR und hoffe, dass die Polarimetrie in Zukunft als fester Bestandteil jedes Radarsystems dazu beiträgt, dass Radarsensoren noch leistungsfähiger werden«, so Dr. Freialdenhoven abschließend.



### Kontakt

Dr.-Ing. Tim Freialdenhoven  
tim.freialdenhoven@  
rwth-aachen.de

### Kontakt Pomotion am Fraunhofer FHR

Hanne Bendel  
+49 151 2208 6429  
hanne.bendel@fhr.fraunhofer.de

# 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 Terahertz-Bereich.

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.

Neben den Standorten in Wachtberg Werthhoven und Villip unterhält das Fraunhofer FHR seit Mitte 2023 Standorte mit eigenen Büros in Aachen und Bochum. Dies unterstreicht die Vernetzung des Instituts mit der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und der Ruhr-Universität Bochum und bietet Mitarbeitenden die Möglichkeit, direkt von Aachen oder Bochum aus für das Fraunhofer FHR zu arbeiten.

### 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 2023 erwirtschaftete das Fraunhofer FHR im wehrtechnischen und im zivilen Institutsteil einen Gesamtertrag in Höhe von 47,7 Mio. €.

Zum Jahresende 2023 waren am Fraunhofer FHR insgesamt 418 Mitarbeitende beschäftigt. Davon sind 240 unbefristet und 131 Personen befristet beschäftigt. Hinzu kommen noch 47 Studierende und Auszubildende.

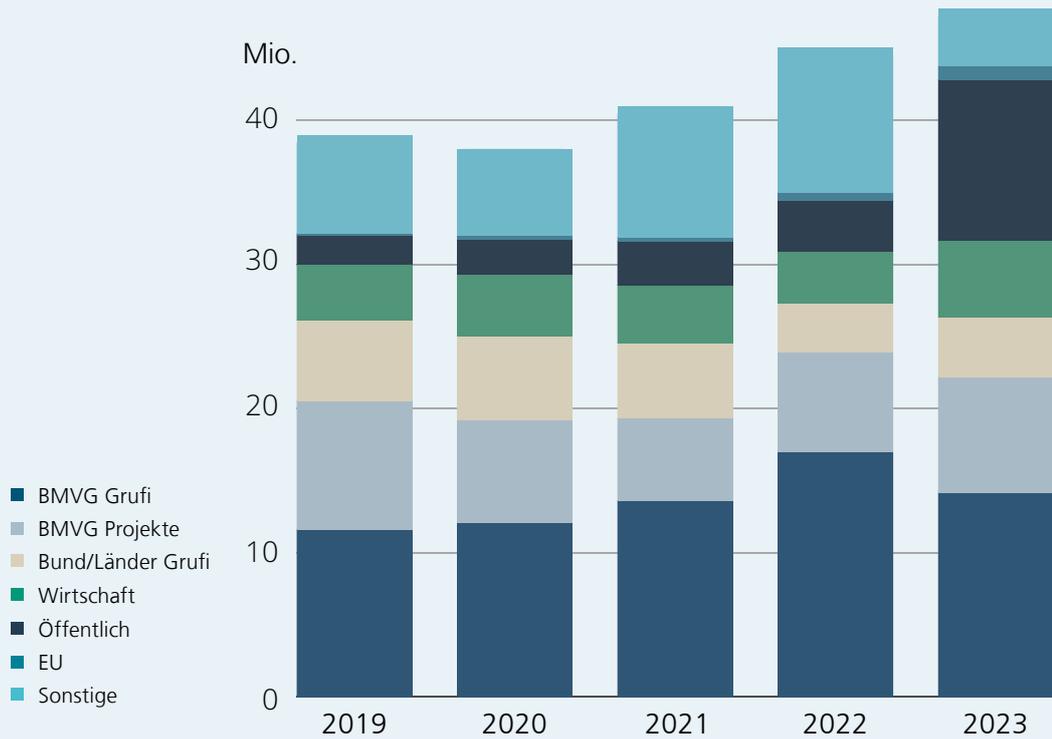
### Kontakt

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



# Das Jahr 2023 in Zahlen

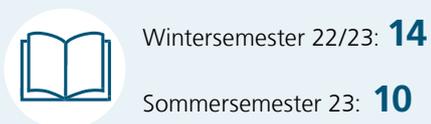
## Budgetentwicklung



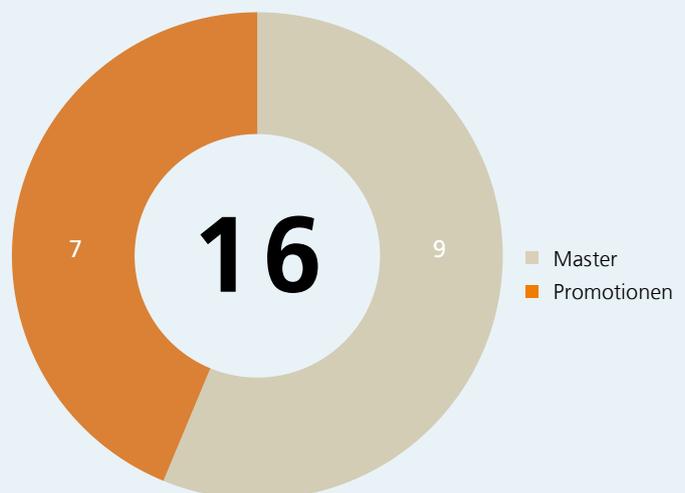
## Professuren



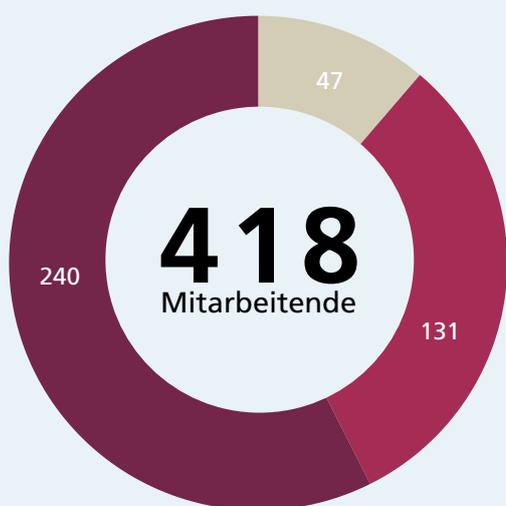
## Lehrveranstaltungen



## Abschlussarbeiten

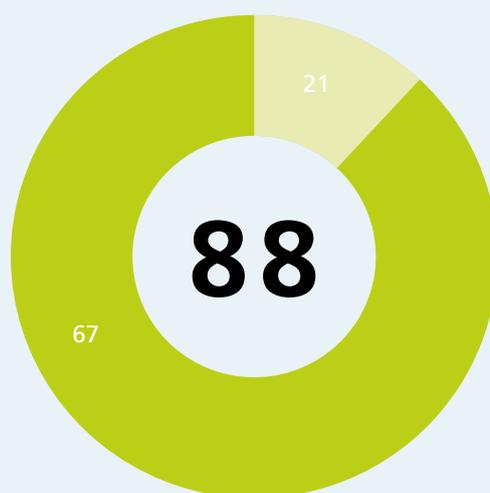


### Personal



- Hiwis, Praktikanten, Azubis
- unbefristet
- befristet

### Publikationen



- Zeitschriften
- Konferenzbeiträge



dt. 1750  
engl. 1640



1118



1541



3223



932

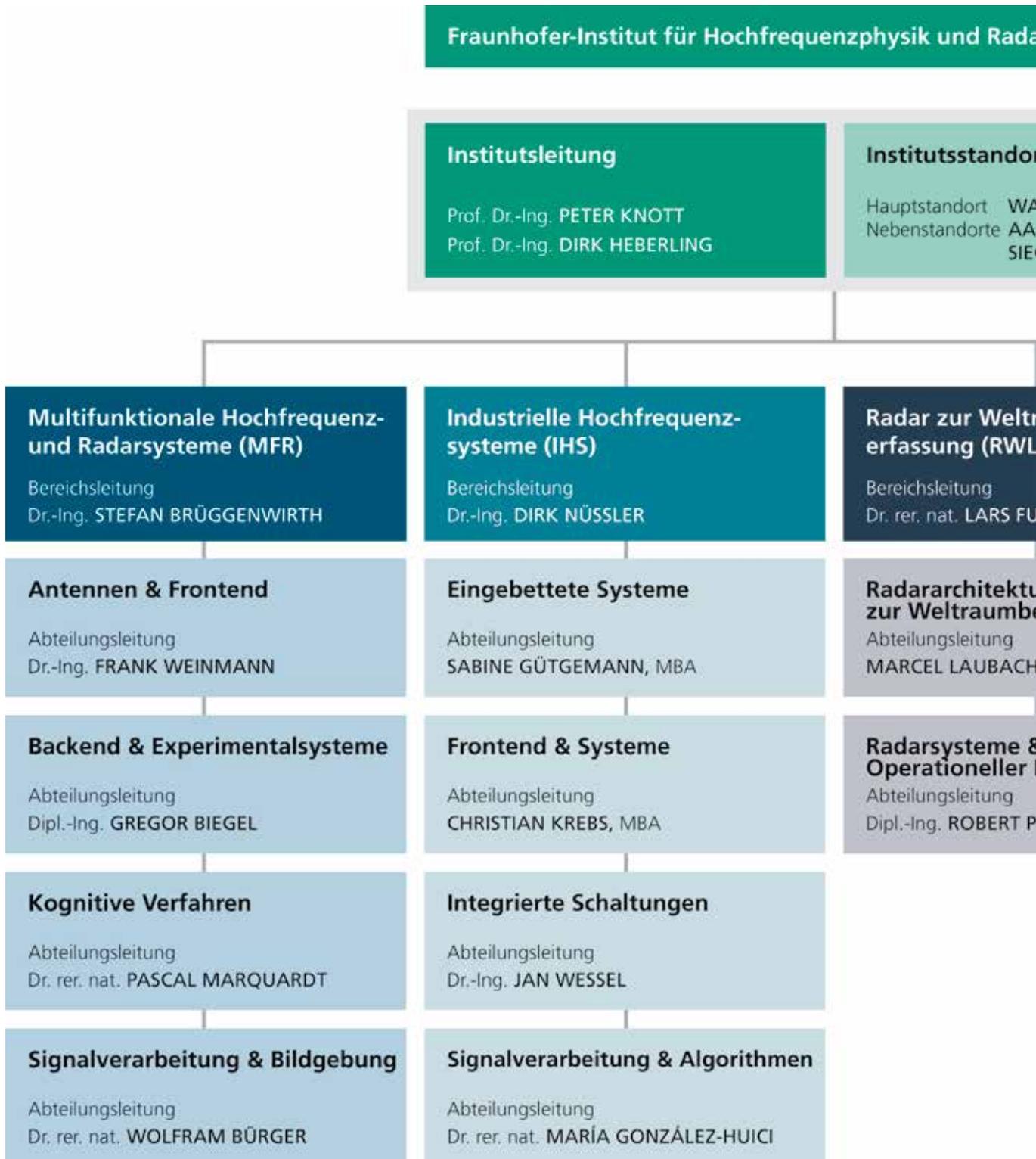
### Medienanalyse

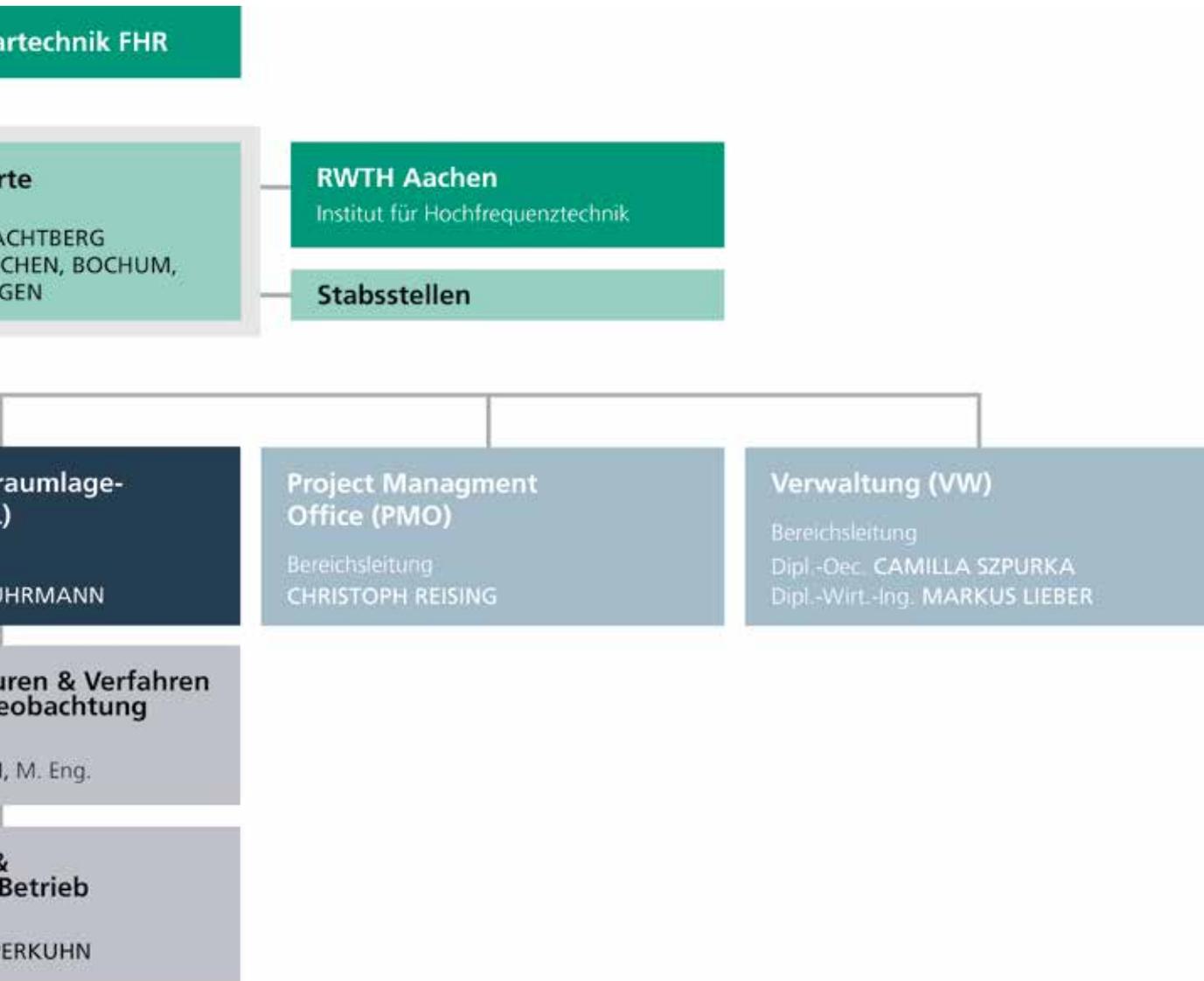


Beiträge in den Medien: **48**

erreichte Kontakte: **18,8 Mio**

# Organigramm





# 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:



*Die Kuratoriumssitzung 2023 fand am 23. Juni statt. Vor Ort in Wachtberg waren: Wilfried Wetjen, Dr. Hans-Otto Feldhütter (Direktor 1B Forschungsinfrastrukturen und Nachhaltigkeit, Fraunhofer-Zentrale), Prof. Christian Waldschmidt, Prof. Martin Vossiek, Dr. Gerhard Elsbacher, Gunnar Pappert, Dr. Dirk Tielbürger, Roland Neppig (WTD81, Bundeswehr), Prof. Peter Knott (Institutsleiter Fraunhofer FHR), Prof. Dirk Heberling (Institutsleiter Fraunhofer FHR), Dr. Birgit Geier (Abteilungsleiterin Forschungskoordination, Fraunhofer-Zentrale).*

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. Ilona Rolfes  
Ruhr-Universität Bochum  
Bochum

MinRat Dr. Dirk Tielbürger  
Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)  
Bonn

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

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

Wilfried Wetjen  
OHB-System AG  
Bremen

# Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme (MFR)

Mit multifunktionalen Hochfrequenz- und Radarsystemen geht das Fraunhofer FHR in Großprojekten wie FCAS europaweit in Führung und leistet einen wesentlichen Beitrag zur »Zeitenwende«.

Die »Zeitenwende« geht mit vielen Herausforderungen einher: So hat beispielsweise der Krieg in der Ukraine viele Schwachstellen aufgezeigt – etwa bei der Luftraumüberwachung und der Abwehr von Drohnen. Wichtig in dieser Hinsicht ist das Radar. Entsprechende Forschungsfragen adressiert das Fraunhofer FHR schwerpunktmäßig im Bereich »Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme«, kurz MFR, in dem etwa 160 Mitarbeitende tätig sind.

Hauptkunde ist die Bundeswehr – vielfach stehen Großprojekte im Zuge der europäischen Beschaffung auf der Agenda. Ein Beispiel ist das »Future Combat Air System FCAS«, das derzeit größte Rüstungsprojekt auf europäischer Ebene zur Entwicklung eines Kampfflugzeugs der sechsten Generation. Das Fraunhofer FHR entwickelt mit seinem Bereich MFR verschiedene Radar- und Hochfrequenzsysteme für FCAS, unter anderem Konzepte für ein multistatisches Radar sowie ein neuartiges Bordradar. Neben der Bundeswehr gehört auch die wehrtechnische Industrie zu den Forschungspartnern des Bereichs MFR.

Beispielhaft für die Forschungsarbeit ist auch das europäische Projekt CROWN. In diesem wurden bis Februar 2024 Technologien für ein multifunktionales Hochfrequenzsystem entwickelt – erstmalig auf europäischer Ebene. Elf Partner waren daran beteiligt, das Fraunhofer FHR brachte seine Kompetenzen im Bereich des kognitiven Ressourcenmanagements ein. Das Besondere an den multifunktionalen Hochfrequenzsystemen: Die Radarsysteme beherrschen neben Radar auch andere

Funktionen, etwa Kommunikations- oder Funkaufklärungsmoden, und zwar mit einer einzigen Antenne. Um die Orchestrierung der Moden kümmerte sich das Fraunhofer FHR.

## Vier Abteilungen, eng verzahnt

Im Bereich »Multifunktionale Hochfrequenz- und Radarsysteme« bündelt das Fraunhofer FHR seine Expertise und seinen Erfahrungsschatz aus der wehrtechnischen Radarforschung: Die zwei hardwarebezogenen Abteilungen Antennen & Frontend und Backend & Experimentalsysteme sowie die zwei Software-Abteilungen Signalverarbeitung & Bildgebung und Kognitive Verfahren sind in einer Matrixstruktur eng miteinander verzahnt. Entstanden ist eine Art Baukasten aus Frontend, Backend, Signalverarbeitung und KI: Projekte werden querschnittlich bearbeitet und greifen Kompetenzen aus mehreren Abteilungen ab. Auf diese Weise können Komponenten für zukünftige Verteidigungssysteme noch gezielter als bisher entwickelt werden.

**Antennen & Frontend:** Im Fokus stehen vor allem breitbandige Antennen und Metamaterialien, die Tarnung und Stealth-Eigenschaften verbessern sollen. Weitere Schwerpunkte sind analoge Schaltungen im Frontendbereich – Elektronik, die sich nah an der Antenne befindet – und das voll-digitale Radar, also ein Radarsystem mit Direktabtastung an jedem Antennenelement, welches durch kognitive Verfahren viele softwaredefinierte Freiheitsgrade eröffnet.



**Backend & Experimentalsysteme:** Beim Backend steht die Aufzeichnung und die Digitalisierung der erfassten Signale auf dem Programm. Wie lassen sich die großen Datenmengen verarbeiten, die bei der Direktabtastung erzeugt werden? Weitere Forschungsschwerpunkte liegen in der Energieeffizienz bei luftgestützten Anwendungen und in Systemarchitekturen. Experimentalsysteme erzeugen die realen Daten, die für Signalverarbeitungsalgorithmen sowie für das Training von neuronalen Netzen benötigt werden. Die Verfügbarkeit hochwertiger Experimentalsysteme ist häufig ein Alleinstellungsmerkmal des Fraunhofer FHR gegenüber Wettbewerbern.

**Signalverarbeitung & Bildgebung:** Diese Abteilung befasst sich mit synthetischen Apertur-Radaren sowie mit fortschrittlichen Signalverarbeitungsverfahren für luft- und bodengestützte Anwendungen. Auch das Thema Passivradar und Synchronisierung spielt hier eine große Rolle.

**Kognitive Verfahren:** Diese Abteilung beschäftigt sich im weitesten Sinne mit der Anwendung von Verfahren der künstlichen Intelligenz auf die Radartechnik. Wichtig ist diese unter anderem bei der elektronischen Signalaufklärung sowie elektronischen Gegenmaßnahmen, daher sind auch diese Forschungsfelder in dieser Abteilung angesiedelt.

*Zu Lande, zu Wasser, in der Luft und im Weltraum: Radar ist ein unverzichtbarer Sensor für Aufklärung und Überwachung.*

#### **Kontakt**

Dr.-Ing. Stefan Brüggewirth  
+49 228 9435-173  
stefan.brueggewirth@  
fhr.fraunhofer.de

## Mine oder Schraube? Minensuche per Radar

**Minen und Sprengfallen fordern zahlreiche Leben. Mit Hilfe von Radar lassen sie sich im Boden aufspüren – doch werden dabei auch harmlose Gegenstände vielfach als Minen »erkannt«. Ein Radarsystem des Fraunhofer FHR soll diese Falsch-Positiv-Raten künftig senken.**

Tausende von Menschen kommen Jahr für Jahr durch Landminen ums Leben – große Teile davon aus der Zivilbevölkerung. Neben diesen militärisch ausgebrachten Landminen fordern auch improvisierte Sprengfallen ihre Opfer: etwa mit explosivem Dünger gefüllte Kanister. Bodendurchdringendes Radar kann dabei helfen, diese tödlichen, im Boden verborgenen Waffen aufzuspüren, um sie dann unschädlich zu machen. Denn die Radargeräte senden elektromagnetische Wellen aus, die vom Boden und darin vergrabenen Gegenständen in unterschiedlichem Maße reflektiert werden. Der Haken an der Sache: Die Daten geben vielfach keinen Aufschluss darüber, ob es sich bei einem Gegenstand um eine Landmine oder aber um ein paar Schrauben oder ähnlich unbedenkliche Objekte handelt – die Falsch-Positiv-Rate ist insbesondere bei nassen und inhomogenen Böden recht hoch. Dies geht mit einer längeren Bergungsdauer und höheren Kosten einher: Gräbt man eine leere Getränkedose aus, verliert man Zeit und Geld und riskiert in Kriegsgebieten zudem, beschossen zu werden.

### Bessere Minen-Erkennung durch Vollpolarimetrie und Multistatik

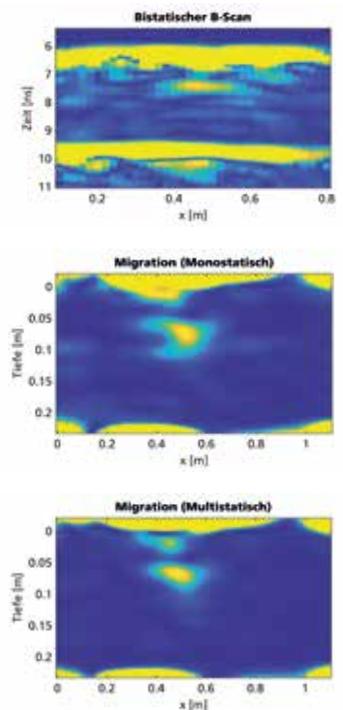
Forschende am Fraunhofer FHR arbeiten daher daran, die Qualität der erhaltenen Daten zu erhöhen und die Falsch-Positiv-Rate

deutlich zu senken. Möglich machen soll es ein vollpolarimetrischer und multistatischer Radarsensor. Bei einem gewöhnlichen Radar kommen linear polarisierte Radarwellen zum Einsatz – Wellen also, die nur in einer Ebene schwingen. Treffen diese auf ein Objekt, etwa eine Mine im Boden, ändert sich die Schwingungsebene je nach Geometrie des Objekts. Ein vollpolarimetrisches Radar kann sowohl im Sende- als auch im Empfangszweig mit zwei Polarisationen arbeiten. Hierdurch lassen sich die Änderungen der Polarisation bestimmen und geometrische Merkmale wie Ecken und Kanten extrahieren. Damit könnte künftig besser zwischen gefährlichen und nicht-gefährlich Objekten unterschieden werden. Die Auflösung des vollpolarimetrischen Radars liegt derzeit bei vier bis fünf Zentimetern.

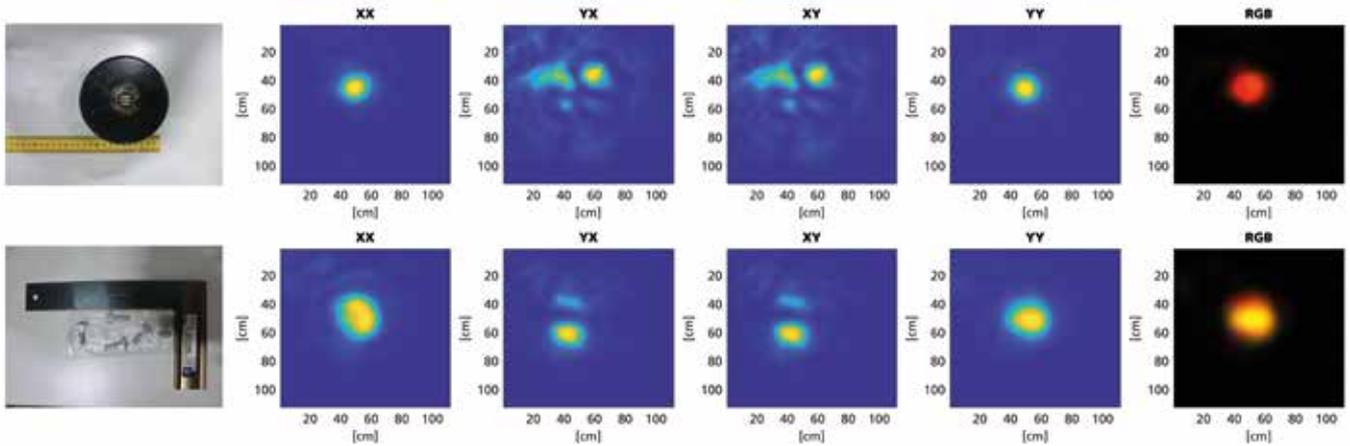
Die Multistatik setzt dagegen auf eine Vielzahl von Antennen: Wird üblicherweise mit einer Antenne ein Signal ausgesendet und das reflektierte Signal mit einer anderen Antenne wieder aufgefangen, nutzt man bei der Multistatik mehrere Empfangsantennen. Der Vorteil: Jede Antenne »schaut« in einem etwas anderen Winkel auf die Umgebung respektive den Boden – man erhält mehr Daten, womit auch die Erkennungswahrscheinlichkeit für Minen ansteigt.

### Erste Messkampagne erfolgreich

Am Fraunhofer FHR wurde zunächst eine kleine Antennenzeile aus sechs Antennen mit jeweils zwei Polarisationsebenen gebaut – selbst mit dieser kleinen Anlage erhält man bereits 144 Empfangskanäle. In einer Messkampagne wurde das Radarsystem einer ersten Prüfung unterzogen: In einer Halle bauten die Forschenden im Herbst 2023 einen



*Die obere Abbildung zeigt die Radarrohdaten des Antipersonenminensimulanten. Die mittlere Abbildung zeigt das Ergebnis eines bildgebenden Algorithmus unter Verwendung nur einer Antenne, was bereits zu einem deutlichen Kontrastgewinn führt. Bei Verwendung aller multistatischen Kanäle wird das Objekt noch einmal deutlich fokussierter abgebildet (untere Abbildung).*



»Sandkasten« auf, im dem sie unter anderem den Dummy einer Personenmine, 12 Zentimeter im Durchmesser und ohne jeglichen Metallanteil, als auch Schrauben und Patronenhülsen vergraben. Die Mine war auf den Radarbildern gut zu sehen. Was die Schrauben anging, so sind diese mit üblichem Radar kaum von der Landmine unterscheidbar, schließlich liegt die Auflösung bei vier bis fünf Zentimetern und damit über der Größe einer Schraube. Doch punktete hier die Polarimetrie: Da verschiedene Geometrien der Objekte die Schwingungsebene unterschiedlich verändern, ist ein deutlicher Unterschied zwischen den kantigen Schrauben und den flachen Minen erkennbar – eine zusätzliche Information, die sich für die Suche nach Sprengkörpern ausnutzen lässt. Im Sommer 2024 ist eine weitere Messkampagne geplant, auf einer Testfläche der Bundeswehr.

*Die Bilder zeigen Tiefenschnitte unterschiedlicher Polarisationen für einen Minensimulant (oben) und Schrauben (unten). Ein gewöhnliches Radar würde nur die XX oder YY Polarisation sehen und die Objekte kaum unterscheiden können. Mit einem vollpolarimetrischen Radar stehen alle abgebildeten Daten zu Verfügung und können beispielsweise für eine Einfärbung (letzte Spalte) genutzt werden, wodurch eine Unterscheidung einfacher wird.*

## Kontakt

Dr. rer. nat. Christian Bräu  
+49 228 9435 79017  
christian.braeu@  
fhr.fraunhofer.de

# Wie breiten sich Radarwellen über dem Meer aus?

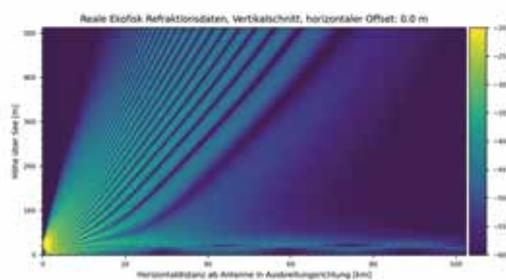
**Über warmen Meeren bilden sich vielfach Schichten aus Wasserdampf, die die Ausbreitung von Radarstrahlen beeinflussen. Eine neuartige Modellierung ermöglicht es erstmals, die Ausbreitung in drei Dimensionen zu ermitteln.**

Nähern sich Schiffe, Flugzeuge oder Raketen? Um diese Frage zu beantworten, setzt man sowohl in der zivilen als auch in der militärischen Schiff- und Luftfahrt auf Radarsysteme. Die Frequenzen der ausgesandten Radarwellen liegen üblicherweise zwischen einem und zehn Gigahertz: In diesem Bereich breiten sich die elektromagnetischen Radarwellen ähnlich wie Lichtstrahlen entlang gerader Linien aus. Meistens, sollte man hinzufügen: Denn in Abhängigkeit von der Wasser- und der Lufttemperatur und insbesondere über warmen Meeren wie dem Roten oder dem Südchinesischen Meer bilden sich häufig dichte Schichten aus Wasserdampf über der Wasseroberfläche, die nah am Wasser verlaufende Radarwellen zum Meer hin brechen. Das hat verschiedene Auswirkungen. Im einfachsten Fall entstehen Überreichweiten – man sieht also ähnlich wie bei Luftspiegelungen Dinge, die hinter dem Horizont liegen. Was zunächst wie ein Vorteil klingt, kann durchaus negative Effekte haben, speziell, wenn einem diese Überreichweite nicht bewusst ist. In extremeren Fällen werden die Radarstrahlen durch Refraktion in der Atmosphäre zurück zur Wasseroberfläche geleitet, dort reflektiert – mitunter wiederholt sich dieser Prozess mehrfach. In ähnlicher Weise können sich solche wellenleitenden Schichten auch in einer gewissen Höhe über dem Meer ausbilden. Die Folge eines solchen »Elevated Ducts« Seaskimmer – Seeziel-Flugkörper, die dicht über der Meeresoberfläche fliegen – können sich über oder unter diesen Luftspiegelungen

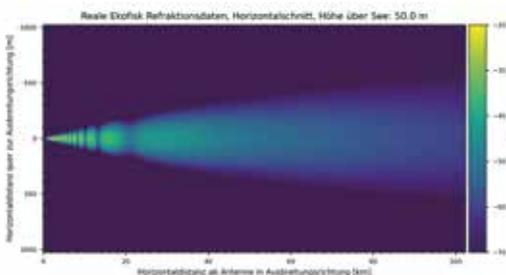
»verstecken«, sie sind mit den Radarstrahlen also kaum zu orten. So geschehen beim russischen Lenk Waffenkreuzer »Moskwa«, der durch zwei solcher Waffensysteme der Ukraine versenkt wurde. Auch kleinere Piratenboote können sich in diesen Bereichen vor dem Radar verbergen.

## Simulation der Radar-Sichtbarkeit in drei Dimensionen

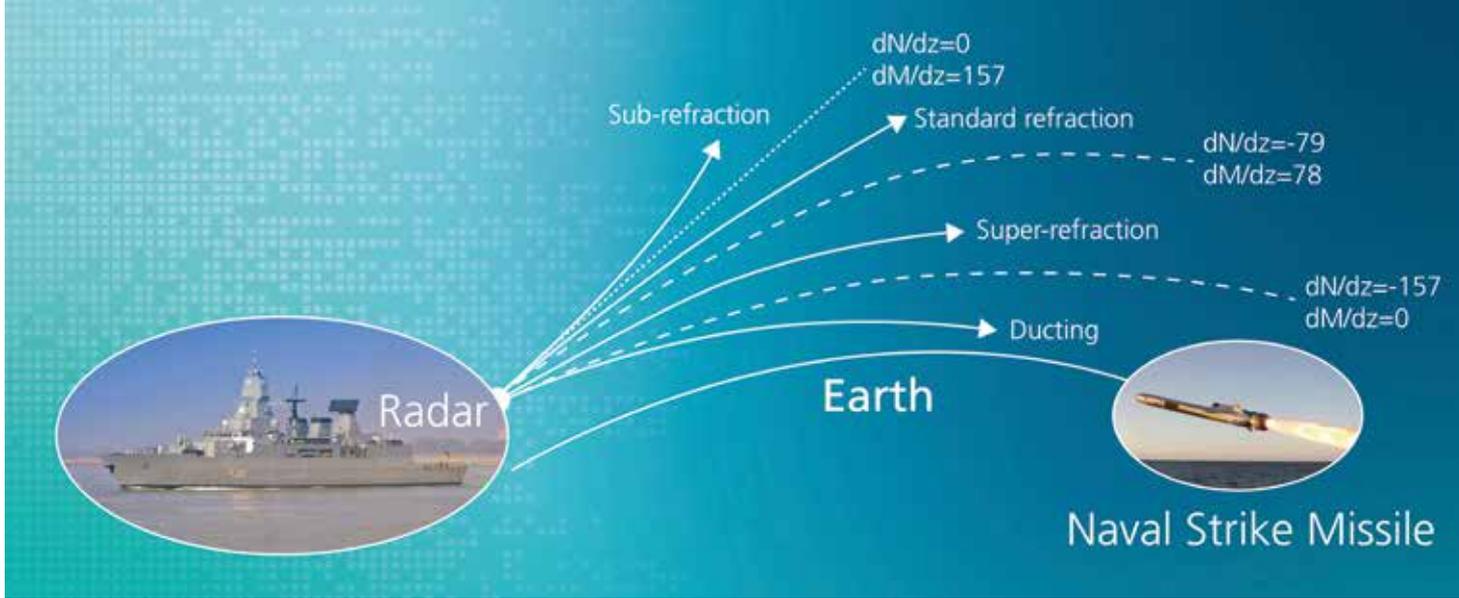
Die Bundesmarine hat daher ein starkes Interesse daran, die Radar-Sichtbarkeit von Flugkörpern oder Booten zu simulieren und besser zu verstehen – optimalerweise im Hinblick auf die jeweiligen Wetterverhältnisse in den tropischen Meeren. Zwar gibt es bereits Verfahren, um die Radarausbreitung über See zu berechnen: Die »parabolic equation method« PEM ist ein weit verbreitetes Berechnungsverfahren. Doch lassen sich die Radarwellen damit nur in Ausbreitungsrichtung berechnen – genauer



Vertikalschnitt der simulierten Feldstärkeverteilung auf der Basis von gemessenen Refraktionsdaten.



Horizontalschnitt ( $h = 50 \text{ m}$ ) der simulierten Feldstärkeverteilung auf der Basis von gemessenen Refraktionsdaten.



gesagt in den zwei Dimensionen Ausbreitungsrichtung und Höhe.

Forschende des Fraunhofer FHR ersetzen dieses äußerst rudimentäre Bild nun durch eine dreidimensionale Modellierung, in die ebenso wie in die PEM externe Wetterdaten einfließen. Um zu modellieren, wie sich Radarwellen in der inhomogenen Umgebung ausbreiten, nutzen die Forschenden die »Plane Wave Approximation«: Sie zerlegen die Radarwellen, die von der Antenne ausgesendet werden, in ebene Wellen, und betrachten diese mit der Fourier-Optik. Das Ergebnis: Dreidimensionale Feldverteilungen, die erstmalig anzeigen, wie sich die Radarwellen bei bestimmten Wetterverhältnissen im dreidimensionalen Raum ausbreiten – und die deutlich mehr Aufschluss über die Physik der Ausbreitung über dem Meer geben als bisherige 2D-Ansätze. So können aus den Daten neben den Vertikalschnitten, die aus der PEM bekannt sind, auch Horizontalschnitte oder Querschnitte der Feldverteilung ausgewertet werden. Die erhaltenen Abbildungen sind von Streifen geprägt: Diese entstehen, indem sich die an der Wasseroberfläche reflektierten Radarwellen mit den direkten Strahlen konstruktiv bzw. destruktiv überlagern (Interferenz). Besonders relevant sind Bereiche, die nicht von den Radarwellen ausgeleuchtet werden – dort ist das Radar quasi »blind«.

### Ausblick: Herausforderung Wellen

Der entwickelte Modellierungs-Algorithmus bildet auch die Basis, um die Auswirkung von Wasserwellen auf die Reflexion von Radarsignalen zu untersuchen und zu verstehen. Denn neben der Dünung, die durch hunderte Kilometer weit entfernte Stürme entstehen kann,

gibt es Capillary Waves, Wellenstrukturen im Zentimeterbereich. Die Wellen können also ebenso ein bis zwei Größenordnungen kleiner sein als die Radarwellen als auch zwei bis drei Größenordnungen größer. Mit den Modellierungen lässt sich berechnen, wie sich die Wasserwellen auf die Reflexion und Ausbreitung der Radarwellen über See auswirken – ebenso an Übergängen zu Inseln oder zum Land, bei denen die Atmosphärenübergänge noch einmal weitaus komplexer sind als über dem Wasser. Die Herausforderung liegt vor allem im hohen Rechenaufwand, der für statistisch belastbare Aussagen nötig ist: Hier könnte der Einsatz von modernen Grafikkarten mit hoher Rechenleistung helfen.

*Schematische Darstellung der Problematik »Ausbreitung über See«*

### Kontakt

Dipl.-Chem. Christian Rußbüldt  
 Dr.-Ing. Frank Weinmann  
 +49 228 9435-223  
 frank.weinmann@fhr.fraunhofer.de

# Radar zur Weltraumlageerfassung (RWL)

**Weltraumforschung aus einer Hand: Der Geschäftsbereich »Radar zur Weltraumlageerfassung« vereint Forschung und Spitzentechnologien zur Aufklärung und Überwachung – und sorgt somit im Dienst der Gesellschaft für mehr Sicherheit im All.**

Unser Alltag ist ohne Satelliten kaum denkbar: Kommunikationssatelliten ermöglichen Telefonate, Fernsehen und Internetverbindungen, Navigationssatelliten helfen dabei, Standorte zu ermitteln und Wettersatelliten liefern die Daten für präzise Vorhersagen. Mit seinem neu gestalteten Geschäftsbereich »Radar zur Weltraumlageerfassung« leistet das Fraunhofer FHR einen wertvollen Beitrag dazu, diese Infrastruktur im Weltraum zu schützen.

## **TIRA und GESTRA beobachten Objekte im erdnahen Orbit**

Die Kernaufgabe liegt in der Erforschung und Weiterentwicklung von Verfahren und Technologien zur Detektion, Vermessung und Analyse von künstlichen Weltraumobjekten mit Radar. Derzeit übernehmen hier komplexer die europaweit einmaligen Radarsysteme TIRA und GESTRA eine wichtige Aufgabe – sie halten vor allem den niedrigen Erdblick sowie den geostationären Orbit im Blick. Im Projekt WRIS, kurz für »Weltraumidentifizierungssensor«, beispielsweise unterstützt die Großradaranlage TIRA das deutsche Weltraumlagezentrum bei der Erfassung und Bewertung der Weltraumlage. Auf Basis der am Fraunhofer FHR erforschten und stetig weiterentwickelten Verfahren können dabei Leistungsmodul abgerufen werden, um beispielsweise Objekte im Detail zu untersuchen, ganze Missionen zu unterstützen und weitergehende Informationen bereitzustellen. WRIS startete im Jahr 2017 und ist noch für viele weitere Jahre angedacht. Zukünftig wird auch GESTRA das deutsche Weltraumlagezentrum in Uedem insbesondere mit Daten

zur Weltraumüberwachung und zum Aufbau eines entsprechenden Objektkataloges unterstützen.

Großprojekte des Geschäftsbereichs liegen vor allem in der Weiterentwicklung von TIRA und der Finalisierung des GESTRA-Systems. In TIRA-HD steht der Aufbau eines neuen breitbandigen, bildgebenden Radarsystems auf dem Programm, um die Weltraumaufklärung für zukünftige Herausforderungen zu wappnen. Denn während TIRA zurzeit für die bildgebende Aufklärung das Ku-Band nutzt, setzt TIRA-HD auf das Ka-Band – also bei etwa doppelt so hoher Frequenz und entsprechend erhöhter Bandbreite. Auf diese Weise steigt die Auflösung: Kleinere Objekte und Details sind besser erkennbar. Im Projekt »TIRA-Digital« wird das hochempfindliche Zielverfolgungsradar im L-Band von den Forschenden zu einem flexiblen Instrument nach dem Prinzip des Software-defined-Radar weiterentwickelt, um den zukünftigen Forschungsfragen zur Weltraumbeobachtung Rechnung zu tragen. Dazu gehören echtzeitliche Signalverarbeitungsverfahren.

Die Projekt-Familie GESTRA-Vernetzung, GESTRA-EUSST und GESTRA-TX2 stellt die konsequente Weiterentwicklung des GESTRA-Systems dar und widmet sich unter anderem dem Aufbau einer weiteren Empfangs- als auch Sendeeinheit. Nach der finalen Übergabe des GESTRA-Systems an den Auftraggeber, sollen hier in den nächsten Jahren in Kombination und innerhalb einer vernetzten Systemarchitektur die Fähigkeiten des GESTRA-Systems noch einmal deutlich gesteigert werden.



## Der Blick ins All soll sich weiten: auf Entfernungen von etwa 40.000 Kilometer und mehr

Bisheriger Schwerpunkt der Arbeiten zur Weltraumlageerfassung lag auf dem Low Earth Orbit (LEO), also Objekten auf Bahnen mit Entfernungen von bis zu etwa 2000 Kilometern. Künftig soll auch der Raum bis zu den geosynchronen/geostationären Orbits (ca. 40.000 km) und darüber hinaus der cislunare Raum (Mondentfernungen) stärker in den Fokus rücken, ebenso wie die noch weiter entfernten Asteroiden. Letztere können der Erde sehr nah kommen und eine mögliche Kollisionsgefahr darstellen. Aufgrund der großen Entfernungen kommen für die genannten Bahnbereiche bisher vor allem optische Teleskope zum Einsatz. Der Geschäftsbereich RWL des Fraunhofer FHR wird künftig entsprechende Radarverfahren und -technologien für diese Aufgaben entwickeln und einsetzen.

### Weltraumgestützte Radarsysteme

Perspektivisch werden zudem Konzepte für raumgestützte Systeme, man spricht von »space-based radar«, das Portfolio erweitern: Radarsysteme, die auf Satelliten montiert, den Weltraum überwachen oder aufklären und untereinander und/oder mit bodengebundenen Systemen vernetzt ihre Daten zur Erde schicken.

Der Geschäftsbereich RWL plant hier federführend, gemeinsam mit den beiden anderen

Geschäftsbereichen MFR und IHS, entsprechende Radarsensorik zu erforschen, zu entwickeln und gegebenenfalls auch auf Demonstratorlevel aufzubauen.

### Kompetenzen des Geschäftsbereichs RWL

Zum Technologieportfolio des Geschäftsbereichs RWL gehören Hochleistungsradargeräte und die Großantennentechnik ebenso wie die Phased-Array Technologie und Bi-/Multistatische Systeme. Zukünftig werden Arbeiten zu weltraumgestützten Radarsystemen das Portfolio abrunden. Was die Theorie, Algorithmen und Verfahren zur Weltraumlageerfassung angeht: Der Geschäftsbereich erforscht unter anderem Methoden zur Detektion, Angriff, Bahnverfolgung, Bahnbestimmung und Katalogisierung von erdnahen Weltraumobjekten. Über die ISAR-Bildgebung lassen sich auch Abbildungen der Objekte erstellen, in ein, zwei oder drei Dimensionen. In den kommenden Jahren sollen zudem Themen wie Sensor- und Datenfusion weiter untersucht werden. Die operationellen Fähigkeiten und Aufgaben umfassen sowohl den Betrieb und die Wartung als auch die betriebsbegleitende Weiterentwicklung der Radarsysteme GESTRA und TIRA. Schließlich überführt der Geschäftsbereich im Sinne des Fraunhofer-Prinzips die entwickelten Verfahren innerhalb quasioperationeller Messkampagnen und Auftragsarbeiten in die direkte Anwendung.

*Mit den Radarsensoren TIRA (Tracking and Imaging Radar) und GESTRA (German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar) helfen wir dabei, die Weltrauminfrastruktur zu sichern.*

### Kontakt

Dr. rer. nat. Lars Fuhrmann  
+49 228 9435-399  
lars.fuhrmann@  
fhr.fraunhofer.de

# Auf dem Radar: Wiedereintritt des Satelliten Aeolus

**Mehrere Jahre hat er aus dem Orbit den Wind beobachtet – 2023 ließ die ESA den Satelliten kontrolliert in die Erdatmosphäre eintreten und verbleibende Trümmerteile gezielt abstürzen. Beobachtet wurde das Ereignis vom Weltraumbeobachtungsradar TIRA des Fraunhofer FHR.**

Es wird immer voller im erdnahen Orbit: Nicht nur ziehen dort zunehmend mehr Satelliten ihre Bahnen, auch steigt die Menge an Weltraumschrott. Weltraumbehörden gehen daher dazu über, Satelliten nach ihren Missionen kontrolliert wieder auf die Erde stürzen zu lassen. Zum größten Teil verglühen diese beim Wiedereintritt in die Atmosphäre, eventuelle Reste lässt man in den Ozean fallen, um niemanden zu gefährden. Mittlerweile werden die meisten der kürzlich und künftig gebauten Satelliten bereits bei der Konstruktion für einen solchen Wiedereintritt ausgelegt. Die European Space Agency ESA hat im Juli 2023 erstmals einen Satelliten kontrolliert in die Erdatmosphäre Wiedereintreten lassen, der in den späten 1990er Jahren entwickelt wurde und daher noch nicht für dieses Prozedere ausgelegt war: Den Satelliten Aeolus, der seit August 2018 globale Windprofile von der Erdoberfläche bis zu einer Höhe von 30 Kilometern ermittelte.

## Daten des Radars TIRA unterstützen

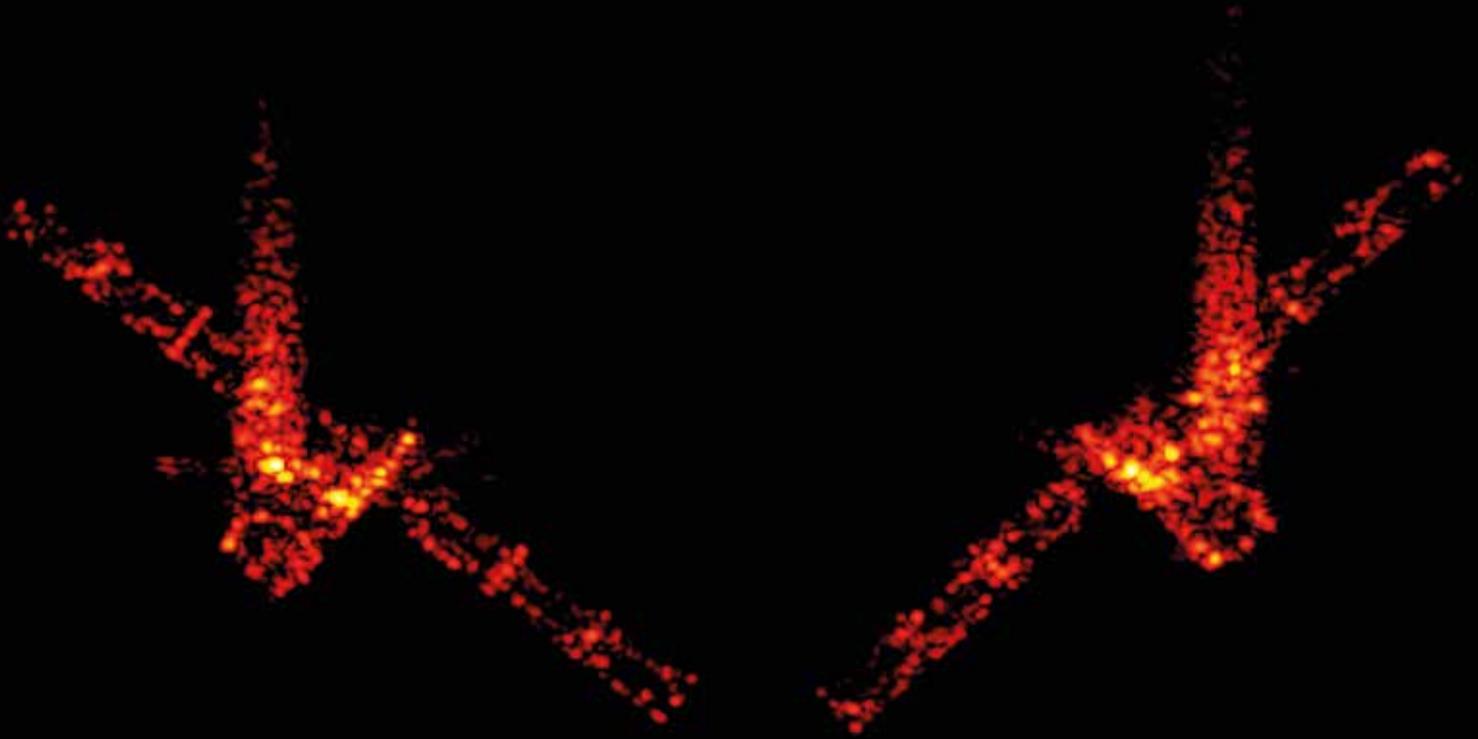
Der kontrollierte Wiedereintritt forderte die Expertinnen und Experten der ESA: Mit dem restlichen Treibstoff des Satelliten führten sie eine Reihe von Zündungen durch, um Aeolus in die beste Position für den Wiedereintritt zu bringen. Unterstützung erhielten sie dabei vom Fraunhofer FHR, genauer gesagt vom

Weltraumbeobachtungsradar TIRA mit seiner 34-Meter-großen Parabolantenne. Dieses sollte, so der Auftrag des Weltraumlagezentrums, das eng mit der ESA kooperiert, den Wiedereintritt von Aeolus verfolgen, wann immer der Satellit von Deutschland aus zu sehen war. Die erhobenen Daten wurden unmittelbar nach jeder Radarbeobachtung zum Weltraumlagezentrum und zur ESA geschickt: Hatten die durchgeführten Manöver den beabsichtigten Effekt? Eine elementare Information für die Ingenieure des Weltraumlagezentrums: Denn so konnten sie abschätzen, ob auch die nächsten Schritte wie gewünscht verlaufen würden. Die Informationen, die die Forschenden des Fraunhofer FHR bereitstellten, umfassten zudem Voraussagen zum Wiedereintritt des Satelliten, zeitlich ebenso wie örtlich. Anders gesagt: Wann würden die übrig gebliebenen Teile wo herunterkommen?

TIRA erstellte jedoch nicht nur Trackinginformationen, sondern auch Abbildungen des Satelliten: Wie ist der Status von Aeolus? Waren bereits vor dem Wiedereintritt Beschädigungen vorhanden? Dies schien nicht der Fall zu sein: Die Radardaten zeigte das große ALADIN Teleskop, also die Hauptnutzlast, ebenso wie die Solarpaneele. Ein weiteres Ergebnis: Der Satellit wies in den finalen Stationen des Wiedereintritts eine leichte intrinsische Rotation auf, er drehte sich also leicht.

## Die Daten helfen der Forschung auf dem Gebiet des Satellitenwiedereintritts

Nach dem Wiedereintritt schicken die Forschenden einen ausführlichen Report an das Weltraumlagezentrum und die ESA.



Schließlich sind die Daten, die TIRA gesammelt hat, nicht nur für den Wiedereintritt von Aeolus interessant, sondern ebenso für die Simulation und Modellierung künftiger Wiedereintritte – denn entsprechende Daten sind rar, das Forschungsfeld hingegen aktiv. Die Daten können Forschenden dabei helfen, Wiedereintritte von Satelliten besser zu verstehen, Unsicherheiten zu reduzieren und präzisere Prognosen zu erstellen. Bereits jetzt treten zahlreiche Satelliten an ihrem Lebensende wieder in die Erdatmosphäre ein, und durch die zunehmende Fülle im erdnahen Orbit wird dies in den kommenden Jahren sicherlich noch häufiger der Fall sein.

*Radaraufnahmen von Aeolus, aufgenommen mit dem Weltraumbeobachtungsradar TIRA. Während des assistierten Wiedereintritts des ESA-Satelliten unterstützte das Fraunhofer FHR die ESA und das Deutsche Weltraumlagezentrum mit den bildgebenden Fähigkeiten von TIRA. Die Bilder zeigen Aeolus während seiner letzten Umlaufbahnen der Erde. Die von der Bildmitte ausgehenden vertikalen Reflexionen werden durch Mehrfachreflexionen in der Teleskopkavität des ALADIN-Instruments verursacht.*

## Kontakt

Dr. Vassilis Karamanavis  
+49 228 9435-79027  
vasileios.karamanavis@  
fhr.fraunhofer.de

## Himmelsausschnitte systematisch beobachtet

**GESTRAs Blick reicht weit: Das Weltraumradar verfolgt Objekte, die sich durch den erdnahen Orbit bewegen – seien es Satelliten oder Weltraumschrott. Durch einen zweiten Empfänger soll die Auflösung künftig noch weiter steigen.**

Weltraumschrott kann zum gefährlichen Geschoss werden und Satelliten im All beschädigen oder gar zerstören. Das teilmobile Weltraumüberwachungsradar GESTRA – kurz für »German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar« – soll Abhilfe schaffen, indem es Objekte im All beobachtet und katalogisiert. Droht eine Kollision, kann der Satellit ein Ausweichmanöver fliegen. Entwickelt wurde GESTRA vom Fraunhofer FHR im Auftrag der deutschen Raumfahrtagentur im DLR für das ressortgemeine Weltraumlagezentrum von DLR und Bundeswehr.

### Funktionsdemonstration nah am operativen Einsatz

Im Dezember 2023 konnte das Radarsystem seine Fähigkeiten unter Beweis stellen: Bei einer Funktionsdemonstration spielten die Mitarbeitenden des Weltraumlagezentrums alle Suchmoden und Trackingmoden, sprich alle Radarfähigkeiten, einmal durch und arbeiteten damit bereits sehr nah am geplanten operativen Einsatz. Während GESTRA bis dato nur kegelförmig in eine Richtung des Alls schaute und passierende Teile dreimal detektierte, beobachtete es nun systematisch Himmelsausschnitte von 40, 60 oder sogar 90 Grad. Um einen so großen Himmelsbereich abzudecken, musste das Radar immer wieder die Blickrichtung wechseln. Mit Erfolg: GESTRA detektierte kontinuierlich erfolgreich alle Teile, die diesen Korridor durchflogen.

Einzelne Objekte konnte es über einen Zeitraum von mehreren Minuten verfolgen, indem es 50 bis 60 Detektionen nacheinander durchführte.

### Höhere Auflösung mit GESTRA EUSST

Im Projekt GESTRA-EUSST soll die Auflösung des Radars um ein gutes Stück steigen: Dazu vernetzen die Forschenden GESTRA mit einer weiteren Empfangseinheit. Der in Österreich gefertigte und dort bereits mit Klima-, Strom- und Brandmeldetechnik teilintegrierte 18 x 4,1 x 4 m große Container, der diesen zusätzlichen Empfänger beherbergen soll, wurde im September 2023 an das FHR ausgeliefert. Auf der Liegenschaft in Wachtberg wird seitdem der Integrationsprozess fortgeführt und das System um die vom Fraunhofer FHR entwickelten Radarkomponenten erweitert. Die relevanten Radarkomponenten durchlaufen aktuell Qualifizierungs- und Abnahmetests. Im Jahr 2025 soll der Aufbau des GESTRA-EUSST Systems abgeschlossen und ein erster gemeinsamer Betrieb mit dem GESTRA-System realisiert werden.

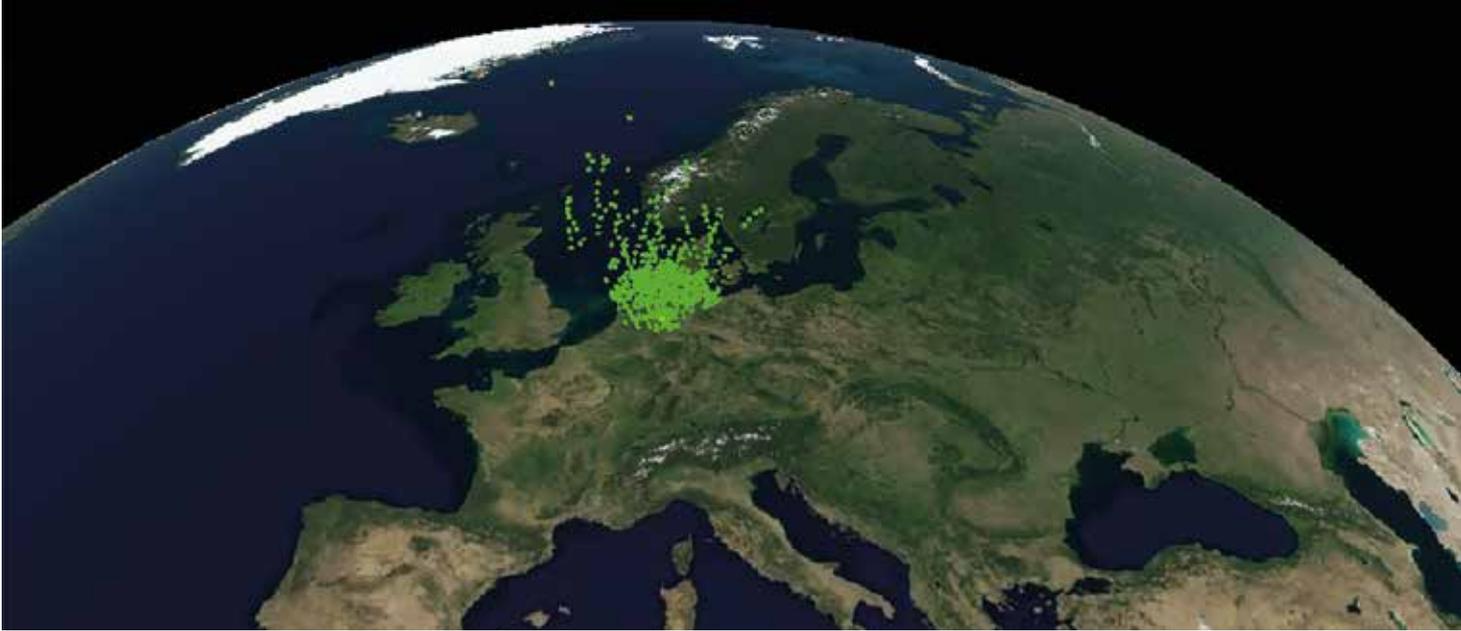
Im Projekt »GESTRA-Vernetzung« steht die Zusammenschaltung von GESTRA-EUSST und GESTRA auf der Agenda. Einen Schwerpunkt des Projekts bilden Softwareentwicklung und Algorithmik. Dabei ist insbesondere die Synchronisierung der kooperierenden Radare eine knifflige Angelegenheit. Um die Radare miteinander in Einklang zu bringen, verfügen beide Systeme über synchron laufende Uhren: Die Abweichung der Uhrzeiten, die sich im Laufe der Monate einschlich, konnte durch umfangreiche Entwicklungen auf lediglich einige Nanosekunden reduziert werden! Die Algorithmen, die die Forschenden entwickeln,



*GESTRA-EUSST Shelter –  
3D Außenansicht*



*GESTRA-EUSST Shelter –  
3D Innenansicht*



eignen sich keineswegs nur für GESTRA-EUSST: Sie sind von vornherein so ausgelegt, dass sich darüber auch GESTRA-TX2 und weitere Sende- und Empfangseinheiten integrieren lassen.

### Für 2024 ist eine Kalibrationskampagne geplant

Aus den Daten, die verschiedene Radare erzeugen, erstellt die Europäische Union mit

der EUSST Datenbank, kurz für »EU Space Surveillance and Tracking«, einen Bahnkatalog von Objekten im nahen Weltraum. Doch dürfen nicht alle Radare ihre Daten einfach einspeisen – zuvor muss nachgewiesen werden, dass sie gewisse Qualitätsanforderungen erfüllen. Was GESTRA angeht, soll eine Kalibrationskampagne zu Beginn des Jahres 2024 die dafür erforderlichen Daten erstellen. Diese Hürde sollte GESTRA mit Leichtigkeit nehmen: Alle bisher durchgeführten Messungen erreichten sehr gute Werte.

*oben*

*GESTRA: Radar zur Weltraumüberwachung detektiert mehr als 200 Objekte pro Stunde im Suchmodus*



*links*

*GESTRA-EUSST Shelter – Anlieferung September 2023*

*rechts*

*GESTRA-EUSST Shelter - derzeitiger Standort Wachtberg*

### Kontakt

Christoph Reising  
+49 228 60882-2256  
christoph.reising@  
fhr.fraunhofer.de

# Industrielle Hochfrequenzsysteme (IHS)

**Mit innovativer Radarforschung bietet der Geschäftsbereich »Industrielle Hochfrequenzsysteme« Lösungen für moderne Mobilitätslösungen und Inline-Messtechnik.**

Das Einsatzspektrum der industriellen Hochfrequenzsysteme ist breit und vielfältig: Sie werden in der Produktion ebenso eingesetzt wie in Mobilitätslösungen, in der Medizintechnik und dem Umweltmonitoring. Das Fraunhofer FHR bündelt seine Kompetenzen im Geschäftsbereich »Industrielle Hochfrequenzsysteme IHS« und wird damit zum Keyplayer für die deutsche Industrie, wenn es um die maßgeschneiderte Entwicklung von Hochfrequenzsystemen geht.

## **Hochintegrierte Schaltungen für kleine und mittelständische Unternehmen**

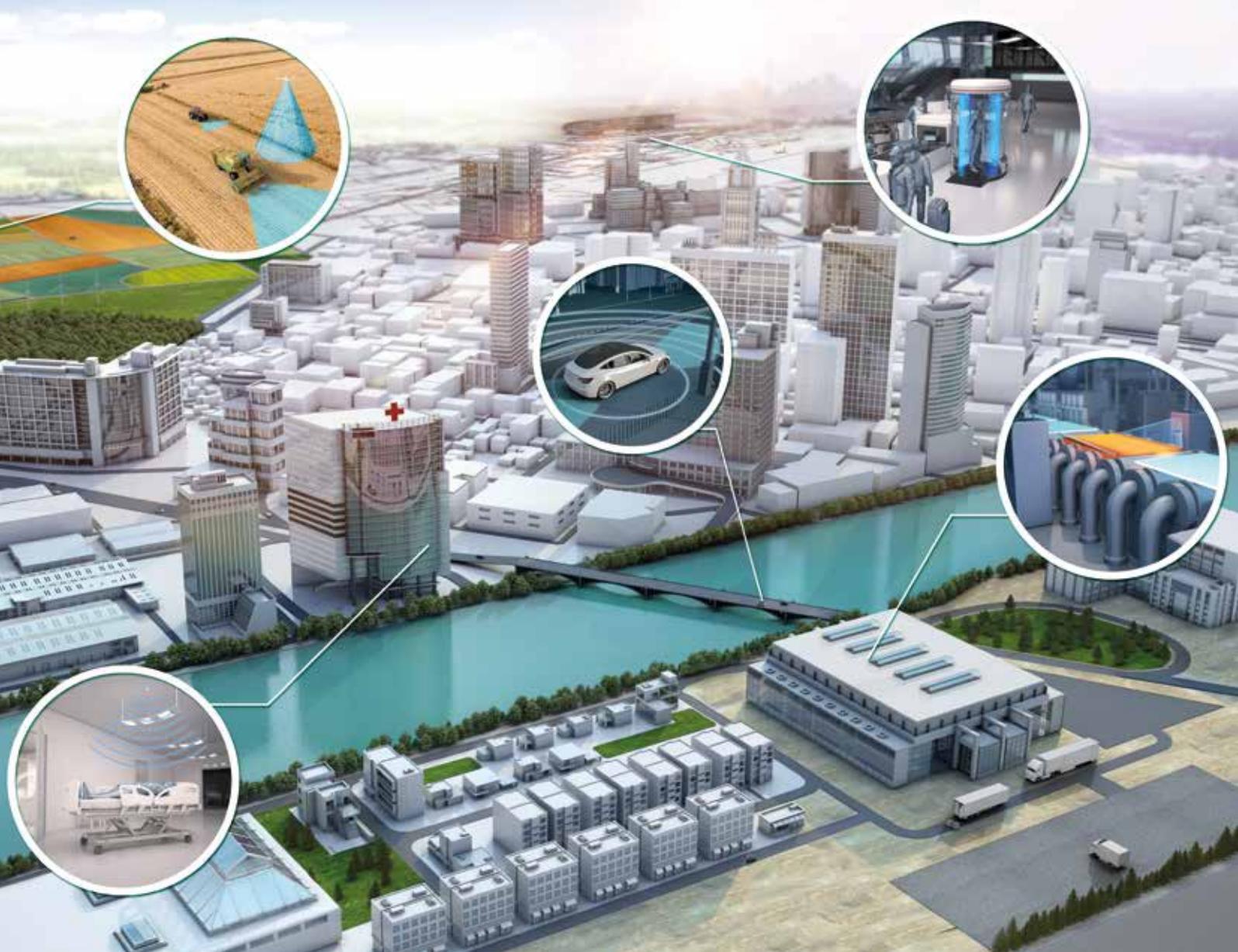
Der Geschäftsbereich bietet marktnahe, industrietaugliche Radarlösungen, die technologisch an die Kundenbedürfnisse und den Markt angepasst sind: Leichte, kleine, hochintegrierte und zudem robuste Systeme kleiner bis mittlerer Reichweiten, die sich in großer Stückzahl kostengünstig fertigen lassen. Eine der wesentlichen Aufgaben liegt in der Unterstützung kleiner und mittelständischer Firmen. Schließlich ist die Entwicklung integrierter Schaltungen ein sehr spezialisiertes Feld, das entsprechende Know-how steht den meisten Firmen nicht zur Verfügung. Der Geschäftsbereich IHS versteht sich daher als Türöffner für die deutsche Industrie, verstärkt den Weg in Richtung hochintegrierte Schaltungen einzuschlagen – da diese eine Schlüsselkomponente für den Massenmarkt darstellen. Die Unterstützung liegt sowohl im Kompetenzaufbau bei den Firmen sowie in der Entwicklung von Produkten im Bereich der Radartechnik.

Sie kann sowohl punktuell sein, etwa bei der Algorithmik oder der Frontend-Entwicklung, oder auch geschlossene Lösungen aus einer Hand entlang der kompletten Fertigungskette beinhalten.

Im Kern bedient das Geschäftsfeld den Hochfrequenzbereich, beginnend bei einem Gigahertz aufwärts, Schwerpunkte der Entwicklung liegen im Frequenzbereich zwischen 1 und 400 Gigahertz. Zudem ist das Portfolio um additive Verfahren erweitert worden: Über diese können Strukturen aufgebaut werden, die sich ansonsten nur schwer oder gar nicht fertigen lassen. Ein klassisches Beispiel sind Antireflexionsbeschichtungen für Linsen im Radarbereich, die sich über 3D-Druck ohne Mehraufwand und damit kostengünstig herstellen lassen.

## **Radar für industrielle Sensorik**

Was Radarsensoren in Produktionsprozessen leisten können, zeigen Installationen in der Stahlproduktion. Von zwei Seiten aus messen Radarsensoren die Breite einer Bramme auf den Millimeter genau, während diese vor und zurückläuft und immer dünner gewalzt wird. Und das trotz äußerst rauer Umgebungsbedingungen: Die Bramme ist 1200 Grad heiß, der Zunder wird mit einem Wasser-Öl-Gemisch abgeblasen. Der Geschäftsbereich IHS begleitete den Kunden von der Fragestellung bis hin zur Testinstallation.



## Radar für Mobilitätslösungen

Aspekte wie das Autonome Fahren sind stark mit Radaranwendungen verknüpft. Wie lassen sich möglichst effiziente KI-gestützte Algorithmen für Fahrerassistenzsysteme erzeugen, die die erhobenen Radardaten auswerten? Dazu gehört auch das Thema luftgetragene Sensorik: Wie lässt sich Infrastruktur via Radar überwachen und absichern? Wie lassen sich im Katastrophenfall Verletzte finden? Diese und ähnliche Fragestellungen bilden einen zweiten Schwerpunkt des Geschäftsbereichs IHS.

## Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

In der »Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland« – einem Forschungsverbund im Bereich der Mikro- und Nanoelektronik – kooperieren elf Fraunhofer-Institute und zwei Leibniz-Institute. Der Verbund dient

potenziellen Interessenten und Kunden als erste Anlaufstelle, wenn es um Fragestellungen im Bereich der Mikro- und Nanoelektronikforschung und Entwicklung geht. Das Fraunhofer FHR bringt seine Kompetenzen vor allem im Bereich der Antennentechnologie, des Packaging, der Entwicklung integrierter Schaltungen, hauptsächlich in SiGe-Technologie sowie der analogen Digitalschaltungen ein. Dabei bildet der Geschäftsbereich die komplette Wertschöpfungskette ab, von der Messtechnik und Charakterisierung bis hin zur Fertigung. So erlaubt beispielsweise eine hausinterne Fertigungsanlage die Fertigung kleinerer Serien von Platinen mit mehreren Sendekanälen, die sich auf bis zu hundert Sendekanäle hochskalieren lassen.

*Von Landwirtschaft über Mobilität, Sicherheit, Medizin und industrielle Produktion: Radar- und Hochfrequenzsensoren bieten in vielen Bereichen wertvolle Unterstützung.*

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Dirk Nüßler  
+49 228 60882-2501  
dirk.nuessler@  
fhr.fraunhofer.de

# Drohnen: Verletzte bei Großschadensereignissen finden

**Herzschlag und Atemfrequenz einer Person via Radar zu messen, ist nichts Neues. Nun ist es Forschenden jedoch gelungen, die Vitalparameter per Radar von einer bewegten Drohne aus zu erfassen. Interessant ist das vor allem bei Großschadensereignissen wie Erdbeben oder Bränden.**

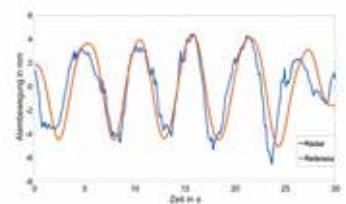
Stürzt ein Gebäude bei einem Erdbeben in sich zusammen, ist es für Rettungskräfte vielfach zu gefährlich, den Bau zu betreten, um darin nach Verletzten zu suchen. Systeme, die die Einsatzkräfte bei der Erkundung von Schadensstellen unterstützen, sind daher dringend gefragt. Geeignet sind vor allem drohnengetragene Systeme: Bestückt mit Radarsensoren, könnten Drohnen in die Gebäude hineinfliegen und dort Verletzte aufspüren. Entsprechende drohnenbasierte Sensorik wurde von einem deutsch-österreichischen Konsortium im BMBF-Projekt »UAV-Rescue« entwickelt – unter der Leitung des Fraunhofer FHR. Mit dabei waren unter anderem das Technische Hilfswerk THW, die Leibniz-Universität Hannover LUH, das Fraunhofer EMI sowie die Ruhruniversität Bochum.

## Vitalparameter via Radar auf bewegter Drohne messen

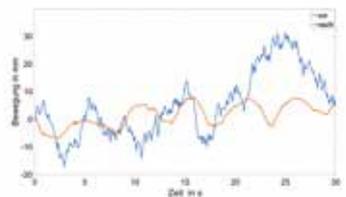
Während die österreichischen Forschenden das Katastrophengebiet von oben mit einem LIDAR-System analysierten und kartografierten, arbeitete das deutsche Team an einer kleineren Drohne, die beladen mit Radar und Lidar in das zerstörte Gebäude hineinfliegt. Sie kartografiert den Bau von innen und sucht nach verletzten Personen. Die Forschenden des Fraunhofer FHR konzentrierten sich dabei auf die Detektion der Vitalparameter.

Herzschlag und Atemfrequenz via Radar zu analysieren, ist Stand der Technik – bislang allerdings stets von feststehenden Radarsystemen aus. Dabei analysiert man die Frequenz, mit der sich die Brust einer Person beim Ein- und Ausatmen bzw. durch den Herzschlag hebt und senkt. Die Forschenden konnten nun (erstmalig) Vitalparameter von einem bewegten Radarsystem aufzeichnen. Keine einfache Aufgabe: Die Drohne bewegt sich innerhalb von ein bis zwei Sekunden rund 20 Zentimeter, die Atembewegung dagegen liegt im Bereich eines Zentimeters – selbst wenn die Drohne auf einer Stelle schwebt, ist ihre Bewegung größer als die zu detektierende.

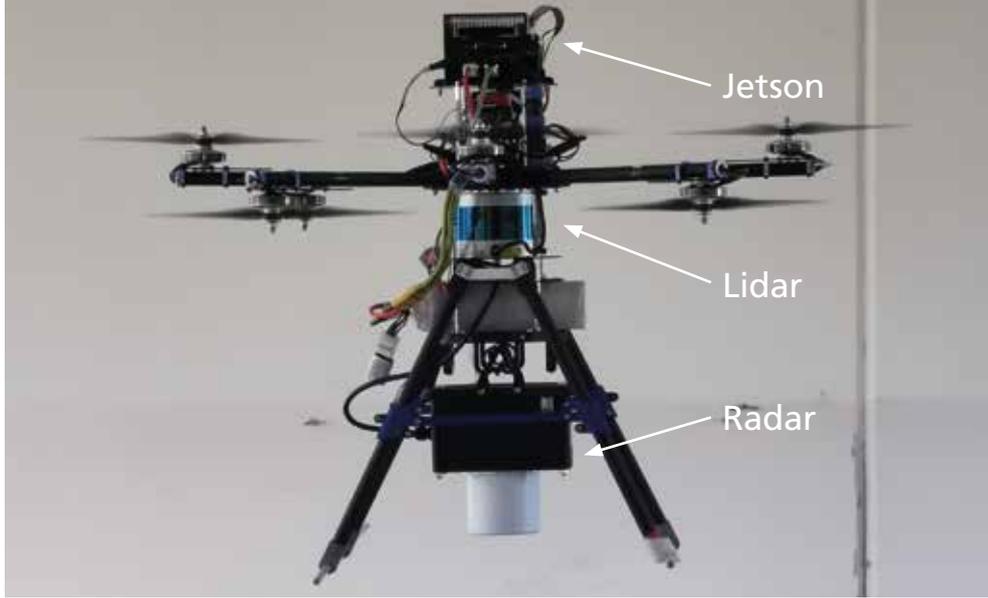
Wie also lassen sich die Vitalparameter dennoch auflösen? Die Kernidee: Im Gebäude sieht das rotierende Radar größtenteils Objekte, die sich nicht bewegen, etwa Wände. Dennoch erscheint es dem Radar durch die Eigenbewegung der Drohne, als bewegen sich die Wände auf das Radar zu oder von ihm weg. Die Forschenden nutzen daher feststehende Objekte, um die Bewegung der Drohne zu analysieren, und rechnen diese Bewegung aus den Gesamt-Radardaten heraus. Die übrigen Ziele werden ausgewertet: Sind darin Vitalparameter enthalten? Ist die Frequenz eines Herzschlags oder des Atems einer Person darin erkennbar? Um solche Analysen in Echtzeit durchführen zu können, trägt die Drohne nicht nur Radarsensoren – gestellt vom Projektpartner Indurad – und Lidarsysteme, sondern auch einen kleinen Jetson-Computer, der die erfassten Signale verarbeitet. Die Position der Drohne, eine Umgebungskarte, die Lokalisation der Person sowie Bewegungsinformationen, aus denen die Vitalparameter abgeleitet werden können, funkt die Drohne nach draußen an die Rettungskräfte.



Die Atembewegung, die aus Daten eines drohnengetragenen Radarsensors ermittelt wurden (blau), verglichen mit Atembewegung, die von einem Vitalparameter-Referenzsystem erhoben wurden.



Aus den reinen Radardaten lässt sich kaum eine Atembewegung erkennen (blau). Erst wenn die Bewegung der Drohne kompensiert wird, ist die Atemfrequenz sichtbar (rot).



*Eine solche Drohne mit integriertem Radar- & Lidarsensor sowie Embedded PC könnte die Rettungskräfte künftig bei Großschadensereignissen unterstützen.*

### **Erste Funktionstests erfolgreich bestanden**

Ein fliegender Demonstrator ist entwickelt, dieser konnte bereits wiederholt Vitalparameter messen – von der bewegten Drohne aus: im Jahr 2022 bei einer Messkampagne in Österreich, Ende Juni 2023 in Mosbach sowie bei der Abschlusspräsentation des Projekts in Österreich im Juli 2023. Er erstellte eine Karte des Gebäudes, spürte eine Person darin auf, detektierte deren Vitalparameter und zeigte die Position der Person auf der Karte an. Künftige Forschungsarbeit bleibt dennoch genügend: Etwa drei bis fünf Jahre dürften noch nötig sein, um das System in Richtung Produktreife zu bringen. Insbesondere die Robustheit des Systems könnte in künftigen Projekten auf der Agenda stehen.

#### **Kontakt**

Patrick Wallrath M. Sc.  
+49 228 60882-2521  
patrick.wallrath@  
fhr.fraunhofer.de

# Waste4future: Recycling von Kunststoffen

**6,3 Millionen Tonnen kunststoffhaltiger Abfälle fallen in Deutschland an – pro Jahr wohlgemerkt. Das Projekt »Waste4Future« hilft dabei, die kohlenstoffhaltigen Bestandteile im Abfall besser zu erkennen und daraus wieder hochwertige Ausgangsmaterialien herzustellen.**

Polyethylen, Polypropylen oder Polystyrol: Kunststoffe gehören zu den weltweit wichtigsten Werkstoffen. Allein in Deutschland werden jährlich etwa zwölf Millionen Tonnen Kunststoffe verbraucht. Zwar ist der im Kunststoff enthaltene Kohlenstoff eine wichtige Ressource für die chemische Industrie, dennoch wird nur etwa ein Viertel der Kohlenstoffe und Kohlenstoffverbindungen im Kreislauf gehalten. Problematisch ist das nicht nur hinsichtlich des Bedarfs an fossilen Ressourcen und dem Ausstoß an CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern auch in punkto Umweltverschmutzung mit Plastikmüll.

Sieben Fraunhofer-Institute wollen dies ändern und den Kohlenstoff deutlich länger im Kreislauf halten – und somit auch gleich die Versorgungssicherheit der Industrie verbessern. Dazu bündeln sie im Leitprojekt »Waste4Future« ihre Kompetenzen. Beteiligt ist auch das Fraunhofer FHR, hier liegt die Leitung für das Arbeitspaket »Sensorik«. Das Ziel liegt darin, Kunststoffabfälle, genauer gesagt Schredder-Leichtfraktionen, mit einer Genauigkeit von über 98,5 Prozent sortenrein zu trennen.

## Sensor-Suite hilft bei der Sortierung von Kunststoffabfällen

Während die Kunststoffschnipsel üblicherweise nur mit einem Infrarotsensor untersucht

werden, kommt in Waste4Future eine Sensor-Suite zum Einsatz, die das Fraunhofer FHR gemeinsam mit dem Fraunhofer IOSB und dem Fraunhofer IZFP entwickelt. Der Vorteil: Indem Infrarot-, Thermografie-, Ultraschall- und Terahertz-Sensoren miteinander kombiniert werden, lässt sich die Sortiergüte maximieren. Handelt es sich bei einem Kunststoffschnipsel dem Infrarotsensor zufolge zu 90 Prozent um Polypropylen und laut Terahertz-Sensor um 92 Prozent, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass es sich tatsächlich um diesen Kunststoff handelt. Zudem lassen sich mit der Sensor-Suite auch schwarze Kunststoffe sortenrein voneinander trennen.

## Terahertz-Sensorik im D-Band

Die Forschenden des Fraunhofer FHR widmen sich der Entwicklung der Terahertz-Sensorik: Einer Zeilenkamera mit 32 Kanälen, die im D-Band von 110 bis 170 Gigahertz arbeitet. Diese kann erweiterbar über einem Fließband angebracht werden, es lassen sich also mehrere solcher 32-kanaligen Einheiten miteinander verbinden. Der Sensor misst die Transmission durch die Probe sowie die Laufzeit: Über diese Daten lässt sich auf das jeweilige Material schließen. Die Haupt-Entwicklungsherausforderungen lagen in der Echtzeit-Signalverarbeitung und in der Langzeitstabilität des kohärenten Systems.

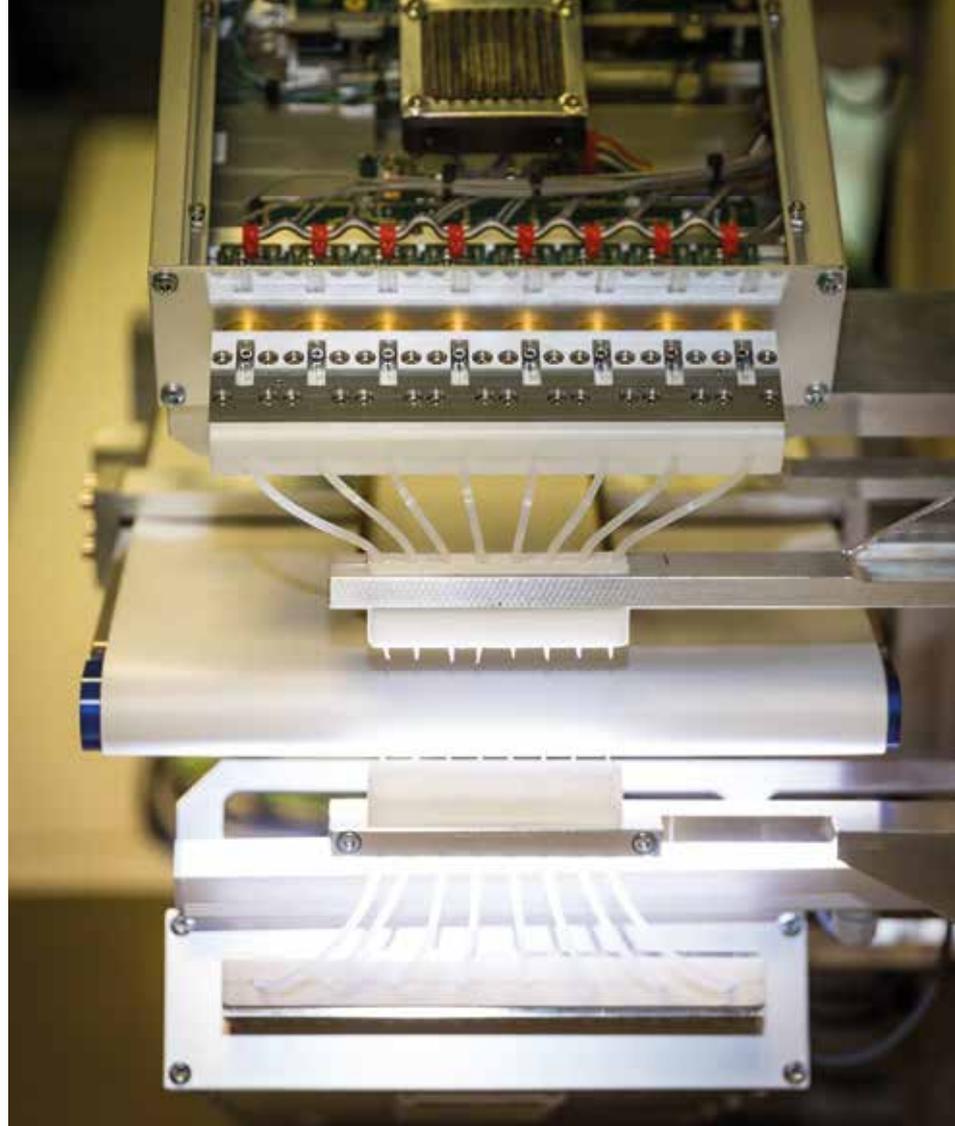
In den meisten Fällen handelt es sich bei den Kunststoffschnipseln jedoch nicht um reines Material, vielmehr sind den Kunststoffen verschiedene Additive und Farbstoffe beigemischt. Dies wirkt sich wiederum auf die Laufzeit des Signals durch das Material aus. Hier greifen intelligente

Maschine-Learning-Algorithmen aus dem Fraunhofer IZFP, um die Kunststoffe dennoch sortenrein zu unterscheiden.

Dual-Band-Chip vergrößert die Bandbreite  
Zudem entwickeln die Forschenden des Fraunhofer FHR einen Dual-Band-Chip, der kohärent und simultan zwei Frequenzbänder ausstrahlt. Der Chip misst sowohl bei 120 als auch bei 240 Gigahertz – jeweils mit einer gewissen Bandbreite. Künftig können die Proben dann nicht nur im D-Band, sondern gleichzeitig auch im höheren Frequenzband analysiert werden. Auf diese Weise steigt die Bandbreite, es können deutlich mehr Materialeigenschaften erfasst werden. So ist beispielsweise denkbar, dass verschiedene Materialien, die im D-Band sehr ähnlich erscheinen, bei 240 Gigahertz deutliche Unterschiede aufweisen. Das erste Testsystem des Chips ist bereits aufgebaut. Nun sollen erste Proben analysiert und die Daten mit den Messungen des Einzelband-Sensors verglichen werden.

### Künftig auch Messung der Alterung möglich

Der Terahertz-Sensor ist bereits weiter gediehen, seine Entwicklung ist abgeschlossen. Ab April 2024 sollen alle Sensoren zur Sensor-Suite zusammengeschaltet sein, dann stehen erste Tests des Gesamtsystems auf dem Programm. Was sich jetzt bereits sagen lässt: Werden zwei verschiedene Kunststofffraktionen aus der Schredder-Leichtfraktion herausgeschleust, scheint die geforderte Sortiergüte von 98,5 Prozent erreicht zu werden. Künftig könnte die Sensor-Suite auch die Alterung der Kunststoffe analysieren – eine entscheidende Information für das chemische Recycling.



*Experimentalsystem mit  
8-Kanal-THz-Zeile  
aus dem Projekt BlackValue™.*

### Kontakt

Dipl.-Ing. Christian Krebs MBA  
+49 228 60882-2505  
christian.krebs@  
fhr.fraunhofer.de



# 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 2023

[www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2023](http://www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2023)



## Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften

[www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2023-journals](http://www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2023-journals)



## Publikationen bei wissenschaftlichen Konferenzen

[www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2023-konferenzen](http://www.fhr.fraunhofer.de/publikationen2023-konferenzen)



## Fraunhofer-Publikationsdatenbank

<https://publica.fraunhofer.de>



# Ausbildung und Lehre

---

# Vorlesungen

## WS 2022/2023

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

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

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

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

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

**Heberling, Dirk:** »Seminar zum Praxissemester«, 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

**Marek, Alexander:** »Hochleistungsmikrowellentechnik«, Karlsruher Institut für Technologie

**Marek, Alexander:** »Fundamentals and Systems of Radar Technology«, Technische Universität Ilmenau

**Pohl, Nils:** »Elektronik 1 - Bauelemente«, 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 2023

**Dallmann, Thomas:** »Applications and Signal Processing Methods of Radar Technology«, Technische Universität Ilmenau

**Gütgemann, Sabine:**  
»Höhere Mathematik II«, Hochschule Koblenz

**Heberling, Dirk:** »Elektromagnetische Felder (in 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

**Heberling, Dirk:** »Seminar zum Praxissemester«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

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

**Knott, Peter:** »Radar System Design and Applications«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

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

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

## Betreute Promotionen

---

**Behner, Florian:** »Die Nutzung stationärer Empfänger zur Charakterisierung von Radarinstrumenten und zur bistatischen SAR-Bildgebung«, Universität Siegen

**Cetinkaya, Harun:** »Microwave and Millimeter-Wave Radar Imaging Applications with MIMO Arrays«, Ruhr-Universität Bochum

**Freialdenhoven, Tim:** »Polarimetrische Radarfrontends mit reduziertem Schaltungsaufwand«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

**Kielmann, Felix:** »Garzustandsvorhersage mittels Sensordatenfusion von Klima- und Hochfrequenzsensoren in einem Gargerät«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

**Piotrowsky, Lukas:** »Accurate Distance Measurement with Ultra-Wideband mmWave Radar: A Proof of Concept«, Ruhr-Universität Bochum

**Reuter, Simon:** »Entwicklung und Untersuchung eines Radars mit stochastischer Wellenform«, Universität Siegen

**Schlosser, Sebastian:** »Phasenbasierte Oberflächencharakterisierung in der Radarbildgebung«, Ruhr-Universität Bochum

## Abschlussarbeiten (Master)

---

**Bhatt, Arun:** »Evaluation of Near-field to Far-field Transformation Algorithm Considering Different Near-Field Measurement Uncertainties«, Technische Universität Ilmenau

**Deppe, Jennifer:** »Entwicklung eines analogen Frontends zum Verstärken, Filtern und Verteilen von Signalen bis 3 GHz«, Fachhochschule Aachen

**Grigo, Marcel Jan:** »Optimierung der Erkennungsfähigkeiten für ein TDM FMCW MIMO Radar«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

**Harms, Sören:** »Evaluation of an Analog Beamformer Integrated Circuit for Ka-band Phased Array Imaging Radar«, Karlsruher Institut für Technologie

**Maier, Florian:** »Der MPRF-Darad-Mode: Analyse und experimentelle Untersuchung«, Fachhochschule Trier

**Schumacher, Barbara:** »Entwicklung eines Radarsystems für die industrielle Qualitätskontrolle«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

**Schütz, Thomas:** »Entwicklung eines hochintegrierten Radarmoduls im 150 GHz Bereich«, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

**Vats, Aakash:** »Waveform-based synchronization methods for automotive radar networks«, Technische Universität Ilmenau

**Yellu, Sai Eshwar Reddy:** »Masterarbeit, Implementation, Characterisation and Optimisation of Constant-False-Alarm-Rate Algorithms on Field-Programmable-Gate-Arrays«, Hochschule Bremerhaven

# Gremientätigkeiten

---

**Berens, P.**

- IEEE Signal Processing Society, Synthetic Aperture Standards Committee P3397: Mitglied

**Bertuch, T.**

- IEEE Antennas and Propagation Standards WG P145: Mitglied
- European Defence Agency (EDA), CapTech Technologies for Components and Modules (TCM), Technology Building Block (TBB) 06 »Enabling Components for Advanced Antennas« Roadmap report editor team: Leiter

**Brüggenwirth, S.**

- EDA Radar Captech: German Governmental Expert
- European Microwave Week (EuMW) 2023: Technical Review Committee
- IEEE Radar Conference 2023, TPC member
- NATO Science and Technology Organization SET Panel Member at Large for Machine Learning and Artificial Intelligence
- VDE ITG Vorstandsmitglied

**Caris, M.**

- International Radar Symposium (IRS) 2023: Technical Program Committee

**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
- IEEE IGARSS 2023: Scientific Committee

**Cristallini, D.**

- NATO STO Lecture Series SET-299 »Passive Radar Technology«: Director
- IEEE RadarConf 2023: Track Chair
- IEEE RadarConf 2023: Vortragende des Tutorials »Passive Radar on mobile platforms – from target detection to SAR/ISAR imaging«
- IEEE RadarConf 2023: Vortragende des Tutorials »New Illuminators of Opportunity for Passive Radars – challenges and opportunities«
- International Radar Conference 2023: Technical Review Committee & Award Committee Member

- International Radar Conference 2023: Vortragende bei der Radar Boot Camp zum Thema »Passive Radar«
- EuRad 2023: Technical Program Member
- SPSympo 2023: Vortragende des Tutorials »Novel Potentials enabled by satellite-based passive radars«
- SPSympo 2023: Technical Program Committee
- Cell Heliyon Journal: Associate Editor for the Engineering Section
- IET Radar Sonar Navigation: Guest Editor for the Special Issue »Multistatics and Passive Radar«
- Editor of the SciTech/IET Book »Passive Radars on Moving Platforms«

**Danklmayer, A.**

- Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON), Vorsitzender des Fachausschusses für Radartechnik, Mitglied im wissenschaftlichen Beirat
- VDE-ITG Fachausschuss HF 4 »Ortung«: Vorsitzender
- International Radar Symposium (IRS) 2023: Technical Program Committee Member
- IGARSS 2023: Scientific Committee Member
- U.R.S.I. International Union of Radio Science, Commission-F Wave Propagation and Remote Sensing: Member
- NA 131 FK »Förderkreis des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL)«: Mitglied
- DIN Arbeitsausschuss NA 131-01-05 AA für Drohnen-Detektion: Mitarbeiter

**Fröhlich, A.**

- European Defence Agency (EDA), CapTech »Ad Hoc Working Group Space Defence«: Non-governmental Expert

**Heberling, D.**

- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2023, Florenz/Madrid: Mitorganisator, TPC chair
- Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) 2022, Siegen: Vorsitzender Wissenschaftlicher Beirat
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member

**Klare, J.**

- International Radar Symposium (IRS) 2023: Technical Program Committee
- European Microwave Week (EuMW) 2023: Technical Review Committee
- IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES) 2023: Technical Program Committee

- IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT) 2023: Technical Review Committee
- 10th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI) 2023: Technical Program Committee

#### **Knott, P.**

- NATO Science and Technology Organization SET Panel Member at Large for AESA Radar
- Deutsche Gesellschaft für Wehrtechnik e.V.: Mitglied im Beirat Brüssel
- International Radar Symposium (IRS) 2023: Chair

#### **Markiton, P.**

- IEEE AESS YP Representative 2020-2023
- IEEE AESS QEB Editor-in-Chief 2022-2023
- NATO STO SET-ET-128 »Open Data RFT/OT Initiative«: Chair
- EuRad 2023: Organisator und Vortragender des Workshops »Applications for advanced passive radar systems«
- IEEE International Radar Conference 2023: Track Chair »Radar Networks«

#### **Marquardt, P.**

- IEEE AESS Germany Chapter: Treasurer

#### **Matthes, D.**

- NATO STO Group SCI-332 »RF-based Electronic Attack to Modern Radar«: Chair
- NATO STO Specialists Meeting SET-298 »Electronic Attack and Protection for Modern Active/Passive Netted Radars«: Co-Chair
- IET Radar, Sonar & Navigation Special Issue on »Electronic Attack and Protection for Modern Radar Systems and Radar Networks«: Guest Editor

#### **Nüßler, D.**

- VDI/VDE-GMA FA 8.17 Terahertz-Systeme: Mitglied
- European Machine Vision Association (EMVA): Mitglied

#### **O'Hagan, D.**

- NATO STO Group SET-296 »Radar against Hypersonic Threats« : Chair
- NATO STO Group SET-268 »Bi-/Multi-static radar performance evaluation under synchronized conditions« : Chairman
- IEEE AES Magazine: Editor-in-Chief
- IEEE AES Magazine: Associate Editor for Radar
- IEEE Radar Conference: Technical Program Member

- European Defence Agency: CapTech Member
- International Radar Symposium (IRS): Technical Program Member

#### **Pohl, N.**

- VDI ITG Fachbereich Hochfrequenztechnik: Sprecher
- VDI ITG Fachausschuss HF3 Mikrowellentechnik: Mitglied
- IEEE MTT Technical Committee TC-24 Microwave/mm-wave Radar, Sensing, and Array Systems: Chair
- International Microwave Symposium (IMS 2024): Technical Program and Review Committee
- IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS 2024): Technical Program Committee

#### **Walterscheid, I.**

- IEEE IGARSS 2023: Scientific Committee
- IEEE International Radar Conference 2023: Panel of reviewers
- EUSAR 2024: Technical Program Committee
- IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers): Senior Member
- VDE-ITG: Member

#### **Weinmann, F.**

- VDE-ITG Fachausschuss HF 1 »Antennen«: Mitglied
- European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2023: Technical Review Committee
- IEEE Antennas and Propagation Standards WG P2816: Mitglied
- EurAAP Working Group »Active Array Antennas« (WGA3): Mitglied
- EDA-Workshop »Radar Signatures & EM Benchmarks« 2023: Organisator

#### **Weiß, M.**

- IGARSS 2023, Pasadena, California, USA: Technical Program Member
- European Radar Conference (EuRAD) 2023: Technical Program Member
- International Radar Symposium (IRS) 2023: Technical Program Member
- Signal Processing Symposium (SPSympo) 2023, Karpacz, Poland: Technical Program Member
- ICARES 2022, Bali, Indonesia, 26-27 Oktober 2023: Technical Program Member
- International Symposium on Computational Sensing (ISCS) 2023, Luxembourg, Technical Program Member

# Standorte

---





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

### Hauptsitz und Postanschrift

Fraunhofer FHR  
Fraunhoferstr. 20  
53343 Wachtberg  
+49 228 9435-0  
info@fhr.fraunhofer.de  
www.fhr.fraunhofer.de

### Standort Aachen

Melatener Str. 25  
52074 Aachen  
+49 241 80-27932

### Standort Bochum

Universitätsstraße 150  
44801 Bochum  
+49 234 32-26495

### Institutsteil Wachtberg-Villip

Am Campus 2  
53343 Wachtberg-Villip  
+49 228 60882-1007

*links:*

*Neues Institutsgebäude in  
Wachtberg-Villip*

*rechts:*

*Unsere Standorte in  
Nordrhein-Westfalen*



# Impressum

---

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik  
und Radartechnik FHR  
Fraunhoferstr. 20  
53343 Wachtberg  
+49 228 9435-0  
info@fhr.fraunhofer.de  
www.fhr.fraunhofer.de

## Chefredaktion

Dipl.-Volksw. Jens Fiege

## Redaktion

Dr. Janine van Ackeren  
Jennifer Hees M. A.

## Layout und Satz

Jacqueline Reinders B. A.

Alle Rechte vorbehalten.

Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der Redaktion.

Wachtberg, Juni 2024

## Bilder

Titel: Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 4 Fraunhofer FHR / Hardy Welsch

S. 8-9 Fraunhofer FHR / Andreas Schoeps

S. 11-15 Fraunhofer FHR / Hardy Welsch

S. 16-17 Bild 1, Bild 4, Bild 6, Bild 8, Bild 9, Bild 11: Fraunhofer FHR / Jens Fiege, Bild 2, Bild 13: Michelle Brandenburg, Bild 3: Fraunhofer FHR / Thoetphan Kingsuwannaphong, Bild 5: Lyle-Photos.com, Atlanta, Bild 7: RUB / Marquard, Bild 10: Fraunhofer FHR / Hanne Bendel

S. 18-21 Fraunhofer FHR / Hans Jürgen Vollrath

S. 22-23 Tim Freialdenhoven

S. 24 Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 30 Fraunhofer FHR / Jens Fiege

S. 32 Fraunhofer FHR / Andreas Schoeps

S. 34-35 Fraunhofer FHR

S. 36 Fraunhofer FHR

S. 37 Bild: Fraunhofer FHR / Brian Burnell (links, Schiff) Department of Defense (rechts, Rakete)

S. 39 Fraunhofer FHR / Andreas Schoeps

S. 40 Fraunhofer FHR

S. 41 Julian Kunze / LUH

S. 45 Fraunhofer FHR / Andres Schoeps

S. 47 Fraunhofer FHR

S. 48-49 Fraunhofer FHR

S. 60 Fraunhofer FHR / Jens Fiege



