



Bundesministerium
der Verteidigung

Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2022

Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte



BUNDESWEHR

Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2022

Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte

22

COMPOSITION OF FOCUS GROUPS

Ambulance Service

Military Paramedic
Military Paramedic
in training

Military EMT
in training

Average age: 27.7 years
(22-34)

Average age: 42.6 years
(31-58)

Emergency Room

Military Physician

Average age: 34.8 years
(31-41)

Ambulance Crew + Police First Responders

Emergency Room

Military Physician (♂ / ♀)
Military Physician (♂ / ♀)
in training

Average age: 37.5 years
(27-47)

Ambulance Crew + Police First Responders

Emergency Physician
Paramedic / HEMS (only ♂)

Police First Responder
(only ♂)

Average age: 34 years

Emergency Room

Total: 9-10

Ministerialdirigent Alexander Schott

Unterabteilungsleiter A III und Forschungsbeauftragter
Bundesministerium der Verteidigung

Wehrwissenschaftliche Forschung für die Streitkräfte

Der völkerrechtswidrige Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine hat die Grundlagen der europäischen Friedensordnung tief erschüttert und insbesondere unsere Verteidigungs- und Bündnisfähigkeit auf den Prüfstand gestellt. Die durch den Bundeskanzler festgestellte „Zeitenwende“ ist für alle Bereiche der Bundeswehr prägend. Die erforderlichen Anstrengungen für eine umfassend einsatzbereite Bundeswehr gehen weit über kurzfristig aus dem „Sondervermögen Bundeswehr“ und insgesamt schneller umzusetzende Beschaffungen von Wehrmaterial hinaus. Unser sicherheitspolitisches Umfeld und unsere Verantwortung für die europäische und transatlantische Sicherheit erfordern umfassende und dauerhafte nationale Beiträge zur Verteidigungsfähigkeit der Bundesrepublik und unserer Verbündeten.

Der wehrwissenschaftlichen Ressortforschung mit ihren Forschungsbereichen

- wehrtechnische Forschung,
 - wehrmedizinische und militärpsychologische Forschung,
 - militärgeschichtliche und sozialwissenschaftliche Forschung,
 - geowissenschaftliche Forschung und
 - Cyber- / informationstechnische Forschung
- kommt hierbei die Rolle der Zukunftssicherung zu.

Welche Bedeutung ein technologischer Vorsprung in einem heutigen Konflikt besitzt, belegt nicht

zuletzt der andauernde erfolgreiche Widerstand der Ukraine gegen die Angriffe der russischen Streitkräfte und paramilitärischen Einheiten.

Um die Herausforderungen der Zeitenwende zur Sicherstellung der Landes- und Bündnisverteidigung und des Friedens meistern zu können, muss verfügbare Hochtechnologie schnell in die Truppe gelangen. Der konzeptionelle und technologische Vorsprung der westlichen Nationen muss aber langfristig erhalten und ausgebaut werden, um eine friedenserhaltende Abschreckungswirkung zu gewährleisten. Das ist das übergeordnete Ziel unserer wehrwissenschaftlichen Forschung.

Die Fähigkeit zur Analyse und Bewertung von Trends und Technologien, die durch eine gewachsene und ständig weiterentwickelte wehrwissenschaftliche Forschung garantiert werden kann, ist eine unverzichtbare Grundlage für vielfältige Entscheidungen – von der bedarfsgerechten Auswahl und Nutzung von leistungsfähigem und sicherem Wehrmaterial über die sorgfältige und qualifizierte medizinische Behandlung von Verwundeten bis hin zu Aspekten der Operationsführung.

Bei aller richtigen Fokussierung auf die unmittelbare Sicherstellung der nachhaltigen Einsatzfähigkeit der Bundeswehr ist eine starke wehrwissenschaftliche Forschung aber auch für die sicherheitspolitische Handlungs- und Strategiefähigkeit Deutschlands



essentiell. Der Ukraine-Krieg hat offengelegt, wie verletzlich Lieferketten sind und welche Probleme die Abhängigkeit von Rüstungsgütern aus anderen Staaten mit sich bringen kann. Sowohl zur Reduzierung dieser Abhängigkeiten als auch zum Erhalt und Ausbau der technologischen Souveränität Deutschlands und Europas trägt die wehrwissenschaftliche Forschung in einem erheblichen Maße bei. Während es schließlich unsere Partner, die deutsche Forschungslandschaft und die Unternehmen der deutschen Wirtschaft sind, die unserer Souveränität durch wissenschaftliche und technologische Stärke sichern, sind deren Erkenntnisse und Produkte in vielen Fällen erst durch die wehrwissenschaftliche Forschung ermöglicht worden.

Die wehrwissenschaftliche Ressortforschung des Bundesministeriums der Verteidigung kann die notwendigen Erkenntnisse aber nicht alleine erzielen. Für eine umfassende Erfüllung ihrer Aufgaben ist die Kooperation mit der nationalen zivilen Forschungsgemeinschaft und unseren internationalen Partnern zwingend erforderlich. Im internationalen Bereich ist die bi- oder multilaterale Zusammenarbeit gleichermaßen wichtig. Multilateral ist die Zusammenarbeit über die Europäische Verteidigungsagentur EDA oder im Rahmen der NATO Science and Technology Organization gegeben, um Forschungsfragestellungen durch Lastenverteilung und Zusammenführung der jeweiligen Expertise angehen zu können. In der bilateralen Zusammenarbeit mit

unseren starken Partnernationen gilt es – bei immer begrenzten Mitteln und wissenschaftlichen Fähigkeiten – im Zusammenbringen, die Kräfte zu generieren, die uns noch effektiver zu unseren hohen Zielen führen.

Hier hat der russische Angriffskrieg ein noch engeres Zusammenrücken bewirkt. Internationale Kooperationen wurden und werden verstärkt, nationale Berührungspunkte zwischen den zivilen Forschenden und der wehrwissenschaftlichen Forschung abgebaut. Die Bedeutung des Letzteren wird auch durch eine entsprechende Handlungsempfehlung im diesjährigen Gutachten zur Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands unterstrichen: Hier empfiehlt die Expertenkommission Forschung und Innovation, die bestehende strikte Trennung von militärischer und ziviler Forschung zu überwinden, um Synergien zu schaffen.

Mit den Beiträgen in diesem ‚Jahresbericht Wehrwissenschaftliche Forschung für die Streitkräfte‘ möchten wir Ihnen einen Einblick in unsere aktuellen und vielfältig ausgerichteten Forschungsthemen geben. Wir adressieren hierin Themen, die absolut am Puls der Zeit liegen. So beschäftigen sich gleich drei Beiträge mit dem hochaktuellen Thema der Detektion (und Abwehr) von Hyperschallflugkörpern. Unter diesen Beiträgen sticht der Kleinsatellit ERNST hervor, mit dem weltraum-

gestützte Verfahren zur Detektion von Raketen und hypersonischen Flugkörpern erforscht werden sollen. Er besitzt bereits einen solch hohen technologischen Reifegrad, dass sein Start zur Technologiedemonstration in Kooperation mit der US Space Force für 2024 geplant ist.

Neben solchen omnipräsenten Themen gibt es aber auch viele Beiträge, die thematisch weniger prominent sind. Nichtsdestotrotz haben gerade die Bilder von ukrainischen Traktorfahrern, die im Schlamm aufgegebene russische Panzer abschleppen und einer Folgeverwendung in der eigenen Armee zuführen, gezeigt, wie unentbehrlich auch Themen sind, die nicht unmittelbar im Fokus stehen, wie z. B. die Geländebefahrbarkeit, die aber im Hinblick auf die sichere Verlegung eigener Truppen oder auch zur Abschätzung feindlicher Bewegungsachsen essentiell ist. Aus diesem Grund möchte ich Ihnen auch den Beitrag zu den Geländebefahrbarkeitskarten ans Herz legen. Neben den zuvor genannten Beispielen finden Sie im Jahresbericht 2022 noch viele weitere bedeutende Beiträge aus den fünf Forschungsbereichen der wehrwissenschaftlichen Forschung, die illustrativ belegen, dass die Zeitwende in der wehrwissenschaftlichen Forschung angekommen ist.

In den nächsten Jahren wird es unser Schwerpunkt sein, die Erkenntnisse aus der wehrwissenschaftlichen Forschung durch ein engeres Zusammenspiel



zwischen Forschenden und Nutzenden schneller in die Streitkräfte zu bringen und unseren technologischen Vorsprung zuverlässig zu gewährleisten. Denn eines muss uns bewusst sein: Technologien, die derzeit in der Ukraine im Einsatz sind, können erbeutet, ausgewertet und geteilt werden. Folglich werden auch potentielle Gegner in Zukunft über diese Technologien verfügen. Somit sind noch stärkere Bemühungen von unserer Seite erforderlich, neue Technologien schnell zu operationalisieren und technologische und operationelle Überlegenheit in Zukunft zu garantieren. Dies kann nur gemeinsam mit der nationalen Gemeinschaft der Forschenden und unseren internationalen Partnern angangenen werden.

Gemeinsam wird es uns gelingen, den besonderen Herausforderungen und Aufgaben für die Bundeswehr zu entsprechen. Die wehrwissenschaftliche Forschung in Deutschland wird im Zusammenspiel mit den militärischen Nutzern weiterhin ihren Beitrag zur Stärkung der Einsatzbereitschaft, der technologischen und operationellen Überlegenheit und damit zur Zukunftsfähigkeit der Bundeswehr leisten. Davon bin ich überzeugt! Das ist unser Anspruch!

Alexander Schott

Alexander Schott, den 25. Juli 2023



Durch Anklicken direkt zum Artikel gelangen

Vorwort	05	Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte
Teil 1	13	Wehrtechnische Forschung
	14	Stellungswahlassistent – Geländeauswertung zur Unterstützung der Operationsplanung und der Gefechtsführung
	16	Effiziente Videobildauswertung durch blickbasierte Interaktion und Künstliche Intelligenz
	18	Erster Kleinsatellit für die Bundeswehr – Raketendetektion mit dem 12U-CubeSat ERNST
	20	Innenballistik-Softwarefamilie SimIB für die Auslegung der nächsten Generation Rohrmaschinen der Bundeswehr
	22	Passiv-Radar mit Starlink-Satelliten
	24	Metamaterialien für Antennen mit elektronischer Strahlenschwenkung
	26	Automatisierte Planung zur Unterstützung der abgesehenen Infanterie durch UGVs
	28	Effiziente Hochvolt-GaN-Transistoren für Radaranwendungen
	30	Auf dem Weg zur Einzelphotonenkamera für aktive Bildgebung im kurzwelligen Infrarot
	32	Aktive Verwindungsrotoren für den modernen Hubschrauber
	34	Informationsfusion von verschiedenen Fernerkundungssensoren
	36	Automatisierte Luftbetankung
	38	Radarsignaturbestimmung und Bewertung militärischer Fluggeräte
	40	Untersuchung der instationären Aerodynamik eines Remote Carriers während des Flügelschwenkvorgangs
	42	Verifikation von Kameras für den Einsatz im Rahmen des Vertrags über den Offenen Himmel
	44	Das Johannes Kepler Observatorium des DLR: Eine einzigartige Bodenstation zur laseroptischen Bewertung der Weltraumlage
	46	OTTER – Maritimes Lagebild
	48	Raumgestützte Raketensignaturvermessung mit Infrarot-Kleinsatelliten anhand von Abbrandversuchen am Boden
	50	Neuronale Netze zur Bestimmung des Verhaltens von Reaktivschutz



52	SiC-basierte Leistungshalbleiter-Bauelemente für die wehrtechnische Anwendung
54	Inflation bei Rüstungsgütern: Auswirkung der Teuerung auf die Beschaffung von Waffensystemen
56	Satellitenkommunikation „to go“ – Entfaltbares Leichtbau-Manpack-Antennensystem
58	Aerodynamische Charakterisierung drallstabilisierter Geschosse bei Steilschüssen
60	Reaktive Strukturmaterialien – Interdisziplinäre und multiskalige Grundlagenforschung in Experiment und Simulation
62	Integration Additiver Fertigung in die Deutsche Marine
64	Führungskulturen im digitalen Zeitalter – Der Fall der Bundeswehr „FüKu.Bw“
66	A l'étranger avec des amis: Zufriedenheit und Commitment der Bundeswehrangehörigen und ihrer Familien am neuen Standort Évreux, Frankreich
68	Leistungselektronik für Hochleistungspulsanwendungen am Beispiel einer kompakten Energieversorgung elektrischer Waffen
70	Digitalisierung mitgestalten: Bildungsforschung zur Stärkung gesellschaftlicher Resilienz in unsicheren Zeiten
72	Konzeptioneller Aufbau eines ganzheitlichen Surrogats zur Prüfung von nichtletalen Wirkmitteln in Form von kinetischen Projektilen
74	Aktive Beeinflussung der Unterwasserschallsignatur von Marineeinheiten
76	Eine Methode zur verbrennungstechnischen Untersuchung synthetischer und alternativer Kraftstoffe
78	Umsetzung eines Prüfverfahrens zur Bewertung von Vorfiltrationstechnologien für die Trinkwasseraufbereitung aus Oberflächengewässern
80	Digitales Einkleiden „BundesWEAR“
82	Additive Fertigung von ultrahochmolekularem Polyethylen
84	Das Engine Mission Simulation System: Triebwerkssimulation in der virtuellen Flugmission
86	Parametrische Spektralschätzung für die Analyse hydroakustischer Zeitreihen
88	Demonstrator für die Simulation der Bi- und Multistatischen U-Jagd
90	Postfossiles Energiemanagement in der Bundeswehr: Bundeswehrrelevante Stromspeicher und Energiewandler für erneuerbare Energien



Teil 2

- 92 Leistungsgesteigerte Unterwassersprengstoffe
- 94 Moderne Leistungsbestimmung von Sprengstoffen
- 96 „Meaningful Human Control“ von Automatisierung und KI in Waffensystemen
- 99 **Wehrmedizinische und Militärpsychologische Forschung**
- 100 Schneller Nachweis von *Yersinia pestis* mittels Rezeptorbindeproteinen aus Bakteriophagen
- 102 Alternativmethoden zum Tierversuch: Etablierung von humanen Lebersphäroiden und Untersuchungen zur Lebertoxizität
- 104 Gefährdung durch Hitzestress in geschützten Fahrzeugen: Herausforderungen und Lösungswege
- 106 Auswertung medizinischer Befunde nach akzidenteller Exposition von frühem Fallout beim atmosphärischen Kernwaffen-Versuch „Castle Bravo“
- 108 Mental fit zurück in den Dienst – Evaluation eines medizinisch-dienstlich orientierten Rehabilitationstrainings für psychische Erkrankungen
- 110 Psychische Beanspruchungen und Belastungsfolgen im UAS HERON 1 – Eine empirische Studie
- 112 Erprobung und Evaluierung circadianer Seewachsysteme für die Deutsche Marine
- 114 Patientensicherheit in der Notfallmedizin: Risikoanalyse von latentem Informationsverlust
- 116 Das Human Extremity Recovery Ordnance (H.E.R.O.)-Projekt – Ex-vivo Perfusion von Extremitäten zur erfolgreichen Re- und Transplantation
- 118 Forschungsverbund Süd (FvS) – Schulterschluss zwischen dem Bundeswehrkrankenhaus Ulm und der Universität der Bundeswehr München für die zukünftige universitäre Traumaforschung
- 120 Auswirkung der körperlichen und psychischen Belastungen während der Kampfschwimmerausbildung – Eine sportmedizinische und sportpsychologische Untersuchung
- 122 Quantenzählender CT-Scanner im Schockraum-Setting – Diagnostikoptimierung polytraumatisierter Patienten
- 124 Neue Ergebnisse einer Längsschnittstudie zu psychischen Störungen nach Auslandseinsätzen der Bundeswehr



22

Teil 3

- 127 **Militärgeschichtliche und Sozialwissenschaftliche Forschung**
- 128 Katholische Friedensarbeit im Kalten Krieg unter besonderer Berücksichtigung der beiden deutschen Staaten
- 130 Die ZMSBw-Bevölkerungsbefragung als Gradmesser des verteidigungspolitischen Meinungsbilds

Teil 4

- 133 **Geowissenschaftliche Forschung**
- 134 Geländebefahrbarkeitskarten mit CCMoD (Cross-Country Modell)
- 136 MoGLi: Eine Anwendung zur GPS – Integritätsanalyse

Teil 5

- 139 **Forschung Cyber / Informationstechnik**
- 140 Kommerziell verfügbare 5G-Mobilfunktechnologie für die taktische Kommunikation
- 142 Die Etablierung des C2SIM-Informationsstandards in der NATO
- 144 Analyse smartphonebasierter Malware (Smartphoneforensik)

Teil 6

- 147 **Anhang**
- 148 Adressen und Kontakte
- 154 Impressum

1

Wehrtechnische Forschung

Der völkerrechtswidrige Angriff Russlands auf die Ukraine hat die wehrtechnische Forschung im Jahr 2022 stark beeinflusst:

Zunächst ermöglicht er einen sehr objektiven Blick auf den Kampfwert unserer Wehrtechnik gegenüber einem Gegner mit Material und Einsatzgrundsätzen russischer Herkunft.

Zudem belegte der bisherige erfolgreiche Widerstand der Ukraine, welcher auch durch überlegene westliche Waffensysteme getragen wurde, grundlegend die Notwendigkeit und Wichtigkeit der wehrtechnischen Forschung. Diese Waffensysteme, die heute von den Verteidigern der Ukraine hochgelobt werden, sind unter anderem die Ergebnisse der wehrtechnischen Forschung der vergangenen Jahrzehnte. In ihnen sind Technologien enthalten, die zum Teil im Rahmen der wehrtechnischen Forschung von der Vorlaufforschung über die Angewandte Grundlagenforschung bis hin zum prototypischen Nachweis bei uns oder unseren Partnern in EU und NATO gereift sind.

Des Weiteren ist die im Rahmen der wehrtechnischen Forschung und Technologie aufgebaute Analyse- und Bewertungsfähigkeit derzeit für die Umsetzung des Sondervermögens gefragt. Auch wenn zur schnellen Ausstattung der Bundeswehr vielfach am Markt verfügbare Produkte gekauft werden, stellt sich bei deren Beschaffung noch immer die Frage „Welches ist das richtige und vor allem das zukunftssichere Produkt?“ Genau diese Frage kann aber nur auf Basis der wehrtechnischen Forschung und ihrer Analyse- und Bewertungsfähigkeit beantwortet werden. Der kontinuierliche Erhalt dieser Analyse- und Bewertungsfähigkeit ist genauso wichtig, wie die Verfügbarmachung von neuen

Technologien. Denn nur durch sie können neue Bedrohungen frühzeitig technisch eingeordnet, Anforderungen an neue Technologien definiert und zu beschaffende Waffensysteme bewertet werden.

Zusätzlich schrumpft mit jedem System, welches zur Unterstützung an die Ukraine abgegeben wird, potentiell auch unser technologischer Vorsprung. Jeder Abgabe haftet immanent die Gefahr an, dass das System erbeutet und ausgewertet wird. Folglich muss unsere wehrtechnische Forschung ihre Anstrengungen erhöhen, um zusammen mit unseren internationalen Partnern neue Technologien zu erschließen und so einen ausreichenden technologischen Vorsprung zu erhalten.

Verschärfend haben der Ukrainekrieg aber auch die vorherige Pandemie die Verletzlichkeit unserer Lieferketten und die Wichtigkeit einer europäischen technologischen Souveränität aufgezeigt. Auch zur Sicherheit der Lieferketten und Weiterentwicklung der technologischen Souveränität trägt die wehrtechnische Forschung maßgeblich bei.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die wehrtechnische Forschung nach der Zeitenwende wichtiger denn je ist und einen großen Aufgabenumfang zu bewältigen hat. Nichtsdestotrotz haben sich einige Forschende aus der wehrtechnischen Forschung dankenswerterweise die Zeit genommen, Ihnen ihre Forschungsergebnisse aus dem Jahr 2022 zu präsentieren. Ihre Beiträge finden Sie auf den nachfolgenden Seiten.



Dr.-Ing. Ralf Knott
HPS GmbH
München

info@hps-gmbh.com

Dr.-Ing. Martin Lösch
HPS GmbH
München

info@hps-gmbh.com

Dr.-Ing. Ernst K. Pfeiffer
HPS GmbH
München

info@hps-gmbh.com

Satellitenkommunikation „to go“ – Entfaltbares Leichtbau-Manpack-Antennensystem

Im Projekt ILKA entwickelt die Firma HPS GmbH mit Unterstützung der Universität der Bundeswehr München ein neues transportables Antennensystem im „Manpack“-Format. Das Komplettsystem wiegt unter 25 kg und ist mit einem 1,2 m Reflektor für schnelle Datenübertragung ausgelegt. Transportabel und einsetzbar in jedem Gelände ist es geeignet für den Einsatz in hochmobilen Trupps.

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine zuverlässige Führung und Informationsübermittlung im Einsatzgebiet ist Kommunikation, wobei Satellitenkommunikation zur Überwindung weiter Strecken unerlässlich ist. Neben strategischen und taktischen Verbindungen zu festen Bodenstationen spielen in einem dynamischen und hochmobilen Einsatzumfeld besonders schnell verlegefähige Terminals eine entscheidende Rolle. Die Terminalklasse bis 1,2 m Durchmesser bietet Datenraten von mehreren Mbit/s und unterstützt gängige Frequenzbänder vom X-Band über das Ku-Band bis hin zum Ka-Band. Heute marktverfügbare Systeme sind jedoch charakterisiert durch ihr vergleichsweise hohes Gewicht sowie durch zeitaufwändigen Zusammenbau der meist aus unabhängigen Segmenten bestehenden Reflektoren. Darüber hinaus sind für den Transport meist mehrere Transportkoffer nötig, was die Mobilität stark einschränkt.

Diese Fähigkeitslücke adressiert das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Forschungsverbundvorhabens „Integrierte, entfaltbare Leichtbau Manpack Komplet-Antenne (ILKA)“. Das Projekt beinhaltet die Machbar-



Abb. 1: Antennensystem in Einsatzkonfiguration



Abb. 2: Antennensystem in Transportkonfiguration

Dr.-Ing. Robert Schwarz
Universität der Bundeswehr München
Institut für Informationstechnik
Neubiberg

office.sp@unibw.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Knopp, MBA
Universität der Bundeswehr München
Institut für Informationstechnik
Neubiberg

office.sp@unibw.de

keitsuntersuchung eines komplett ausgerüsteten, entfaltbaren Kommunikationssystems mit einem Reflektordurchmesser von 1,2 m inklusive aller notwendigen Subkomponenten (RF-Feed, Elektronik, Stromversorgung, Antennen-Ausrichttechnologie, Stativ, Rucksack) und Einsatzspektrum im X- und Ku-Band (Abb. 1). Unter der Führung der HPS GmbH hat sich hierfür ein deutsches Konsortium mit den Partnern Blackwave GmbH, Technische Universität München (Lehrstuhl für Carbon Composites) und mtex antenna technology GmbH in Zusammenarbeit mit dem Institut für Informationstechnik der Universität der Bundeswehr München (UniBw M) zusammengeschlossen.

Bei der Entwicklung wird das Prinzip radial verlaufender Rippen wie bereits in einer Vorgängerentwicklung beim Vorhaben KEAN (Kleine entfaltbare Antennenkomponenten) betrachtet und positiv bewertet nun auch im aktuellen Vorhaben als Weiterentwicklung des Kommunikationssystems zugrunde gelegt. Das System wird mit geringem Packmaß und einem betriebsfähigem Systemgewicht von unter 25 kg von einer Person transportabel sein (Abb. 2). Neben der Kompaktheit stellen eine einfache Bedienbarkeit und damit verbunden der schnelle Aufbau einer Satellitenverbindung in unter 15 Minuten ergänzende Charakteristika des Antennensystems dar. Dies erfordert neben der konzipierten innovativem Falt-Kinematik des Reflektors und dem Miniaturisierungs-

konzept der Elektronikkomponenten, ein serientaugliches Fertigungskonzept für Reflektorblätter aus faserverstärktem Kunststoff in Leichtbauweise. Dabei kommt eine innovative Kombination von kurz- und langfaserverstärkten Kunststoffen zum Einsatz, um die hohen HF-Reflektionsanforderungen mit der nötigen Steifigkeit und Formstabilität sowie geringem Gewicht zu kombinieren (Abb. 3).

Nach Abschluss der Entwicklung und Konstruktion läuft aktuell die Prozessentwicklung und Fertigung des Labormusters. Am Munich Center for Space Communication (Abb. 4), einer Referenz- und Testanlage für Satellitenkommunikation an der UniBw M, sind anwendungsnahe „Ende zu Ende“-Verbindungstests sowie System- und Handhabungstests vorgesehen. Mit Abschluss des Vorhabens Mitte 2023 werden die Weichen für die Umsetzung einer ersten Kleinserie gestellt.

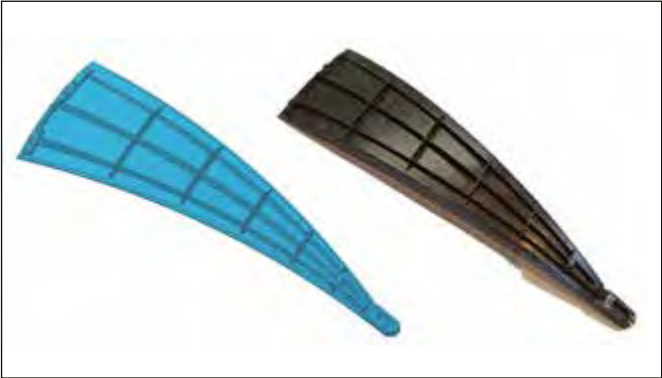


Abb. 3: Versteifte Reflektorblattrückseite in CAD (links) und Umsetzung als serientaugliches CFK-Bauteil (rechts)



Abb. 4: Referenz- und Testanlage für Satellitenkommunikation: das Munich Center for Space Communications



6

Anhang





Bundesministerium
der Verteidigung

Bundesministerium
der Verteidigung
Postfach 13 28
53003 Bonn
Internet: www.bmvg.de

Abteilung Ausrüstung - A III 5
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 1 41 66
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 4 41 75
E-Mail: BMVgAIII5@bmvg.bund.de

Abteilung Ausrüstung - A III 6
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 1 41 80
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 4 41 89
E-Mail: BMVgAIII6@bmvg.bund.de

Abteilung Cyber / Informationstechnik
- CIT I 2
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 2 61 22
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 3 35 61 21
E-Mail: BMVgCITI2@bmvg.bund.de

Abteilung Führung Streitkräfte – FüSK III 3
Tel.: +49 (0) 30 / 2004 - 2 48 38
Fax: +49 (0) 30 / 2004 - 18 03 68 13
E-Mail: BMVgFueSKIII3@bmvg.bund.de

Abteilung Führung Streitkräfte – FüSK San 1
Tel.: +49 (0) 30 / 20 04 - 2 48 54
fax: +49 (0) 30 / 20 04 - 8 97 00
E-Mail: BMVgFueSKSan1@bmvg.bund.de

Abteilung Personal - P I 5
Tel.: +49 (0) 30 / 18 24 - 2 31 57
Fax: +49 (0) 30 / 18 24 - 8 95 40
E-Mail: BMVgPI5@bmvg.bund.de

Abteilung Personal - P III 5
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 1 33 51
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 4 35 30
E-Mail: BMVgPIII5@bmvg.bund.de



Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Postfach 70 08 22
22008 Hamburg
Tel.: +49 (0) 40 / 65 41 - 1
Fax: +49 (0) 40 / 65 41 - 28 69
E-Mail: forschung@hsu-hh.de
Internet: www.hsu-hh.de

Universität  München

Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg
Tel.: +49 (0) 89 / 60 04 - 0
Fax: +49 (0) 89 / 60 04 - 35 60
E-Mail: info@unibw.de
Internet: www.unibw.de



Wehrtechnische Dienststelle
für Schutz- und Sonderechnik
(WTD 52)
Oberjettenberg
83458 Schneizlreuth
Tel.: +49 (0) 86 51 / 76 82 - 10 01
Fax: +49 (0) 86 51 / 16 00
E-Mail: WTD52posteingang@bundeswehr.org
Internet: www.baainbw.de/wtd52



Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge
und Luftfahrtgerät der Bundeswehr
(WTD 61)
Flugplatz
85077 Manching
Tel.: +49 (0) 84 59 / 80 - 1
Fax: +49 (0) 84 59 / 80 - 20 22
E-Mail: WTD61posteingang@bundeswehr.org
Internet: www.baainbw.de/wtd61



Wehrtechnische Dienststelle
für Schiffe und Marinewaffen,
Maritime Technologie und Forschung
(WTD 71)
Berliner Straße 115
24340 Eckernförde
Tel.: +49 (0) 43 51 / 467 - 0
Fax: +49 (0) 43 51 / 467 - 120
E-Mail: WTD71posteingang@bundeswehr.org
Internet: www.baainbw.de/wtd71



Wehrtechnische Dienststelle
für Informationstechnologie und Elektronik
(WTD 81)
Bergstraße 18
91171 Greding
Tel.: +49 (0) 84 63 / 652 - 0
Fax: +49 (0) 84 63 / 652 - 607
E-Mail: WTD81posteingang@bundeswehr.org
Internet: www.baainbw.de/wtd81



Wehrtechnische Dienststelle
für Waffen und Munition
(WTD 91)
Am Schießplatz
49716 Meppen
Tel.: +49 (0) 59 31 / 43 - 0
Fax: +49 (0) 59 31 / 43 - 20 91
E-Mail:
WTD91posteingang@bundeswehr.org
Internet: www.baainbw.de/wtd91



Wehrwissenschaftliches Institut
für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS)
Humboldtstraße 100
29633 Munster
Tel.: +49 (0) 51 92 / 136 - 201
Fax: +49 (0) 51 92 / 136 - 355
E-Mail: WISposteingang@bundeswehr.org
Internet: www.baainbw.de/wis



Wehrwissenschaftliches Institut
für Werk- und Betriebsstoffe
(WIWeB)
Institutsweg 1
85435 Erding
Tel.: +49 (0) 81 22 / 95 90 - 0
Fax: +49 (0) 81 22 / 95 90 - 39 02
E-Mail: WIWeBposteingang@bundeswehr.org
Internet: www.baainbw.de/wiweb



Zentrum für Geoinformationswesen
der Bundeswehr
Frauenberger Straße 250
53879 Euskirchen
Tel.: +49 (0) 22 51 / 953 - 50 00
Fax: +49 (0) 22 51 / 953 - 50 55
E-Mail: ZGeoBwChdSt@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



Zentrum für Militärgeschichte und
Sozialwissenschaften der Bundeswehr
Zeppelinstraße 127/128
14471 Potsdam
Tel.: +49 (0) 331 / 97 14 - 0
Fax: +49 (0) 331 / 97 14 - 507
E-Mail: ZMSBwZentralesManagement@bundeswehr.org
Internet: https://zms.bundeswehr.de



Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr
Neuherbergstraße 11
80937 München
Tel.: +49 (0) 89 / 99 26 92 - 39 82
Fax: +49 (0) 89 / 99 26 92 - 39 83
E-Mail: InstitutfuerMikrobiologie@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



Institut für Pharmakologie und Toxikologie
der Bundeswehr
Neuherbergstraße 11
80937 München
Tel.: +49 (0) 89 / 99 26 92 - 29 26
Fax: +49 (0) 89 / 99 26 92 - 23 33
E-Mail: InstitutfuerPharmakologieundToxikologie@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



Institut für Radiobiologie der Bundeswehr
in Verbindung mit der Universität Ulm
Neuherbergstraße 11
80937 München
Tel.: +49 (0) 89 / 99 26 92 - 22 51
Fax: +49 (0) 89 / 99 26 92 - 22 55
E-Mail: InstitutfuerRadiobiologie@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin
der Luftwaffe
Flughafenstraße 1
51147 Köln
Tel.: +49 (0) 22 03 / 9 08 - 16 10
Fax: +49 (0) 22 03 / 9 08 - 16 14
E-Mail: zentrurmedlwpresso@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



Schiffahrtmedizinisches Institut
der Marine
Kopperpähler Allee 120
24119 Kronshagen
Tel.: +49 (0) 431 / 54 09 - 17 01
Fax: +49 (0) 431 / 54 09 - 17 78
E-Mail: SchiffMedInstM@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



Institut für Präventivmedizin
der Bundeswehr, Abteilung A
Aktienstraße 87
56626 Andernach
Dienstort:
Andernacher Straße 100
56070 Koblenz
Tel.: +49 (0) 261 / 896 - 7 70 01
Fax: +49 (0) 261 / 896 - 7 70 99
E-Mail: InstPraevMedBw@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



Deutsch-Französisches
Forschungsinstitut Saint-Louis
Postfach 27
79590 Binzen
F-68300 Saint-Louis
Tel.: +33 (0) 389 / 69 50 - 00
Fax: +33 (0) 389 / 69 50 - 02
E-Mail: isl@isl.eu
Internet: www.isl.eu



Psychotraumazentrum der Bundeswehr
Im Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Scharnhorststraße 13
10115 Berlin
Tel.: +49 (0) 30 / 28 41 - 22 89
Fax: +49 (0) 30 / 28 41 - 10 43
E-Mail: BwKrhsBerlin@bundeswehr.org
Internet: www.berlin.bwkrankenhaus.de



Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Rübenacher Straße 170
56072 Koblenz
Tel.: +49 (0) 261 / 281 - 89
Fax: +49 (0) 261 / 281 - 26 69
E-Mail: BwZKrhsKoblenz@bundeswehr.org
Internet: https://koblenz.bwkrankenhaus.de



Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Scharnhorststraße 13
10115 Berlin
Tel.: +49 (0) 30 / 28 41 - 2 289
Fax: +49 (0) 30 / 28 41 - 10 43
E-Mail: BwKrhsBerlin@bundeswehr.org
Internet: https://berlin.bwkrankenhaus.de



Bundeswehrkrankenhaus Hamburg
Lesserstraße 180
22049 Hamburg
Tel.: +49 (0) 40 / 69 47 - 0
Fax: +49 (0) 40 / 69 47 - 1 06 29
E-Mail: BwKrhsHamburg@bundeswehr.org
Internet: https://hamburg.bwkrankenhaus.de



Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Oberer Eselsberg 40
89081 Ulm
Tel.: +49 (0) 731 / 17 10 - 24 00
Fax: +49 (0) 731 / 17 10 - 24 03
E-Mail: BwKrhsUlm@bundeswehr.org
Internet: https://ulm.bwkrankenhaus.de



Bundeswehrkrankenhaus Westerstede
Lange Straße 38
26655 Westerstede
Tel.: +49 (0) 44 / 88 50 - 0
Fax: +49 (0) 261 / 896 - 1 31 99
E-Mail: BwKrhsWesterstede@bundeswehr.org
Internet: https://westerstede.bwkrankenhaus.de



Fraunhofer-Leistungsbereich
Verteidigung, Vorbeugung und
Sicherheit VVS
Fraunhoferstraße 1
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 721 / 60 91 - 210
Fax: +49 (0) 721 / 60 91 - 413
E-Mail: info@iosb.fraunhofer.de
Internet: www.vvs.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für
Kurzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Ernst-Zermelo-Straße 4
79104 Freiburg
Tel.: +49 (0) 761 / 27 14 - 101
Fax: +49 (0) 761 / 27 14 - 316
E-Mail: info@emi.fraunhofer.de
Internet: www.emi.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für
Hochfrequenzphysik und
Radartechnik FHR
Fraunhoferstraße 20
53343 Wachtberg
Tel.: +49 (0) 228 / 94 35 - 227
Fax: +49 (0) 228 / 94 35 - 627
E-Mail: info@fhr.fraunhofer.de
Internet: www.fhr.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für
Kommunikation, Informations-
verarbeitung und Ergonomie
FKIE
Fraunhoferstraße 20
53343 Wachtberg
Tel.: +49 (0) 228 / 94 35 - 103
Fax: +49 (0) 228 / 94 35 - 685
E-Mail: kontakt@fkie.fraunhofer.de
Internet: www.fkie.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für
Angewandte Festkörperphysik
IAF
Tullastraße 72
79108 Freiburg
Tel.: +49 (0) 761 / 51 59 - 458
Fax: +49 (0) 761 / 51 59 - 714 58
E-Mail: info@iaf.fraunhofer.de
Internet: www.iaf.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für
Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal
Tel.: +49 (0) 721 / 46 40 - 115
Fax: +49 (0) 721 / 46 40 - 111
E-Mail: info@ict.fraunhofer.de
Internet: www.ict.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für
Experimentelles Software
Engineering IESE
Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern
Tel.: +49 (0) 631 / 6800 - 0
Fax: +49 (0) 631 / 6800 - 9 - 2296
E-Mail: info@iese.fraunhofer.de
Internet: www.iese.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für
Integrierte Schaltungen IIS
Am Wolfsmantel 33
91058 Erlangen
Tel.: +49 (0) 91 31 / 776 - 0
Fax: +49 (0) 91 31 / 776 - 20 19
E-Mail: info@iis.fraunhofer.de
Internet: www.iis.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für
Optronik, Systemtechnik und
Bildauswertung IOSB

Standort Karlsruhe
Fraunhoferstraße 1
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 721 / 60 91 - 210
Fax: +49 (0) 721 / 60 91 - 413

Standort Ettlingen
Gutleuthausstraße 1
76275 Ettlingen
Tel.: +49 (0) 7243 / 992 - 131
Fax: +49 (0) 7243 / 992 - 299

E-Mail: info@iosb.fraunhofer.de
Internet: www.iosb.fraunhofer.de



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Programmkoordination Sicherheitsforschung
(PK-S)
Linder Höhe
51147 Köln
Tel.: +49 (0) 2203 / 601 - 40 31
Fax: +49 (0) 2203 / 673 - 40 33
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/sicherheit



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
DLR AS
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig
Tel.: +49 (0) 531 / 295 - 24 00
Fax: +49 (0) 531 / 295 - 23 20
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/as



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugsystemtechnik DLR FT
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig
Tel.: +49 (0) 531 / 295 - 26 00
Fax: +49 (0) 531 / 295 - 28 64
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/ft



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Hochfrequenztechnik und
Radarsysteme DLR HR
Oberpfaffenhofen
82234 Weßling
Tel.: +49 (0) 81 53 / 28 23 05
Fax: +49 (0) 81 53 / 28 11 35
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/hr



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Optische Sensorsysteme DLR OS
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin-Adlershof
Tel.: +49 (0) 30 / 6 70 55 - 0
Fax: +49 (0) 30 / 6 70 55 - 102
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/os



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Kompetenzzentrum für Reaktionsschnelle
Satellitenverbringung DLR RS
Eugen-Sänger-Str. 50
29328 Faßberg/Trauen
Tel.: +49 (0) 711 / 68 62 - 714
Fax: +49 (0) 711 / 68 62 - 788
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/rs



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Systemleichtbau DLR SY
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig
Tel.: +49 (0) 531 / 295 - 2301
Fax: +49 (0) 531 / 295 - 2838
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/sy



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Technische Physik DLR TP
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711 / 68 62 - 773
Fax: +49 (0) 711 / 68 62 - 788
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/tp



HERAUSGEBER
Bundesministerium der Verteidigung
Unterabteilung A III
Fontainengraben 150
53123 Bonn

INHALTLICHE BETREUUNG
Fraunhofer INT, Euskirchen

GESTALTUNG UND REALISATION
Konzeptbüro Schneider, Erfstadt

DRUCK
Wartlich Druck Meckenheim GmbH, Meckenheim

STAND
Juli 2023



FOTOS

	Seite	
© Bundeswehr / Christoph Lammel; Jana Neumann;	01	Bundesministerium der Verteidigung, Bonn
© Bundeswehr / Jana Neumann	08	Bundeswehrkrankenhaus Berlin
© Bundeswehr / Christian Timmig; Sebastian Wilke	09	Bundeswehrkrankenhaus Hamburg
© Bundeswehr / Mario Bähr	10	Bundeswehrkrankenhaus Ulm
© Bundeswehr / Jana Neumann; Marco Dorow	11	Bundeswehrkrankenhaus Westerstede
		Bundeswehrzentalkrankenhaus Koblenz
		Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis
© xView, vgl. Lam, Darius, et al. „xview: Objects in context in overhead imagery.“ arXiv preprint arXiv:1802.0785 (2018)	16	DLR, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig
© WAMI-Bildausschnitt: Hensoldt „Appearance and motion based persistent multiple object tracking in wide area motion imagery.“ Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2021		DLR, Institut für Flugsystemtechnik, Braunschweig
		DLR, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, Oberpfaffenhofen
© F. Christnacher et al., Adv.Opt.Techn. 8 (6), 403–414 (2019)	16	DLR, Institut für Optische Sensorsysteme, Berlin
© Airbus	30	DLR, Institut für Systemleichtbau, Braunschweig
© Dagmar Benner	40	DLR, Institut für Technische Physik, Stuttgart
© David Porschen	42	DLR, Kompetenzzentrum für Reaktionsschnelle Satellitenverbringung, Trauen
© NASA Orbital Debris Program Office	43	Fraunhofer EMI, Freiburg i. Br.
© Hartig, http://dx.doi.org/10.24405/14321	44	Fraunhofer FHR, Wachtberg
© Fotoarchiv, HSU/UniBw H, Ulrike Schröder	62	Fraunhofer FKIE, Wachtberg
© Abteilung Biomechanik und Unfallforschung am Institut für Rechtsmedizin, LMU München	71	Fraunhofer IAF, Freiburg i. Br.
© Karr 2015, Deutsche Marine		Fraunhofer ICT, Pfinztal
© Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (Hg.) (2019): Energiebericht Bundeswehr 2019	73	Fraunhofer IIS, Erlangen
© Chatterjee, Daniel: Power-to-X ein Schlüsselement der Energiewende. Workshop Rolls-Royce und PlgABw. PlgABw, 05.10.2021)	74	Fraunhofer IOSB, Karlsruhe, Ettlingen
© Cronkite et al., 1954; Abbildung angepasst von Rump et al.	90	Fraunhofer IESE, Kaiserslautern
© Simon et al., 2010; Abbildung angepasst von Rump et al.		HPS GmbH, München
© SEARCH-Datenbank		Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg
© Aus S. Scharnholtz et al., https://doi.org/10.4028/p-ztr5d7	91	Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, München
© Wehrmedizinische Monatszeitschrift	106	Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr, München
© Bundeswehr / Eisner 2004	107	Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr, Koblenz
© Bundeswehr / Torsten Kraatz		Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München
© Bundeswehr / Jonas Weber	117	Psychotraumazentrum der Bundeswehr, Berlin
© IMAGO / Sven Simon	119	Schiffahrtmedizinisches Institut der Marine, Kronshagen
© Ökumenische FriedensDekade	124	Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
	124	WIS, Munster
	125	WIWeB, Erding
	128	WTD 52, Schneizlreuth
	128	WTD 61, Manching
		WTD 71, Kiel
		WTD 81, Greding
		WTD 91, Meppen
		Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr, Euskirchen
		Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe, Fürstenfeldbruck
		Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr, Potsdam