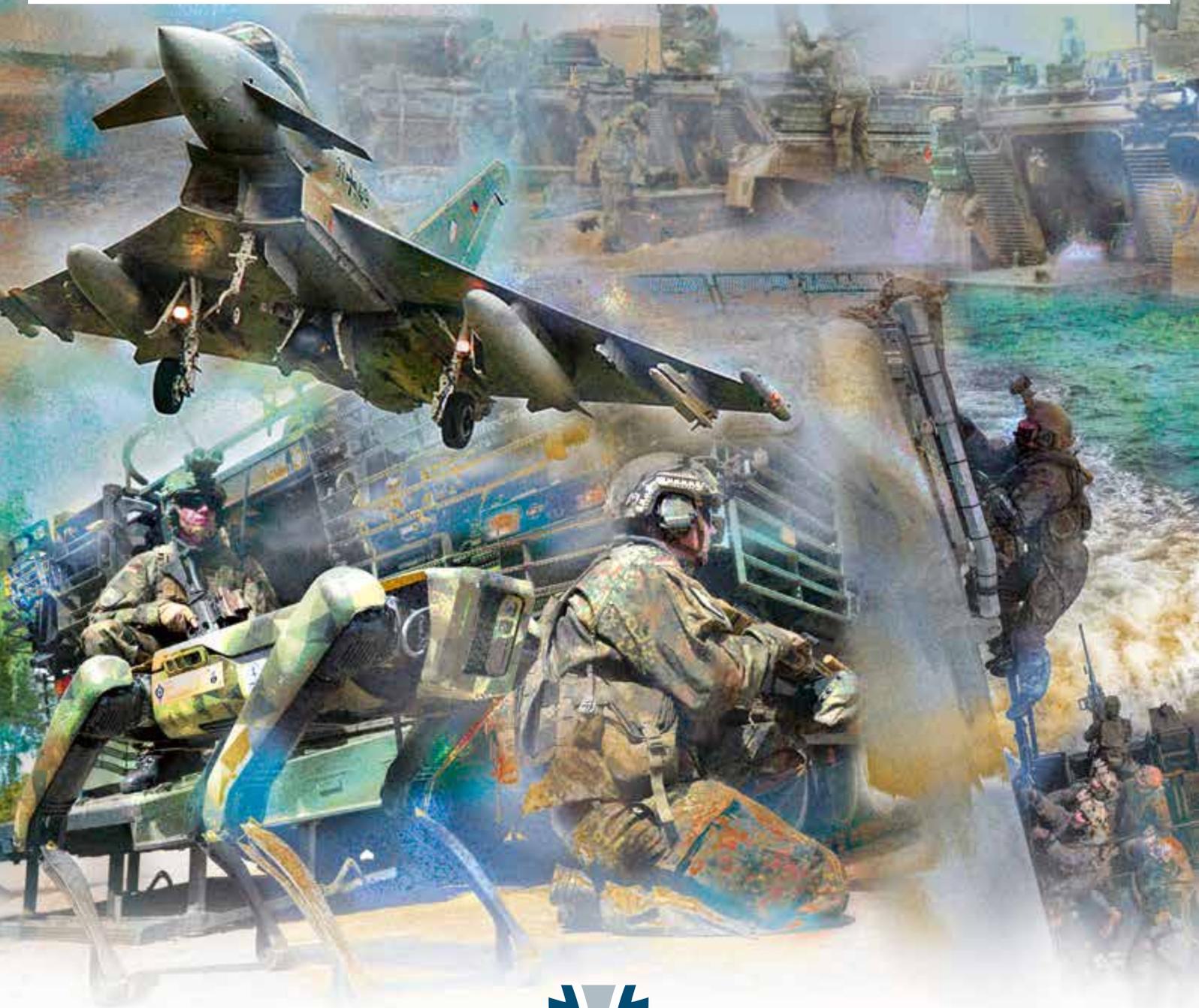




Bundesministerium
der Verteidigung

Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2023

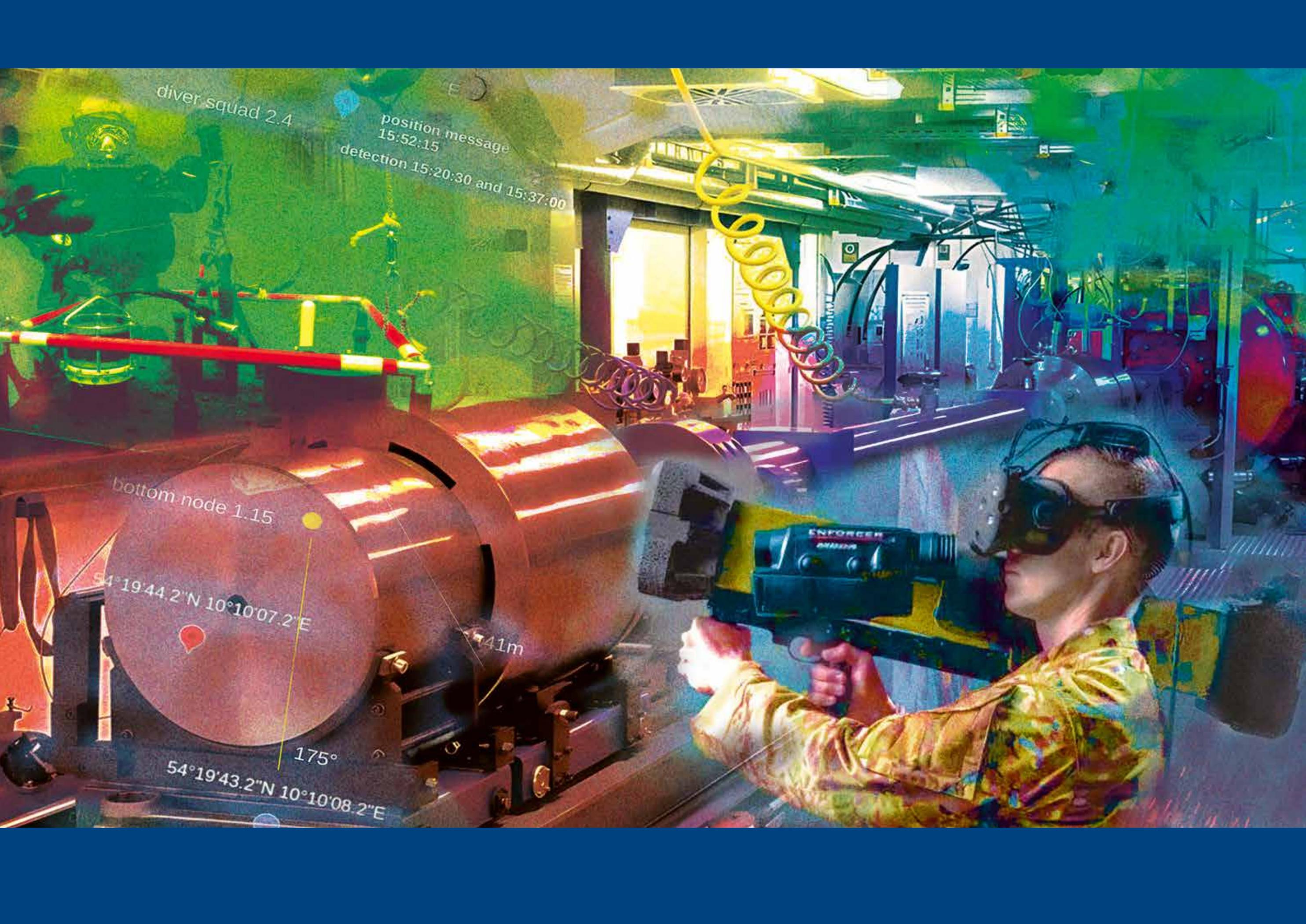
Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte



BUNDESWEHR

Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2023

Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte



diver squad 2.4

position message
15:52:15

detection 15:20:30 and 15:37:00

bottom node 1.15

54°19'44.2"N 10°10'07.2"E

41m

175°

54°19'43.2"N 10°10'08.2"E

Ministerialdirigent Alexander Schott

Forschungs- und Innovationsdirektor
Bundesministerium der Verteidigung



Wehrwissenschaftliche Forschung für die Streitkräfte

Sehr große Forschungsinteressen?

wie bereits das Vorwort des vorherigen Jahresberichts steht auch dieses Vorwort klar im Zeichen des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine und der Rückkehr imperialistisch getriebener Bedrohungen nach Europa. Heute gilt es – wie vor einem Jahr auch –, die richtigen Konsequenzen aus Russlands Eroberungskrieg zu ziehen und darauf aufbauend in der wehrwissenschaftlichen Forschung die richtigen Weichen für die Bundeswehr der Zukunft zu stellen.

Wer die Berichterstattung aus der Ukraine verfolgt, der erkennt, dass sich die Kriegsführung auf beiden Seiten stetig wandelt. Ein Beispiel hierfür ist die seit Kriegsbeginn zunehmende Nutzung und Weiterentwicklung von kleinen Drohnen, welche von den Kriegsparteien zur Aufklärung eingesetzt oder mit abwerfbaren oder festverbauten Wirkladungen ausgestattet werden. In seiner Rede „Zeitenwende gestalten“ bei der Bundeswehrtagung am 10. November 2023 hat Bundeskanzler Olaf Scholz den Geschäftsbereich des Bundesministeriums der Verteidigung daher aufgefordert „... Lehren aus dem aktuellem Kriegsgeschehen zu ziehen und unsere Ausrüstung und Beschaffung entsprechend anzupassen.“

Obwohl unser Bundeskanzler hier die wehrwissenschaftliche Forschung mit ihren Forschungsbereichen

- wehrtechnische Forschung und Technologie,
- wehrmedizinische und militärpsychologische Forschung,
- militärgeschichtliche und sozialwissenschaftliche Forschung und
- geowissenschaftliche Forschung

nicht direkt adressiert hat, ist diese Aussage auch als Auftrag an uns, die wissenschaftliche Expertise und die Forschung der Bundeswehr, zu verstehen. Denn die geforderte Anpassung der Vorgehensweisen, der Ausrüstung und der Beschaffung beruht – auch vielfach unerkannt – auf unserer wehrwissenschaftlichen Forschung und der unserer Partner, u. a. in NATO und EU. Ohne eine vorausschauende wehrwissenschaftliche Forschung gibt es in der Zukunft keine fundierte Wissensbasis, zeitgemäße Ausrüstung und Hochtechnologie für unsere Streitkräfte. Auch wenn Rüstungsgüter und Hochtechnologie in der Öffentlichkeit zumeist als das Ergebnis der Arbeit des jeweiligen Herstellers wahrgenommen werden, stecken in ihnen in der Regel die wesentlichen Erkenntnisse aus der wehrwissenschaftlichen Ressortforschung. Diese gilt es noch sichtbarer zu machen, um ein größeres Verständnis für die Bedeutung unserer Verteidigungsforschung in Deutschland zu schaffen. Hierzu soll auch der Ihnen vorliegende Jahresbericht beitragen.



Bei der Umsetzung des Auftrags der wehrwissenschaftlichen Forschung geht es nicht ausschließlich darum, Lehren aus dem aktuellen Kriegsgeschehen in der Ukraine zu ziehen. Denn, wenn eine Technologie bei einem potentiellen Gegner bereits gerüstet oder sogar im Einsatz ist oder der einen anderweitigen (Wissens-)Vorsprung besitzt, ist es schon zu spät. Der Anspruch unserer wehrwissenschaftlichen Forschung ist es gerade, die Bundeswehr vor die „Welle“ zu bringen! Es gilt Entwicklungen mit ihrem jeweiligen militärischen Potential, ihren potentiellen Gefahren und ihren weiteren Auswirkungen für die Streitkräfte frühzeitig vorzusehen sowie diese konsequent und kontinuierlich zu verfolgen, um rechtzeitig die dazu erforderliche wissenschaftliche Kompetenz für die Bundeswehr aufzubauen, die notwendigen Technologien und Erkenntnisse zu erschließen und so den resultierenden Gefahren zu begegnen. Dementsprechend definieren auch die Verteidigungspolitischen Richtlinien 2023 den Erhalt und die Weiterentwicklung nationaler Schlüsseltechnologiefelder sowie die Förderung partnerschaftlicher, insbesondere europäischer und transatlantischer Ansätze bei der Forschung als durchgängig wachsende Aufgaben.

Auch die Nationale Sicherheitsstrategie vom 14. Juni 2023 stellt richtungweisend fest, dass die Widerstands- und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands auf seiner hohen Innovationskraft und auf

technologischer und digitaler Souveränität beruhen. Diese gilt es auch im Rahmen der wehrwissenschaftlichen Forschung zu sichern.

Die Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) empfiehlt in ihren Jahresgutachten 2023 und 2024 zu „Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands“ angesichts globaler Bedrohungslagen, die strikte Trennung von militärischer und ziviler Forschung in Deutschland zu überdenken. Sie verweist darauf, dass sowohl die militärische als auch die zivile Forschung via Spillover-Effekten und Dual Use voneinander profitieren können, wobei für die Bundeswehr die Identifizierung der Felder in der zivilen Forschung zur erweiternden Add On-Forschung den wesentlichen Mehrwert darstellt. Diese Profite gilt es im Rahmen einer vorausschauenden gesamtstaatlichen Sicherheitsvorsorge zu heben. Hierzu stehen wir insbesondere im intensiven Austausch mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, welches u. a. auch die Stärkung der Kooperationen zwischen ziviler und militärischer Forschung in seinem Positionspapier zur Forschungssicherheit im Lichte der Zeitenwende aufgegriffen hat.

Ein Beispiel für eine vorausschauende kontinuierliche Betrachtung eines Themas im Rahmen der wehrwissenschaftlichen Forschung stellt die Abwehr von Drohnen dar. Dieses Thema steht schon lange auf dem „Aufgabenzettel“ der wehrwissen-

schaftlichen Forschung und es wurde bereits ein weites Feld von Abwehrtechnologien vom Wirken im elektromagnetischen Spektrum bis hin zu klassischen kinetischen Wirkmitteln intensiv untersucht.

Dieser Bericht enthält wieder drei Beiträge, die sich mit Technologien zur Abwehr von Drohnen beschäftigen: „CROWN – Auf dem Weg zu einem europäischen multifunktionalen AESA-System“, „Laserentwicklung für die Wehrtechnik“ und „Taktische Innovation durch Multi-Agenten Training in einer Simulationsumwelt“. Auf diese und den in den Vorjahren gewonnenen Erkenntnisse und Technologien wird heute im Rahmen von Beschaffungsvorhaben zurückgegriffen. Dies kann im Übrigen aber auch bedeuten, dass bewusst gegen eine Technologie oder Vorgehensweise entschieden wird, wenn sich diese in der Forschung als ungeeignet, ineffizient oder noch nicht ausgereift erwiesen hat.

Der Ihnen vorliegende Bericht enthält vielfältige weitere Beiträge aus der wehrwissenschaftlichen Forschung. Es handelt sich hier natürlich nicht um einen vollständigen Überblick zu unserer wehrwissenschaftlichen Forschung und es wurde auch wie in den vergangenen Jahren gewissenhaft abgewogen, welche Themen hier präsentiert werden (können). Nichtsdestotrotz ist es meinem Team hoffentlich wieder gelungen, einen für Sie interessanten Bericht zusammenzustellen.



Insbesondere möchte ich Ihnen in diesem Jahr aus der Breite der wehrwissenschaftlichen Forschung die Beiträge zur „Navigation mit Hilfe von Nutzsensoren“, zur „Evaluation von Formen telechirurgischer Operationsunterstützung in der Einsatzchirurgie“ und zum „Test BISTRIFO RF – Präzisierung der Vogelschlagrisikovorhersage mittels Wetterdaten“ ans Herz legen. Diese Beiträge zeigen aus meiner Sicht, wie nah die wehrwissenschaftliche Forschung am Puls der Zeit ist und wie sich neue Technologien und Erkenntnisse auf die Fähigkeiten der zukünftigen Bundeswehr auswirken könnten.

Mein persönlicher Dank gilt den Autorinnen und Autoren, die zu diesem Jahresbericht beigetragen haben, und Ihnen, den forschungsinteressierten Leserinnen und Lesern, wünsche ich eine anregende Lektüre.

Alexander Schott



Durch Anklicken direkt zum Artikel gelangen

23

Vorwort 05 Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte

Teil 1 13 Wehrtechnische Forschung

- 14 Neural Radiance Fields (NeRF) für Satellitenbilder
- 16 Informationsverteilung im militärischen Verbänden – Weiterentwicklung von Coalition Shared Data für zukünftige Informationsräume
- 18 Leichtgaskanonen als experimentelle Werkzeuge für die Analyse von Wirkmechanismen zur Abwehr neuartiger hypersonischer Bedrohungen
- 20 Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien im Einsatz
- 22 CROWN – Auf dem Weg zu einem europäischen multifunktionalen AESA-System
- 24 MOBIDAR – Ein modernes mobiles Radar zur RCS-Signaturvermessung
- 26 Laserentwicklung für die Wehrtechnik
- 28 Fortschrittliche RF-Halbleitertechnologien für Satellitenkommunikation mit hoher Datenrate
- 30 Metastrukturen für die Steigerung der Quanteneffizienz in Typ-II Übergitterdetektoren für das langwellige Infrarot
- 32 Nutzbarmachung von Data Driven Foresight Ansätzen für die Wehrtechnische Vorausschau WTV
- 34 Fahrzeugintegration des Detektionssystems FORDES zur Erfassung elektromagnetischer Störversuche hoher Leistung
- 36 Anthropozentrisches Cockpit des Next Generation Fighters
- 38 APEX-TD: Ein Technologiedemonstrator für luftatmende Über- und Hyperschallantriebe
- 40 Fertigungstechnologien für radarabsorbierende Strukturen
- 42 Einschätzung der feuchtebedingten Befahrbarkeit von Landoberflächen mittels hochauflösenden Fernerkundungsdaten
- 44 Forschungsinfrastruktur des RSC³ am DLR-Standort Trauen
- 46 Nächste Generation Avionik-Architekturen
- 48 Sicherheit von Raketenstarts – Analyse, Bewertung und Vermeidung von Kollisionsrisiken im maritimen Umfeld sowie im Luft- und Weltraum

- 50 Technologien und Entwurf von Kampfflugzeugen der nächsten Generation im DLR Projekt Diabolo
- 52 Lageerfassung und Überwachung in urbanem Gelände: Optimale Positionierung der Sensoren
- 54 Navigation mit Hilfe von Nutzsignalen
- 56 Neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit energetischer Materialien durch hochauflösende Mikro-Computertomographie
- 58 Ein neuartiger Ansatz zur schnellen Detektion von Oberflächenkontaminationen
- 60 Feldfähige verlegbare Laborinfrastruktur – Ein Win-Win-Projekt für die militärisch/zivile Umsetzung gesetzlich-normativer Vorgaben zum Umgang mit Biostoffen
- 62 Kühlende Beschichtungssysteme für den militärischen Einsatz
- 64 Drohnennavigation ohne GNSS: Untersuchung von Schwarm- und bildbasierten Lokalisierungsmethoden
- 66 Robuste Radartarnmaterialien
- 68 Technologiedemonstration einer verstellbaren Niederdruckturbine für zukünftige Luftfahrtantriebe
- 70 Wasserschalleintrag bei Unterwasserdetonationen
- 72 Smarte Kooperation von Kampfschwimmenden mit autonomen Begleitern
- 74 Erschließung neuer Fähigkeiten: Multifunktionelle RF-Systeme
- 76 Virtuelle Ausbildung am neuen Waffensystem ENFORCER
- 78 3D-Druck von energetischen Materialien
- 80 Zukünftige Energieversorgungskonzepte für Liegenschaften der Bundeswehr: Potentialanalyse für erneuerbare Energien im Inland



Teil 2	83 Wehrmedizinische und Militärpsychologische Forschung
	84 Ökologische Modellierung zur Überwachung der Frühsommer-Meningoenzephalitis
	86 Ein bioartifizielles 3-dimensionales Äquivalent der menschlichen Haut zur Untersuchung von Penetrations- und Diffusionsvorgängen – Neue Möglichkeiten in der Erprobung von Dekontaminationslösungen
	88 Resilient im Inland und im Einsatz – Systematische Evaluation von Maßnahmen zur Resilienzförderung
	90 Zivil-militärische Zusammenarbeit zur Stärkung der europäischen Vorbereitung für terroristische und militärische Szenare mit radioaktiver Strahlung
	92 Militärisches Spin-off – Nutzung von Erkenntnissen der Weltraummedizin für die Landes- und Bündnisverteidigung
	94 Evaluation von Formen telechirurgischer Operationsunterstützung in der Einsatzchirurgie
	96 Stressresilienz durch Exposition in der simulierten Vorsichtung bei Massenanfall von Verletzten (STRESS)
	98 Virtuelle Naturumgebungen in der wehrmedizinischen Versorgung
	100 Innovativer Bluttest zur Erkennung polytraumatisierter Patienten mit Verletzungen der inneren Organe
	102 Neukonzeption der Psychologischen Krisenintervention in der Bundeswehr
Teil 3	105 Militärgeschichtliche und Sozialwissenschaftliche Forschung
	106 Der Sport des Militärs und die sozialwissenschaftliche Evaluation der Invictus Games 2023
	108 Der Stahlhelm – Bund der Frontsoldaten



Teil 4	111 Geowissenschaftliche Forschung
	112 Das GeoInfo-Datenmanagementsystem im ZGeoBw
	114 Test BISTRIFO RF – Präzisierung der Vogelschlagrisikovorhersage mittels Wetterdaten
	116 Interannuelle Schwankungen von Vegetationsbränden auf dem Balkan basierend auf einer hoch aufgelösten Reanalyse des kanadischen Forest Fire Weather Index (FWI)
Teil 5	119 Forschung Cyber / Informationstechnik
	120 CERERE – Resilienz gegen elektromagnetische Cyberangriffe in kritischen Systemen
	122 NATO-Standards für interoperable digitale Sprache mit Push to Talk
Teil 6	125 Forschung mit Bundeswehrbezug an den Universitäten der Bundeswehr
	126 Entwicklung eines Körpermodells und eines Stoßwellengenerators zur Simulation der intrakorporalen Stoßwellenausbreitung nach Explosionen
	128 Taktische Innovation durch Multi-Agenten Training in einer Simulationsumwelt
	130 Tactical Breathing – Stressmanagementtechnik zur Steigerung der Präzision im Schießen
	132 Beschaffungsforschung für die Bundeswehr: Ergebnisse einer internationalen Benchmarking-Studie zum Defence Acquisition Management
	134 Identifikation von Desinformationskampagnen in sozialen Medien
Teil 7	137 Anhang
	138 Adressen und Kontakte
	144 Impressum



1

Wehrtechnische Forschung

Für die wehrtechnische Ressortforschung des BMVg war das letzte Jahr ein Jahr des Umbruchs. Dies betraf sowohl die Organisation als auch die inhaltliche Ausrichtung der Forschung. Während die praktische Durchführung der wehrtechnischen Forschung und Technologie (F&T) im bewährten System aus

- zwei bundeswehreigenen Wehrwissenschaftlichen und sechs bundeswehreigenen Wehrtechnischen Dienststellen,
- der anteiligen Grundfinanzierung bei der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. (FhG) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) sowie dem Deutsch-Französischen Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL) und
- der projektfinanzierten Forschung durch die Vergabe von F&T-Aufträgen und Zuwendungen an Dritte, d. h. an Industrie und Wirtschaft, Universitäten und Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen,

erfolgte, wurden auf der ministeriellen Ebene die Weichen organisatorisch neu gestellt, um die wehrtechnische Forschung des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) noch effizienter zu gestalten und so die Innovationskraft und Zukunftsfähigkeit der Bundeswehr weiter zu erhöhen. Diese Erhöhung der Innovationskraft ist auch eine Forderung der Verteidigungspolitischen Richtlinien 2023. Diese fordern Innovationen schneller und in der Breite für die Bundeswehr verfügbar zu machen.

Mit der von Verteidigungsminister Boris Pistorius beauftragten Reorganisation des BMVg, die am 1. Februar 2024 vollzogen wurde, ist die Verantwortung für die wehrtechnische Forschung und Technologie im BMVg auf den neugegründeten Forschungs- und Innovationshub (FIH) in der Abteilung Planung übergegangen.

Dazu wurden unter dem Forschungs- und Innovationsdirektor die Referate für die wehrtechnische Forschung aus der ehemaligen Abteilung Ausrüstung und das Referat für das Innovationsmanagement aus der Abteilung Planung zusammengefasst und so ein neuer Weg beschritten. Durch die Zusammenlegung dieser Referate in einem in seiner Form im BMVg bisher einmaligen Hub erfolgt auch institutionell die neue unmittelbare Zusammenarbeit zwischen den „Forschenden“ und dem Innovationsmanagement der Bundeswehr. Des Weiteren führt die Verankerung der Forschung beim Bedarfsträger der Bundeswehr, der Abteilung Planung, naturgemäß zu dem für Innovationen in der Bundeswehr notwendigen hohen Vernetzungsgrad zwischen den Forschenden und den späteren Anwendenden, den Soldatinnen und Soldaten der Bundeswehr, und somit auch zu einer noch stärkeren Ausrichtung der Forschung am Bedarf und den Prioritäten der Truppe. Der FIH bildet somit eine Triebfeder, um die erforderlichen Forschungsergebnisse bedarfsorientiert zu generieren und – dort wo notwendig – möglichst schnell aus der Forschung – über das gefürchtete sogenannte Tal des Todes der neuen Technologien – in die Anwendung zu bringen.

Die inhaltliche Ausrichtung der wehrtechnischen Forschung und Technologie ist bereits länger durch die sicherheitspolitischen Entwicklungen der letzten Jahre, wie der völkerrechtswidrige russische Angriffskrieg, aber auch aufgrund von strategischen Vorgaben, wie der Nationalen Sicherheitsstrategie, im Umbruch. Dies äußert sich nun auch zunehmend in den Forschungsergebnissen, so enthält beispielsweise das wehrtechnische Kapitel dieses Jahresberichts keine Beiträge mehr, die sich dezidiert mit typischen Themen der Einsätze im Rahmen des internationalen Krisenmanagements beschäftigen.

Neural Radiance Fields (NeRF) für Satellitenbilder

Satellitenbilder spielen in verschiedenen Bereichen wie Verteidigungsanwendungen, Katastrophenmanagement oder Umweltüberwachung eine entscheidende Rolle. Die Ermittlung von 3D-Informationen ist für viele Anwendungsfälle wie Simulation oder Datenanreicherung unerlässlich. Aufgrund der rasanten Entwicklung der letzten Jahre sind aktuelle Rahmenwerke in der Lage, 3D-Strukturen aus einfachen Satellitenbildern auch für anspruchsvolle reale Szenarien zu rekonstruieren.

Da die bildbasierte Rekonstruktion einen komplexen Prozess darstellt, unterteilen moderne Verfahrensketten die Aufgabe in einzelne Teilprobleme, wie beispielsweise den Abgleich von Merkmalskorrespondenzen, die Schätzung von Kameraposen und die Berechnung von Szenenstrukturen. Insbesondere die Berechnung von Szenenstrukturen ist ein äußerst anspruchsvolles Problem, da noch unklar ist, wie eine optimale Repräsentation ermittelt werden kann. Beispielsweise enthalten Punktwolken inhärent keine Informationen für Bereiche zwischen den Punkten. Andere explizite Darstellungen wie (texturierte) Dreiecksnetze sind für feingranulare Strukturen nur schwer zu berechnen.

Als vielversprechende Alternative haben sich Neural Radiance Fields (NeRF) erwiesen, die eine implizite Szenendarstellung nutzen und eine neuartige Möglichkeit zur Modellierung komplexer Szenen bieten. NeRF-basierte Modelle erfassen nicht nur komplizierte Details der Szenengeometrie, sondern decken auch spezifische Erscheinungsmerkmale, wie Materialeigenschaften und Rückstrahlverhalten unter Berücksichtigung spezifischer Lichtverhältnisse, ab. Daher zeichnen sich NeRF-



Abb. 1: Vergleich eines synthetisierten Bildes (rechts) mit der entsprechenden Grundwahrheit (links)

basierte Modelle besonders bei der Synthese realistischer Bilder für neuartige Ansichten aus.

In den letzten Jahren haben wir ein Framework entwickelt, das auf modernen Methoden aus den Bereichen Structure-from-Motion (SfM) und Multi-View-Stereo (MVS) basiert und in der Lage ist, Satellitenbilder von verschiedenen Zeitpunkten und Sensoren zu rekonstruieren und äußerst wettbewerbsfähige Ergebnisse (in Form von texturierten Dreiecksnetzen) zu erzielen. Aufgrund des enormen Potenzials aktueller NeRF-Modelle haben wir die Pipeline um eine Komponente erweitert, welche die Verwendung von allgemeinen NeRF-Modellen in der Satellitendomäne erlaubt. Da die Satellitendomäne besondere Herausforderungen an Rekonstruktionsverfahren stellt (z. B. große Entfernungen zwischen Kameras und Szene, komplexe Kameramodelle und spezifische Beleuchtungsszenarien), ist dies keine einfache Aufgabe. Unser Framework unterstützt die Anpassung mehrerer wichtiger Aspekte, einschließlich der Anpassung von Kameramodellen, Strahlerzeugung, Koordinatenreferenzsystemen und Modellarchitekturen. Dadurch kann der Integrationsprozess erheblich vereinfacht werden.

Da viele Anwendungsfälle auf metrischen Messungen zwischen verschiedenen Szenenstrukturen beruhen, wurde die Ableitung expliziter Modelldarstellungen untersucht. Eine Gegenüberstellung der rekonstruierten 3D-Strukturen mit Ergebnissen moderner SFM- und MVS-Pipelines lieferte vergleichbare quantitative Ergebnisse.

Derzeit ist die Berechnung von NeRF-Modellen im Vergleich zu modernen SFM- und MVS-Implementierungen relativ aufwändig – sowohl im Hinblick auf den Speicher- als auch auf

den Rechenbedarf. Aufgrund der schnellen Entwicklung in diesem Bereich haben NeRF-basierte Modelle jedoch das Potenzial, die 3D-Rekonstruktion von Satellitenbildern erheblich zu verändern.



Abb. 2: 3D-Punktwolken basierend auf zwei impliziten Szenendarstellungen, rekonstruiert mit einem NeRF-Modell

Informationsverteilung im militärischen Verbänden – Weiterentwicklung von Coalition Shared Data für zukünftige Informationsräume

In multinationalen dimensionsübergreifenden Operationen ist die zeitgerechte Bereitstellung von relevanter Information Basis für abgestimmte Entscheidungen. Da (kaum) eine Nation und keine Dimension über alle Aufklärungsfähigkeiten verfügt, ist Zusammenarbeit unerlässlich. Coalition Shared Data bietet hier eine Lösung, zukünftige Herausforderungen werden in aktuellen Entwicklungen adressiert.

Um in der multinationalen dimensionsübergreifenden Nachrichtengewinnung und Aufklärung Informationen zeit- und bedarfsgerecht verteilen zu können wurde das Konzept Coalition Shared Data (CSD) und seine technische Entsprechung in der STANAG 4559 entwickelt. Ziel ist es hier auf Basis abgestimmter operationeller Prozesse und entsprechend abgestimmter technischer Standards eine nahtlose Bereitstellung von Informationen über den gesamten Aufklärungszyklus hinweg zu ermöglichen.

CSD basiert auf den relevanten Doktrinen des Joint ISR Prozesses (ISR: Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) und des Intel-Cycles (siehe Abb. 1). Dabei werden ausgehend von einem Informationsbedarf in einem multinationalen streitkräftegemeinsamen Verbund Systeme / Personen beauftragt Daten zu sammeln, sie unter bestimmten Gesichtspunkten zu verarbeiten und auszuwerten sowie zu verteilen. Die Auswertergebnisse werden der Analyse und letztendlich einem Lagebild zugeführt und an relevante Stellen weiter verteilt.

CSD unterstützt die Informationsverteilung gemäß dem oben beschriebenen Ablauf. Grundlegend ist folgender Aufbau:



Abb. 1: Intel-Cycle und Joint ISR-Prozess (Eine trennscharfe Begrifflichkeit ist im Deutschen nicht immer verfügbar, da NATO AJP in englischer Sprache als deutsche Vorschrift übernommen werden. Eine Übersetzung findet explizit nicht mehr statt)

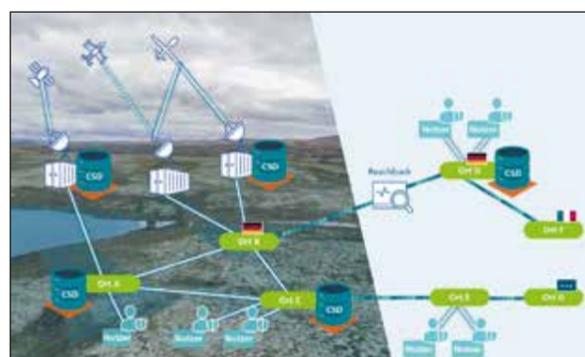


Abb. 2: Bedarfsgerechte Informationsbereitstellung in einem CSD-Verbund (Illustrationen: AdobeStock, 259325121, AleksViking)

In einem Aufklärungsverbund stehen in allen Knoten (an allen Standorten), in denen Daten in größerem Umfang erstellt bzw. abgerufen werden, CSD-Server und -Services gemäß der STANAG 4559 zur Verfügung. Je nach Anforderung können diese lokal auf spezieller Hardware, auf virtuellen Maschinen in einem Rechenzentrum oder auch in einer spezifischen Cloudumgebung unter Anbindung von weiteren Diensten (z. B. Authentifizierung / Autorisierung oder zum Auditing) betrieben werden. Basierend auf Aufträgen erstellen Sensorensysteme Daten (siehe Abb. 2) und verteilen diese an Auswertesysteme, die auch im Heimatland angesiedelt sein können. Die Auswertesysteme erzeugen Auswerteprodukte, wie z. B. annotierte Bilder, Videoclips oder Meldungen / Reports. Die systemübergreifenden Schnittstellen und Formate sind dabei standardisiert, so dass sie von unterschiedlichen Herstellern / Nationen implementiert werden können. Die Daten können miteinander verknüpft (assoziiert) werden, um einen Rückbezug zur Quelle bzw. zum Vorgängerprodukt zu ermöglichen, ebenso werden sie mit dem Auftrag, auf dem sie basieren, verbunden. Von Analysten können diese metadatenbasiert abgerufen werden (siehe Abb. 3). Auch der Datenaustausch zwischen den Knoten / Standorten erfolgt gemäß STANAG 4559 bandbreitenschonend. Um Daten zwischen unterschiedlichen Sicherheitsdomänen verteilen zu können werden CSD-Systeme an entsprechend akkreditierte Dienste angebunden. Die STANAG 4559 ist Teil der NATO ISR Interoperability Architecture (NIIA) und in Teilen in das NATO Federated Mission Networking (FMN) (ab Spiral 3) integriert.

Die bedarfsgerechte Verteilung von relevanten Daten von und zu mobilen Systemen mit schwacher bzw. nicht durchgehender Datenanbindung wird aktuell weiter verbessert. Auch die Ein-



Abb. 3: Datenspeicherung und -verteilung mit einem CSD-Server gemäß STANAG 4559 AEDP-17 (Illustrationen: AdobeStock, 259325121, AleksViking)

bindung zusätzlicher Formate aus verschiedenen Intelligence Bereichen wird verfolgt, ebenso wie technologische Anpassungen an aktuelle Anforderungen im Bereich der IT-Sicherheit. Zunehmend relevant wird wie mit von KI (Künstlicher Intelligenz) erzeugten Daten, Informationen und Modellen umgegangen wird. Insbesondere bei der Informationsgenerierung durch KI-Systeme spielt die Rückverfolgbarkeit von Informationen eine wichtige Rolle. Die geeignete Kennzeichnung und Verknüpfung von KI-generierten Informationen ist daher wesentlich.

Das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB arbeitet sowohl aktiv an der Aktualisierung der relevanten Standards, als auch an der Erweiterung des Gesamtkonzeptes CSD mit. Dabei werden auch aktuelle prozedurale Überarbeitungen wie die Nutzung problemzentrierter Analyse aufgegriffen. Zudem integriert Fraunhofer IOSB CSD-Services im Auftrag des BAaINBw. Die Erkenntnisse zu interoperabler Informationsbereitstellung sollten sinnvollerweise auch in Vorhaben und Initiativen wie die Multidomain-Operationen einfließen.

Dr. Andreas Heine
Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Freiburg

info@emi.fraunhofer.de

Dr. Peter Müller
Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Efringen-Kirchen

info@emi.fraunhofer.de

Leichtgaskanonen als experimentelle Werkzeuge für die Analyse von Wirkmechanismen zur Abwehr neuartiger hypersonischer Bedrohungen

Das Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, untersucht seit mehr als 20 Jahren Wirkmechanismen für die Abwehr ballistischer Raketen durch Direkttreffer von Abfangflugkörpern. Es ist jedoch davon auszugehen, dass neuartige Bedrohungen durch Hyperschallwaffen auch andere Abwehrmechanismen für die Luftverteidigung erfordern. Dazu forscht das Fraunhofer EMI in Speziallaboren mit Leichtgaskanonen.

Bereits etablierte Technologien der Raketenabwehr basieren auf der kinetischen Energie, die beim Direkttreffer eines Abfangflugkörpers auf die abzuwehrende Rakete für die Zerstörung des Gefechtskopfs und der enthaltenen Kampfstoffe zur Verfügung steht. Derartige Interaktionsprozesse werden seit vielen Jahren am Fraunhofer EMI in skalierten Laborversuchen experimentell untersucht. Ihr Verständnis ist eine wesentliche Grundlage für die Weiterentwicklung und Bewertung von diesbezüglichen Luftverteidigungstechnologien sowie für die Validierung von entsprechenden Simulationsmodellen.

Versuche der zuvor beschriebenen Art werden am Fraunhofer EMI mit zweistufigen Leichtgaskanonen durchgeführt. Dabei handelt es sich um Laborbeschleuniger zur Erzielung hoher Geschwindigkeiten von Projektilen von bis zu acht Kilometern pro Sekunde. Zwei solche Anlagen des Fraunhofer EMI sind in Abb. 1 und Abb. 2 dargestellt. In Deutschland sind diese Anlagen einzigartig, und auch weltweit verfügen nur sehr ausgewählte wehrtechnische Institute über entsprechende Versuchsmöglichkeiten, die jedoch für Forschung im Bereich der Luftverteidigung eine wesentliche Voraussetzung sind.



Abb. 1: Große zweistufige Leichtgaskanone des Fraunhofer EMI in Freiburg



Abb. 2: Extragroße zweistufige Leichtgaskanone des Fraunhofer EMI in Efringen-Kirchen

Das Aufkommen von neuartigen hypersonischen Bedrohungen, sogenannten Hyperschallwaffen, macht es erforderlich, die Abwehrmechanismen von Luftverteidigungssystemen zu überdenken und anzupassen. Dies beinhaltet in der Folge auch eine Anpassung der wissenschaftlichen Untersuchungsinstrumente.

Zum einen müssen neuartige Abfangflugkörpermodelle im Laborversuch untersucht werden können. Die Abb. 3 zeigt diesbezüglich ein Untersuchungsbeispiel, in dem ein mittels additiver Fertigung hergestelltes skaliertes Modell eines generischen hypersonischen Abfangflugkörpers auf eine Geschwindigkeit von Mach 5,5 beschleunigt wurde, so dass nachfolgend der Einschlag auf relevante Strukturen experimentell bewertet werden kann.

Auch Splitterwirkungen sind neu als Abwehrmechanismus zu bewerten, wenn infolge einer geringen Flugbahnprognose bei hypersonischen Gleitvehikeln ein Direkttreffer nicht sicher realisiert werden kann. Hierbei muss die Wirksamkeit der Splitter sichergestellt sein, insbesondere wenn relativ große Raumbereiche abzudecken sind und daher eine erfolgreiche Abwehr faktisch auf wenigen Einzelsplintern beruht, die dann eine große Wirkung haben müssen, um angreifende Gefechtsköpfe vollständig zu neutralisieren. Ein solcher im Laborversuch untersuchter Einschlag eines Hypergeschwindigkeitssplitters auf eine luftfahrttypische Struktur ist in Abb. 4 gezeigt.

Zur Steigerung der Effektstärke von Splintern liegt es nahe, zukünftig sogenannte reaktive Werkstoffe in Betracht zu ziehen, die beim Auftreffen mit hohen Geschwindigkeiten zusätzlich zur kinetischen Energie noch weitere Energie infolge chemischer

Reaktionen freisetzen. Derartige reaktive Fragmente werden seit einigen Jahren für wehrtechnische Anwendungen untersucht. Es ist daher von Interesse, insbesondere auch das Verhalten beim Auftreffen auf typische Flugkörperstrukturen und Gefechtskopfmodelle mit Hypergeschwindigkeit im Laborversuch im Detail zu charakterisieren. Die Leichtgaskanonen des Instituts stellen hierbei zentrale experimentelle Werkzeuge dar.

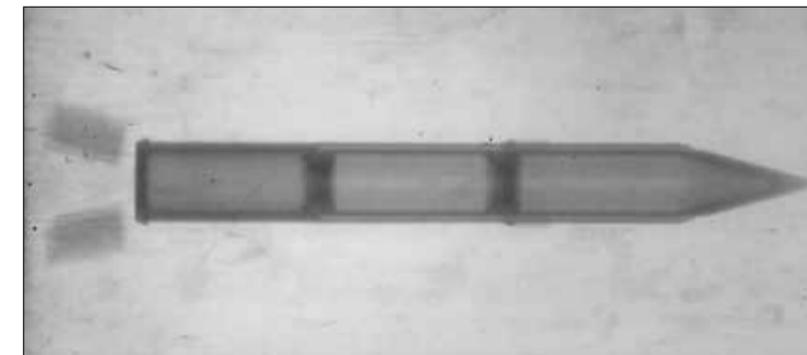


Abb. 3: Kurzzeitrontgenblitzaufnahme eines an einer Leichtgaskanone auf Mach 5,5 beschleunigten hypersonischen Abfangflugkörpermodells

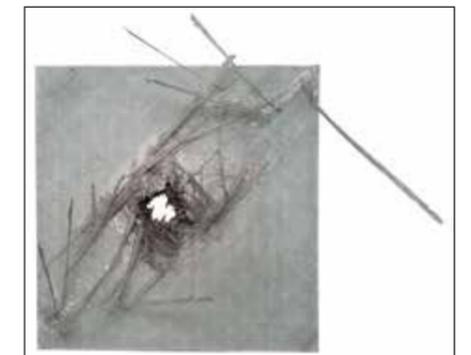


Abb. 4: Mit einem Hypergeschwindigkeitsfragment beschossene Zielstruktur aus Verbundwerkstoff

Dr. Sebastian Schopferer
Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Efringen-Kirchen

info@emi.fraunhofer.de

Dr. Uwe Kerat
Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Efringen-Kirchen

info@emi.fraunhofer.de

Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien im Einsatz

Die Lithium-Ionen(LI)-Technologie ist mittlerweile auch im militärischen Umfeld nicht mehr wegzudenken. Sie findet Anwendung bei Akkupacks für portable Elektronik, Fahrzeugbatterien und großen, stationären Speichern. Das Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI, forscht für mehr Sicherheit dieser Batterien und führt experimentelle Prüfungen mit dem Schwerpunkt dynamischer Lastfälle (Crashverhalten und Beschuss) durch.

Der immer größere Energiehunger elektronischer Geräte an Bord militärische Fahrzeuge – insbesondere in Operationsphasen, in denen der Verbrennungsmotor nicht laufen soll – erfordert Batteriespeicher hoher Kapazität. Aufgrund gegebener Platz- und Gewichtsanforderungen ist der Einsatz von LI-Batterien gegenüber anderen Batterietechnologien sehr vorteilhaft. Allerdings sind diese Batterien anfällig gegenüber Fehlbehandlungen, wie zum Beispiel mechanischen Belastungen, und können im Versagensfall größere Energiemengen sowie Schadstoffe unkontrolliert freisetzen. Batterie- und Fahrzeughersteller sind in der Regel nicht in der Lage, ihre Produkte, speziell in großen Formaten und Fahrzeugen, in Ausnahmesituationen selbst zu testen, um die Auswirkung zu erkennen und letztlich so den Schutz der Soldatinnen und Soldaten zu garantieren.

Das Fraunhofer EMI hat sich auf die Untersuchung von physikalisch-technischen Vorgängen in Werkstoffen, Strukturen und Komponenten spezialisiert, wie sie sich etwa bei Crash oder Impakt ereignen (Abb. 1). In diesem Kontext betreibt das Institut ein Batterieprüflabor für die Durchführung zer-

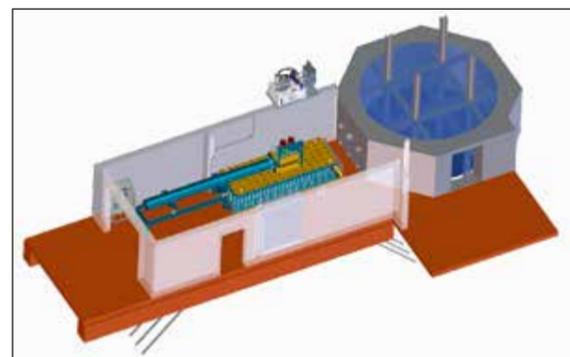


Abb. 1: Der Versuchsbunker des Batterieprüflabors am Fraunhofer EMI ist mit einem Crashbeschleuniger für Schock- und Impakttests an geladenen Batteriesystemen ausgestattet



Abb. 2: Beim Beschuss von Lithium-Ionen-Batterien kann es in Abhängigkeit der Zellchemie zu schlagartiger Brandentstehung und explosionsartiger Freisetzung von heißen Gasen und Partikeln kommen

störender Sicherheitstests zur experimentellen Untersuchung des Versagensverhaltens von Batteriezellen, -modulen und Einhausungen der Hochvoltspeichersysteme.

Hochinstrumentierte, auf die jeweilige Fragestellung zugeschnittene Batteriemissbrauchstests ergeben eine maximale Aussagekraft im Hinblick auf sicherheitsrelevantes Verhalten. In einem feuer- und explosionsfesten Bunker führt das Institut Tests zur thermischen Propagation – der gefürchteten Kettenreaktion innerhalb eines Batteriepacks – an Batteriemodulen und -systemen durch. Beispielsweise können dadurch bei neuen Gehäusekonzepten die Widerstandsfähigkeit gegenüber Batterieinternem Brand sowie die Wirksamkeit propagationshemmender Maßnahmen bewertet und mithilfe von Simulationsmodellen optimiert werden. Mit selbst entwickelter Hochgeschwindigkeits-Röntgentechnik kann die zellinterne Dynamik während des thermischen Durchgehens mit mehreren Tausend Bildern pro Sekunde erfasst werden.

Für einen sicheren Einsatz von LI-Batterien in der Bundeswehr müssen zusätzlich wehrtechnische Belastungen – wie Beschuss oder Anspannung eines Fahrzeugs – betrachtet und geprüft werden. Das Gefährdungspotenzial unter diesen Sonderlastfällen sowie geeignete Schutzmaßnahmen können am Fraunhofer EMI dank einzigartigem Portfolio an Versuchstechnik untersucht werden (Abb. 2). In den vergangenen Jahren wurden hier Experimente mit kleinen, an der Person getragenen Batteriepacks durchgeführt. Die Versuchsanlagen wurden erweitert, um die Experimente auf größere, in militärischen Fahrzeugen einsetzbare Batterien auszuweiten.



Abb. 3: Der Batteriekasten in einem gepanzerten Fahrzeug zur sicheren Kapselung von Lithium-Ionen-Batterien stellt eine wichtige Schutzeinrichtung für die Insassen dar



Abb. 4: Lithium-Ionen-Batterie im NATO-6T-Format, nachdem das thermische Durchgehen einer Zelle für den Sicherheitstest im Fahrzeug gezielt provoziert wurde

2023 wurde ein gepanzertes Fahrzeug getestet, welches mit drei LI-Batterien im NATO-6T-Format ausgestattet ist (Abb. 3). Batterien des verbauten Typs stoßen im Falle eines thermischen Durchgehens von Zellen toxische Gase und Partikel aus. Dies könnte bei Überhitzung, extremen Belastungen, aber in seltenen Fällen auch ohne externe Fremdeinwirkung geschehen. Es bestünden Vergiftungsgefahr durch CO, CO₂ etc. sowie eine Einschränkung der Sicht durch die Rauchgase. Zum Schutz der Fahrzeuginsassen sind die Batterien in Metallgehäusen gekapselt, welche mit Ausblasöffnungen versehen sind. Diese Schutzeinrichtung auf Funktionsfähigkeit zu überprüfen war die Aufgabe des Fraunhofer EMI im Auftrag der WTD 41. Ein thermisches Durchgehen der Batterien wurde gezielt provoziert (Abb. 4), das Fahrzeug mit hochempfindlichen Gassensoren und Kamerasystemen innen und außen überwacht. Der Verlauf und die Auswertung des Versuchs haben gezeigt, wie wichtig es ist, dass bei der Batterie-Einhausung auf eine stabile Ausführung und einen Funktionsnachweis unbedingt Wert gelegt werden sollte.

Dr. Pascal Marquardt
 Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
 Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

Dr. Sebastian Durst
 Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
 Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

CROWN – Auf dem Weg zu einem europäischen multifunktionalen AESA-System

Radare, elektronische Kampfführung und Kommunikation sind drei wichtige Funktionen von modernen multifunktionalen RF-Systemen (RF: Radio Frequency). Im EU-Projekt CROWN wird ein Demonstrator entwickelt, der dies sogar gleichzeitig mit einem Gerät bzw. einer Antenne durchführen kann. Das Fraunhofer FHR entwickelt für das Projekt das Ressourcenmanagement, welches sich in einigen Punkten grundlegend von klassischen Ansätzen unterscheidet.

Wie entscheidend der Schutz vor Drohnenangriffen für die Sicherheit und den Erhalt der Infrastruktur eines Landes ist, zeigt aktuell der Krieg in der Ukraine. Für Deutschland und Europa soll das Projekt „European active electronically scanned array with Combined Radar, cOMmunications, and electronic Warfare fuNctions for military applications“ kurz CROWN deutlich mehr Sicherheit schaffen. Das in dem Projekt entwickelte System für Drohnen und Kampfflugzeuge vereint drei Grundfunktionen: Radar, Kommunikation und elektronische Kampfführung. CROWN wird es sogar ermöglichen alle diese Funktionen bei Bedarf gleichzeitig auszuführen.

Die Kombination dieser Funktionen ist bisher einmalig in einem europäischen System, an dessen Konzept auch das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR beteiligt ist. Im Auftrag der EU-Kommission im Rahmen der Preparatory Action on Defence Research (PADR) 2019 arbeitet das FHR seit 2021 mit zehn europäischen Partnern aus Industrie und Forschungseinrichtungen zusammen.



Abb. 1: CROWN vereint die Funktionalitäten Radar, elektronische Kampfführung und Kommunikation in einem System mit der Randbedingung einer europäischen Lieferkette

Dr. Stefan Brüggewirth
 Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
 Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

Eine der größten Herausforderungen ist dabei die Integration der drei Grundfunktionen in ein einziges kompaktes und leichtes Gerät. Zudem soll aufgezeigt werden, wie eine EU-Lieferkette in Bezug auf kritische Verteidigungstechnologien und insbesondere für den Bereich der multifunktionalen RF-AESA-Systeme sichergestellt werden kann, um langfristig unabhängig zu werden.

Das FHR entwickelt dabei das Ressourcenmanagement für CROWN. Dieses ist notwendig, um eine optimale Ausnutzung aller verfügbaren Ressourcen auch in kritischen Situationen zu gewährleisten. Die betrachteten Ressourcen sind klassischerweise die Zeit auf der Antenne, aber auch die verfügbare Energie oder die benötigte Rechenleistung. CROWN fügt dem eine weitere Dimension hinzu. Das System soll auf verschiedenen Teilen der Antenne verschiedene Aufgaben gleichzeitig durchführen können. Dadurch gibt es nun auch die Ressource Antennenanteil.

Die Ressourcenallokation basiert auf einem Quality-of-Service-Ansatz welcher seinen Ursprung in der Telekommunikation hat und mittlerweile in vielen Bereichen erfolgreich eingesetzt wird. Dabei entsteht ein Optimierungsproblem, welches im Normalfall nur mit hohem Rechenaufwand zu lösen ist. Für eine effizientere Lösung verwendet das FHR Methoden aus dem Bereich

der Künstlichen Intelligenz (KI) wie zum Beispiel Reinforcement-Learning. Um das Problem der Zuteilung der Antennenelemente zu lösen, wurde ein Verfahren entwickelt, das auf einer weiteren modernen Methode basiert, die für KI eingesetzt wird, dem Monte-Carlo-Tree-Search.

Solange CROWN noch nicht für den operationellen Einsatz bereit ist, validiert das FHR das Ressourcenmanagement mit Unterstützung der Simulationsumgebung CoRaSi. Dieser Cognitive Radar Simulator wird seit 2016 am FHR stetig weiterentwickelt. Damit ist es möglich, nahezu jedes bestehende und zukünftige RF-System virtuell abzubilden. In beliebigen Szenarien können neue Algorithmen wie Tracking, Klassifikation und eben auch Ressourcenmanagement getestet werden.

Die Funktionsfähigkeit des CROWN-Demonstrators wird der European Defence Agency (EDA) und den Verteidigungsministerien der sieben beteiligten Nationen im Rahmen einer Labordemonstration im Februar 2024 präsentiert werden. Dies stellt gleichzeitig den Abschluss des Projekts dar, darüber hinaus streben alle Projektpartner ein Folgeprojekt an. Eine zukünftige Einsatzmöglichkeit des Systems ist zum Beispiel das zukünftige europäische Luftkampfsystem (FCAS), an dem mehrere Fraunhofer-Institute beteiligt sind.

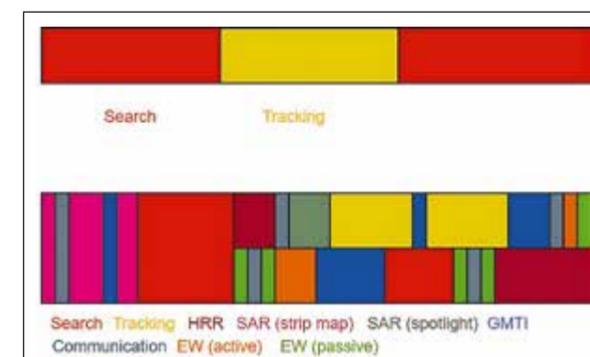


Abb. 2: Timeline eines klassischen Radarsystems (oben) gegenüber einer komplexen Timeline, die durch CROWN ermöglicht wird (unten)

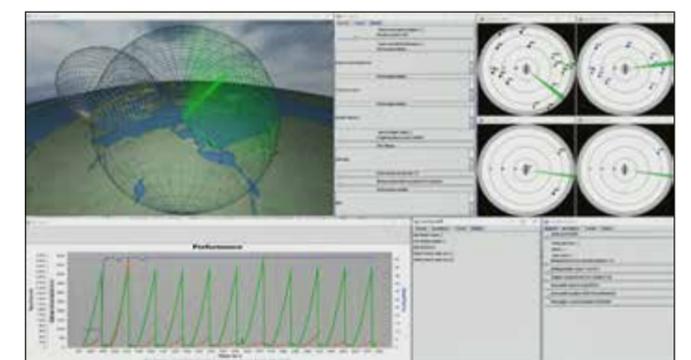


Abb. 3: Benutzeroberfläche des kognitiven Radarsimulators CoRaSi

Dr. Rolf Schumacher
Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

Dr. Tanja Bieker
Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

MOBIDAR – Ein modernes mobiles Radar zur RCS-Signaturvermessung

Das Radarsystem MOBIDAR wurde am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik (FHR) Wachtberg im Kontext der Nichtkooperativen Zielidentifizierung entwickelt. Mit diesem bodengebundenen mobilen System ist es möglich, Flugzeuge direkt im Flug zu vermessen. Neben dem Radarquerschnitt RCS (Radar Cross Section) können ebenso hochaufgelöste 1D- und 2D-Signaturen gemessen werden. Das System wurde bei mehreren nationalen und internationalen Messkampagnen erfolgreich eingesetzt.

Das FHR-System MOBIDAR ist ein mobiles Multiband-Radarsystem und wurde ursprünglich zur Gewinnung von hochaufgelösten Radarsignaturen von Flugzeugen und Schiffen für Referenzdatenbanken im Rahmen der nicht-kooperativen Ziel-Identifizierung konzipiert und entwickelt. Neben hochaufgelösten 1D-HHR-Profilen (HHR: High-resolution hyper-spectral image) und 2D-ISAR-Bildern (ISAR: Inverse Synthetic Aperture Radar) bildet die Ableitung und Bestimmung des Rückstreuquerschnitts der vermessenen Ziele eine weitere wichtige Größe für deren Charakterisierung, Identifizierung und Klassifizierung. Abb. 1 zeigt als Beispiel das ISAR-Bild eines Flugzeuges. Man erkennt dabei deutlich die stark reflektierenden Teile des Flugzeuges („Hot Spots“), deren Position und Stärke sich sehr gut als Merkmale für die Zielidentifizierung eignen.

Seit 2009 wurde das System in mehreren Stufen weiterentwickelt und ausgebaut: ausgehend von einem monostatischen X-Band-System mit einer Antenne, die als Sende- und Empfangsantenne diente, umfasst das System in der aktuellen Version insgesamt acht Frequenzbänder zwischen 2 und 18 GHz mit

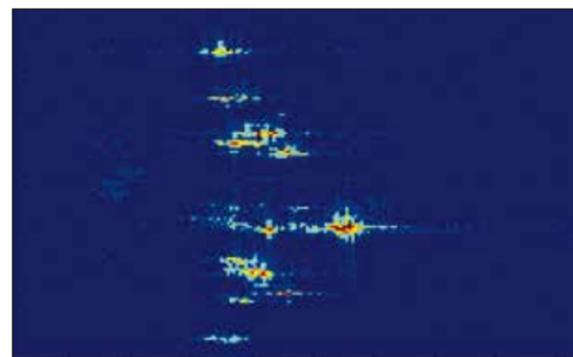


Abb. 1: ISAR-Darstellung eines mit MOBIDAR gemessenen Flugzeuges

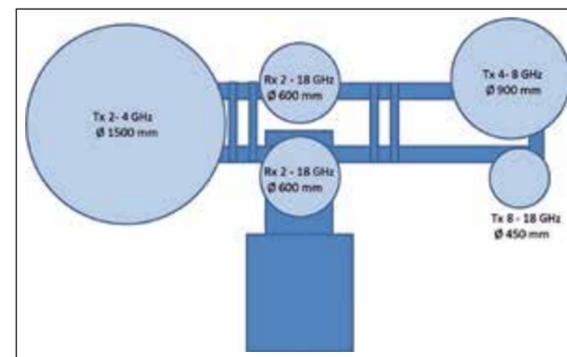


Abb. 2: Anordnung der Sende- und Empfangsantennen

Thomas Rheinhard
Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

Bandbreiten von 500 MHz bis 1 GHz, so dass Entfernungsauflösungen bis zu 15 cm erreicht werden können. Weiterhin bietet sich die Möglichkeit bei konstanter Sendepolarisation horizontale und vertikale Empfangspolarisation simultan aufzuzeichnen, um so die polarimetrischen Eigenschaften des Zieles abzubilden. Abb. 2 zeigt die Antennenkonfiguration des Systems in der aktuellen Version mit drei Sende- und zwei Empfangsantennen.

Das Gesamtsystem (Abb. 3) besteht aus einem Anhänger und einem Messbus und umfasst folgende Komponenten: der auf dem Anhänger platzierte Antennenpositionierer trägt maximal zwei Verstärkerröhren (S-, C-, X-, Ku-Band), die Antennen und eine leistungsstarke optische Kamera zur visuellen Darstellung des zu messenden Zieles. Die Zielverfolgung wird entweder über ein externes Track-Radar oder über den Empfang und die Nutzung diverser Datenquellen (AIS / ADS-B / MODE-S) realisiert. Das Frontend des Radars mit Analog- und Digitalteil sowie der Datenaufzeichnung bildet das Herzstück des Systems. Die Bedienung des Systems erfolgt aus einem Messbus, der mit entsprechender Infrastruktur zur Darstellung und Analyse der Messdaten ausgestattet ist.

Als ausgesendete Wellenform wird bei MOBIDAR in der Regel ein Up-Chirp verwendet, dessen Generierung über einen FPGA



Abb. 3: Das Radarsystem MOBIDAR

(Field Programmable Gate Array) im Basisband erfolgt und anschließend in das entsprechende Band gemischt wird. Je nach Aufgabenstellung können verschiedene Wellenformen ausgewählt werden. Unter Nutzung des Deramping-Verfahrens kann das empfangene Signal schließlich mit einem am FHR entwickelten Aufzeichnungssystem abgetastet und aufgezeichnet werden. Mit einer Bandbreite bis zu 1 GHz, einer Pulsdauer bis zu 20 Mikrosekunden und einer Pulswiederholfrequenz bis 5 kHz ist MOBIDAR damit ein weitgehend softwaregesteuertes Radarsystem. Das insgesamt sehr reine Signal („Spurious-free dynamic range“ > 50dB) und die 16 bit-ADC-Aufzeichnungseinheit liefern Daten hoher Qualität bei einer großen Dynamik und Phasenstabilität.

Das System hat sich bereits bei mehreren nationalen Messkampagnen (BALTIC-CLOUD 2017 / 2019 und 2023) sowie einer NATO-Messkampagne 2013 zur Messung von Flugzeugen, UAS und Schiffen bewährt. Neben dem RCS der Flugzeuge ist auch die Vermessung von Stör- und Täuschkörpern von herausragender Bedeutung. Abbildung 04 zeigt beispielhaft eine Messung von Täuschkörpern während der nationalen Wirksamkeitsuntersuchung BALTIC CLOUD. Dabei sind die Rückstreuprofile qualitativ im zeitlichen Verlauf dargestellt.

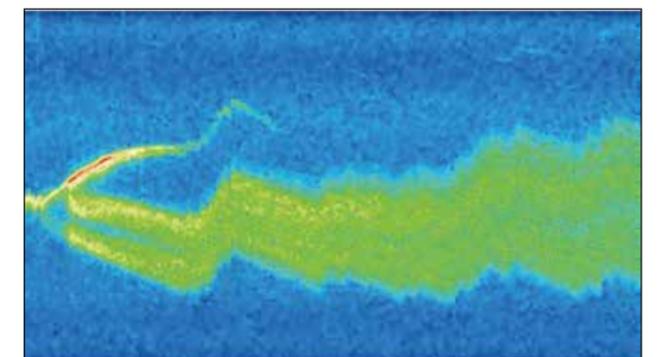


Abb. 4: Beispiel einer RCS-Messung von Täuschkörpern: zeitlicher Verlauf der Rückstreuprofile

Dr. Till Walbaum
 Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
 Jena

Friedrich Möller, M.Sc.
 Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
 Jena

info@iof.fraunhofer.de

info@iof.fraunhofer.de

Laserentwicklung für die Wehrtechnik

Durch Laser können Bedrohungen kosteneffizient neutralisiert werden, bei Wellenlängen oberhalb 2 µm ist die Gefahr von Kollateralschäden dabei reduziert. Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF konnte durch optimiertes Design Thuliumfaserlaser bei 2 µm mit mehr als der doppelten Leistung kommerzieller Systeme realisieren. Durch spektrale Kombination wurde die Gesamtleistung auf einen neuen Rekordwert von 1,9 kW erhöht.

Der Laser als Wirkmittel in der Verteidigung erfährt wachsendes Interesse aufgrund seiner Präzision, Dosierbarkeit und Kosteneffizienz. Insbesondere in der Abwehr von preisgünstigen Objekten wie zum Beispiel Drohnen (-schwärmen, Abb. 1) zeigt sich der Vorteil geringer Einsatzkosten: während lenkflugkörperbasierte Verteidigungen hohe Kosten im Bereich mehrerer zehntausend Euro und darüber pro abgewehrtem Objekt verursachen, lassen sie sich mit dem Laser für unter zehn Euro pro Schuss neutralisieren. Die Gefahr durch Fehlschüsse ist gering, da das Laserlicht den gleichen Weg nimmt wie das Licht aus der Zielbeobachtung – der Laser trifft also genau den anvisierten Punkt. Dennoch besteht eine Gefahr von Kollateralschäden, da bei den üblicherweise verwendeten Hochleistungslasern auf Ytterbiumbasis bereits kleine Reflexionen eines starken Laserstrahls bleibende Schäden am Auge verursachen können. Für den Einsatz zum Beispiel in urbanem Umfeld werden daher Laser benötigt, welche aufgrund ihrer Wellenlänge nur eine deutlich reduzierte Gefährdung durch reflektiertes und gestreutes Licht verursachen. Ein solcher Laser ist der Thuliumfaserlaser, welcher im Wellenlängenbereich um 2 µm arbeitet.



Abb. 1: Laserbasierte Abwehr eines Drohnenschwarms

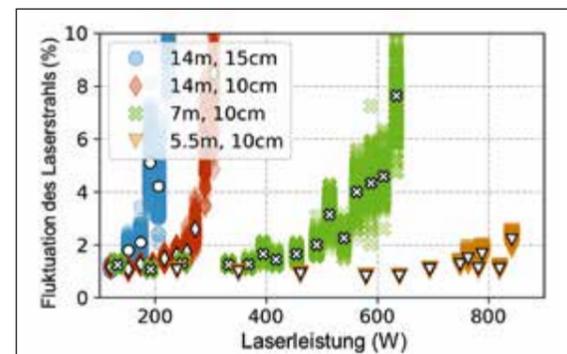


Abb. 2: Fluktuation des Laserstrahls in % in Abhängigkeit der Laserleistung für verschiedene Designvarianten (Faserlängen und -biegung)

Dr. Nicoletta Haarlammert
 Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
 Jena

info@iof.fraunhofer.de

Dr. Thomas Schreiber
 Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
 Jena

info@iof.fraunhofer.de

Am Fraunhofer IOF wurden in den vergangenen Jahren daher Thuliumfaserlasersysteme entwickelt, welche in die Leistungsklasse von Ytterbiumfaserlasern vorstoßen.

Hierzu wurde zunächst untersucht, inwieweit Effekte, die bei Ytterbiumfaserlasern die Ausgangsleistung limitieren, auch bei Thuliumfaserlasern auftreten. Ein solcher Effekt sind sogenannte Modeninstabilitäten, bei denen ein Laserstrahl ab einer bestimmten Leistung seine stabile Form verliert und zu fluktuieren beginnt. Dieser Effekt kann durch zunehmende Strahlvariationen erkannt werden. Wie in Abb. 2 zu sehen, wurde der Effekt auch beim Thuliumfaserlaser beobachtet (Anstieg der Kurve bei bestimmten Leistungen) und konnte durch Designanpassungen deutlich zu hohen Leistungen verschoben werden (orangene Daten, im Vergleich zur den blauen Daten). Somit konnten Einzelleistungen über 840 W gezeigt werden, mehr als doppelt so viel wie kommerziell verfügbar (Abb. 3).

Um die Leistung weiter zu erhöhen, wurden drei Lasersysteme spektral kombiniert. Dabei werden Laser mit leicht unterschiedlicher Wellenlänge unter verschiedenen Winkeln auf ein Beugungsgitter gelenkt und dort zu einem einzigen Strahl vereint (Abb. 4). Am IOF wurden hierzu hochleistungstaugliche Beugungsgitter als Kombinationselemente entwickelt, welche bei 2 µm Wellenlänge kommerziell nicht verfügbar sind. Mit Hilfe

dieser Gitter konnten die Lasersysteme bei konstant exzellenter Strahlqualität kombiniert werden und eine Ausgangsleistung von über 1,9 kW erzeugt werden (Abb. 5) – beinahe das doppelte des vorherigen Leistungsweltrekordes in diesem Wellenlängenbereich.

Zur Sicherstellung der strategischen Autonomie, um also die Unabhängigkeit von Importen zu verstärken, werden am IOF eigene hochleistungstaugliche thuliumdotierte Fasern entwickelt. Das IOF verfügt hierzu über die gesamte Prozesskette, ist also für keinen der Teilschritte auf externe Zuarbeit angewiesen.

Mit Hilfe der eigenen Fasern, Beugungsgitter und Faserkomponenten und durch weitere Designverbesserungen kann das IOF die Leistung in den nächsten Jahren weiter in den multi-kW-Bereich erhöhen und potenziell eine Laserquelle für risikoreduzierten Einsatz zur Abwehr von Flugkörpern, Minen und IEDs bereitstellen.

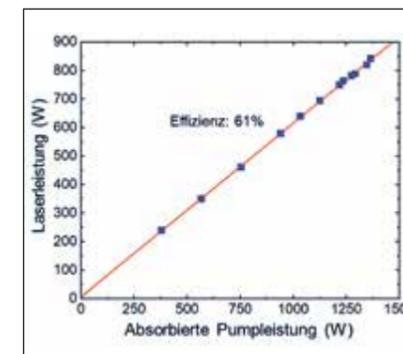


Abb. 3: Ausgangsleistung eines einzelnen Thuliumfaserlasersystems

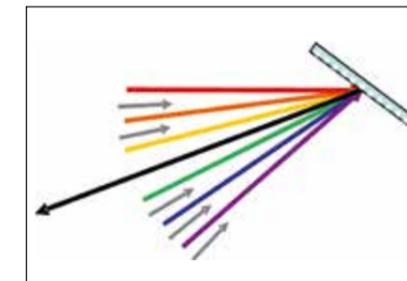


Abb. 4: Prinzipskizze zur spektralen Kombination: Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge fallen unter verschiedenen Winkeln auf ein Beugungsgitter und werden zu einem einzigen Strahl kombiniert

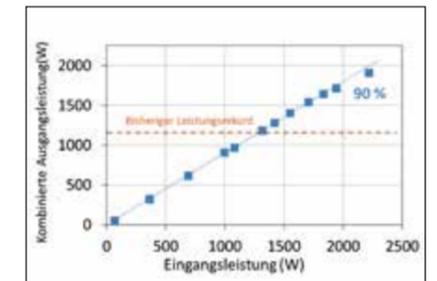


Abb. 5: Ausgangsleistung der spektralen Kombination gegen Eingangsleistung: 90 % Kombinationseffizienz, bisheriger Leistungsrekord oberhalb 2 µm Wellenlänge in Orange

Fortschrittliche RF-Halbleitertechnologien für Satellitenkommunikation mit hoher Datenrate

Hochgeschwindigkeits-Satellitenkommunikation ist für die militärische Kommunikation von entscheidender Bedeutung, da sie einen schnellen und sicheren Informationsaustausch über große Entfernungen ermöglicht. Durch fortschrittliche Halbleitertechnologien, wie metamorphe High-Electron-Mobility-Transistoren (mHEMT) aus Indiumgalliumarsenid (InGaAs) und HEMT aus Galliumnitrid (GaN), erzielen Hochfrequenz-(RF-)Frontends signifikante Geschwindigkeits- und Effizienzvorteile in der Datenübertragung.

Die Satellitenkommunikation im E-Band (71–74 GHz und 81–84 GHz; basierend auf dem NATO Joint Civil / Military Frequency Agreement (NJFA)) bietet einen entscheidenden Vorteil durch ihre außergewöhnlichen Bandbreitenkapazitäten. Durch den Betrieb bei höheren Frequenzen im Vergleich zu den traditionellen Kommunikationsbändern ermöglicht das E-Band die Übertragung großer Datenmengen mit beispiellosen Geschwindigkeiten sowohl für Festnetzsatellitendienste (FSS) als auch für mobile Satellitendienste (MSS). Diese hohe Bandbreite ist unerlässlich für Verteidigungsanwendungen, bei denen der schnelle Austausch von Daten, einschließlich Videoübertragungen, Sensorinformationen und Echtzeit-Aufklärung, für die fundierte Entscheidungsfindung von größter Bedeutung ist. Darüber hinaus kann die Bereitstellung von E-Band-Satelliten (siehe Abb. 1) im niedrigen Erdorbit (LEO) die Latenz im Vergleich zu geostationären Erdorbits (GEO) erheblich verringern und somit einen strategischen Vorteil bieten.

Um das volle Potenzial der E-Band-Kommunikation in Verteidigungsanwendungen auszuschöpfen, ist der Einsatz fortschrittlicher Halbleitertechnologien für die Sende- und Empfangskette

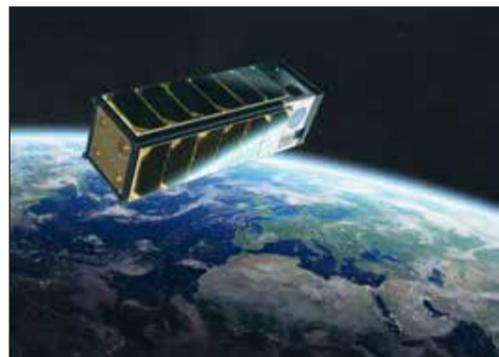


Abb. 1: E-Band CubeSat

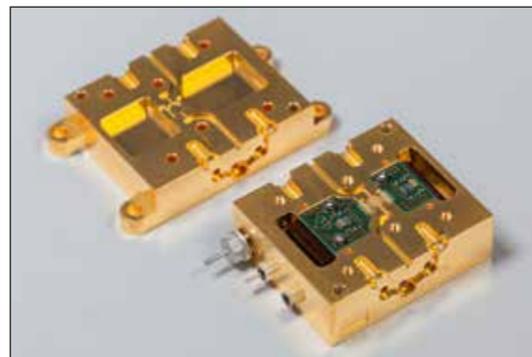


Abb. 2: E-band Modul

unverzichtbar. In diesem Zusammenhang spielen InGaAs-mHEMT- und GaN-HEMT-Technologien eine entscheidende Rolle bei der Gewährleistung von Zuverlässigkeit, Effizienz und Sicherheit von Kommunikationssystemen.

Die InGaAs-mHEMT-Technologie des Fraunhofer-Institut für angewandte Festkörperphysik IAF bietet die Möglichkeit, Front-End-Module (siehe Abb. 2) für Empfängerketten mit herausragender Empfindlichkeit für robuste Kommunikationsverbindungen im E-Band zu entwickeln, die für Verteidigungsanwendungen von entscheidender Bedeutung sind.

Die Technologie ermöglicht der Sendeeinheit, auch potenziell bei niedrigeren RF-Leistungspegeln zu arbeiten, während gleichzeitig eine zuverlässige Signalübertragung sichergestellt wird. Das führt zu energieeffizienteren Kommunikationssystemen, da der Stromverbrauch des Hochleistungsverstärkers in der Sendekette minimiert werden kann. Im Rahmen der derzeit laufenden Forschungsarbeiten zeigt ein Verstärkermodul auf Basis des Fraunhofer IAF 50 nm mHEMT-Prozesses zwischen 81 und 84 GHz eine Rauschzahl unter 2,5 dB Verstärker-Chip (siehe Abb. 3). Ziel ist es, ein duales Verstärkermodul mit ähnlicher Rauschzahlleistung für zirkulare Polarisierung zu entwickeln, was zu einer erheblichen Leistungssteigerung führen würde.

Die GaN-HEMT-Technologie des Fraunhofer IAF ergänzt die InGaAs-mHEMT-Technologie ideal und bietet eine hohe Leistungsdichte und Effizienz bis hin zu Millimeterwellenfrequenzen, wodurch sie sich hervorragend für Verteidigungsanwendungen eignet.

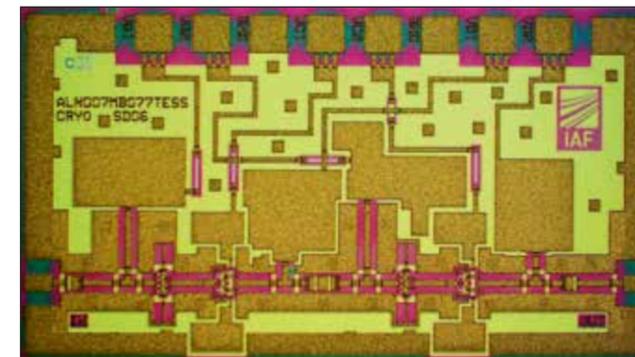


Abb. 3: InGaAs-mHEMT rauscharmer Verstärker MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)

GaN-HEMT-Bauteile bieten robuste und resiliente Kommunikationsverbindungen, selbst unter schwierigen Betriebsbedingungen. Im Rahmen aktueller Forschungsarbeiten wurden Hochleistungsverstärkermodule demonstriert, die eine Ausgangsleistung von über 2 W erreichen. Ziel ist es, in naher Zukunft 4 W aus einem einzigen MMIC zu erreichen und den Wirkungsgrad im Vergleich zu den vorherigen Leistungsverstärkergenerationen deutlich zu verbessern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die E-Band-Satellitenkommunikation für Verteidigungsanwendungen bahnbrechend ist und bisher beispiellose Bandbreiten und Datenraten ermöglicht. Um diese Vorteile voll nutzen zu können, ist der Einsatz fortschrittlicher Halbleitertechnologien, insbesondere metamorpher InGaAs-HEMT und GaN-HEMT, unerlässlich. Diese Technologien bewältigen nicht nur die Herausforderungen, die mit der Hochfrequenzkommunikation in Verteidigungsszenarien verbunden sind, sondern spielen auch eine entscheidende Rolle bei der Gewährleistung der Effizienz, Zuverlässigkeit und Sicherheit von Kommunikationssystemen für militärische Anwendungen.



Abb. 4: SatCom Anwendungsszenario (Quelle: Boevaya mashina, BSdynM at TdBw Brandenburg 2023, CC BY-SA 3.0)

Metastrukturen für die Steigerung der Quanteneffizienz in Typ-II Übergitterdetektoren für das langwellige Infrarot

Metastrukturen werden hinsichtlich ihrer Eignung untersucht, die Quanteneffizienz und das Signal-Rausch-Verhältnis von Infrarotkameras zu steigern, die auf Typ-II Übergitterdetektoren basieren. Metastrukturen sind kleine periodische Strukturen auf den jeweiligen Pixeln, die eine bessere Absorption und Signalkonversion erlauben als in konventionellen Pixeln mit unstrukturierter Oberfläche möglich.

Hochleistungsfähige Nachtsichttechnologie ist essentiell für Soldaten, Fahrzeuge und fliegende Systeme und erfordert geeignete Infrarot-Detektortechnologie. Das atmosphärische Transmissionsfenster des langwelligen Infrarots (LWIR; 8 – 12 μm) ist besonders relevant, da die thermische Abstrahlung gewöhnlicher Objekte in diesem Bereich ihr spektrales Maximum aufweist.

Am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF werden InAs/GaSb Typ-II Übergitter (T2SLs) als Detektormaterial für das LWIR erforscht. Das Ziel der Forschung ist die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses der Detektoren. Die Optimierung der Quanteneffizienz (QE), der Anteil der einfallenden Photonen, der absorbiert wird und danach zum messbaren Photosignal beiträgt, stellt eine Möglichkeit hierfür dar.

Ein gangbarer Weg für die QE-Steigerung ist der Einsatz von Metastrukturen auf den jeweiligen, mesa-strukturierten Detektorpixeln. Bei Metastrukturen handelt es sich um kleine, periodisch angeordnete Topographieänderungen, die durch

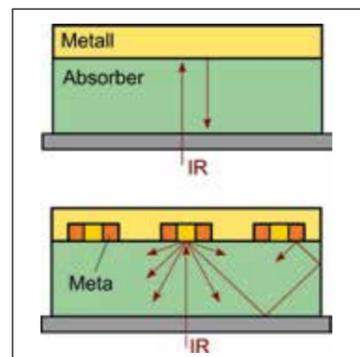


Abb. 1: Schemazeichnung des Absorptionsprozesses in einem konventionellen Detektor (oben) und einem Detektor mit Metastrukturen (unten)

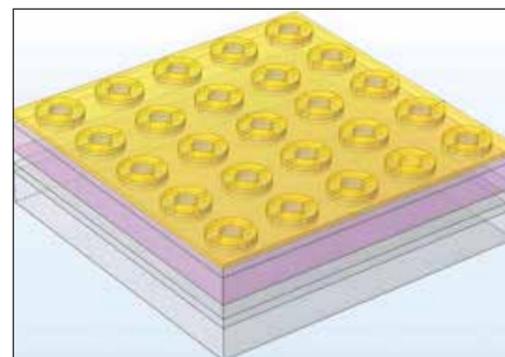


Abb. 2: Schemazeichnung einer Detektormesa mit ringförmigen Metastrukturen an der Oberfläche

Beugungs- und plasmonische Effekte eine bessere Kopplung des einfallenden Strahlungsfelds an den Detektor und somit eine verstärkte Absorption ermöglichen. Der Effekt der Metastrukturen auf den Absorptionsprozess ist in Abb. 1 dargestellt. In konventionellen Detektoren wirkt die Frontseitenmetallisierung als Spiegel, der einen Doppeldurchgang der einfallenden Strahlung erlaubt. Metastrukturen führen bildlich gesprochen hingegen zu einer Ablenkung der einfallenden Strahlung, was deren Absorptionswahrscheinlichkeit im Detektor erhöht.

Die Auslegung einer geeigneten Metastrukturgeometrie erfordert umfassende Modellierungsarbeiten. Die optimale Metastrukturgeometrie für die QE-Steigerung hängt von der Detektorgeometrie und den Materialeigenschaften wie dem Absorptionskoeffizient und dem Brechungsindex ab. Beim gewählten Ansatz werden ringförmige Metastrukturen untersucht, deren Größe und Abstand durch vier Parameter beschrieben werden. Eine Schemazeichnung einer Detektormesa mit ringförmigen Metastrukturen findet sich in Abb. 2.

Im Rahmen der Modellierung wird zunächst die elektrische Feldverteilung im Detektorvolumen in Abhängigkeit der iterativ modifizierten Geometrieparameter der Metastrukturen bestimmt. Hieraus werden die jeweiligen QE-Spektren berechnet, die nachfolgend weitergehend analysiert werden.

In Abb. 3 sind die QE-Spektren eines konventionellen Detektors und eines Detektors mit Metastrukturen vergleichend dargestellt. Für die in diesem Fall untersuchte Detektorgeometrie steigt der Mittelwert der spektral integrierten QE durch den Einsatz von Metastrukturen von 35 % auf 55 %, was einer relativen Erhöhung von 57 % entspricht. Durch den Einsatz der

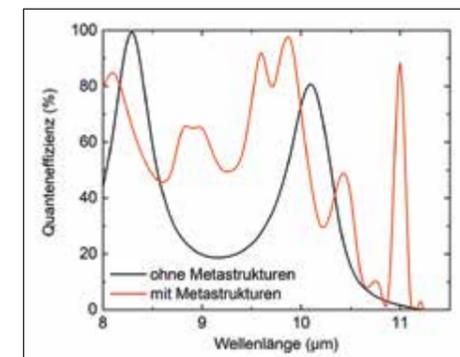


Abb. 3: QE-Spektren eines konventionellen Detektors und eines Detektors mit Metastrukturen

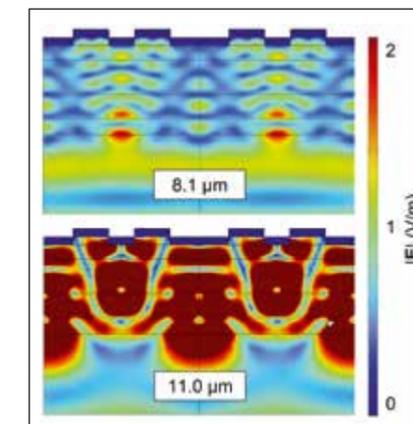


Abb. 4: Verteilung der Absolutwerte der elektrischen Feldstärke im Querschnitt durch den meta-strukturierten Detektor bei zwei exemplarischen Wellenlängen

Metastrukturen entstehen eine Vielzahl an Peaks im QE-Spektrum, unter anderem bei 8.1 μm und bei 11.0 μm .

In Abb. 4 sind die Verteilungen der Absolutwerte der elektrischen Feldstärke im Querschnitt durch den Detektor mit Metastrukturen an den beiden exemplarischen Spektralpositionen gezeigt. Der Peak um 8.1 μm ist die Folge eines Beugungseffekts, wohingegen der Peak um 11.0 μm einem plasmonischen Effekt zugeordnet werden kann.

Die Modellierungsergebnisse demonstrieren das Potential zur QE-Steigerung von T2SL LWIR Detektoren durch den Einsatz von Metastrukturen, deren Auslegung umfassende Modellierungsarbeiten erfordert. Die vorgestellte Methodik kann vergleichbar für andere Detektorgeometrien, Materialien, Spektralbereiche und Optimierungsziele eingesetzt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Metastrukturen ein wichtiger Beitrag für die Entwicklung leistungsfähigerer Nachtsichttechnologie sein können.

Nutzbarmachung von Data Driven Foresight Ansätzen für die Wehrtechnische Vorausschau WTV

Wie kann man den Prozess der Technologiefrühaufklärung durch die Nutzung von Daten effektiver und einsichtsvoller gestalten? Kann man diesen Prozess vielleicht auch (teil-)automatisieren? Welche Rolle könnten künftig KI-Technologien und Large Language Modelle spielen? Diese wissenschaftlichen Fragestellungen untersucht das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT seit einigen Jahren und hat zu diesem Zweck das Analysetool KATI (Knowledge Analytics for Technology & Innovation) entwickelt.

Das Fraunhofer INT betreibt seit vielen Jahren Technologiefrühaufklärung und unterstützt damit die Bundeswehr bei der langfristigen Planung der wehrtechnischen Forschung und Technologie (F&T). Kernstück dieser Planungsunterstützung ist die Wehrtechnische Vorausschau (WTV), die vom Geschäftsfeld Wehrtechnische Zukunftsanalyse (WZA) erstellt wird. Um auf neue technologische Entwicklungen, aber auch Durchbrüche in bereits identifizierten Themen aufmerksam werden zu können, ist die umfassende und kontinuierliche Beobachtung möglichst aller Wissenschafts- und Technologiefelder unabdingbar. Um dies zu bewerkstelligen betreibt das Fraunhofer INT seit Jahren eine Art Science Observatory. Dem liegt die Kernannahme zu Grunde, dass die wissenschaftlichen Grundlagen zukünftiger Technologien heute in den Labors rund um die Welt erforscht werden. Die Ergebnisse dieser Forschungs- und Entwicklungsarbeit werden vorwiegend über wissenschaftliche Publikationen und Patente kommuniziert, die daher die zentralen Elemente bilden, um sich einen Überblick über das aktuelle Lagebild wissenschaftlich-technologischer Entwicklungen zu verschaffen und auf dieser Basis mögliche Zukünfte zu antizipieren.

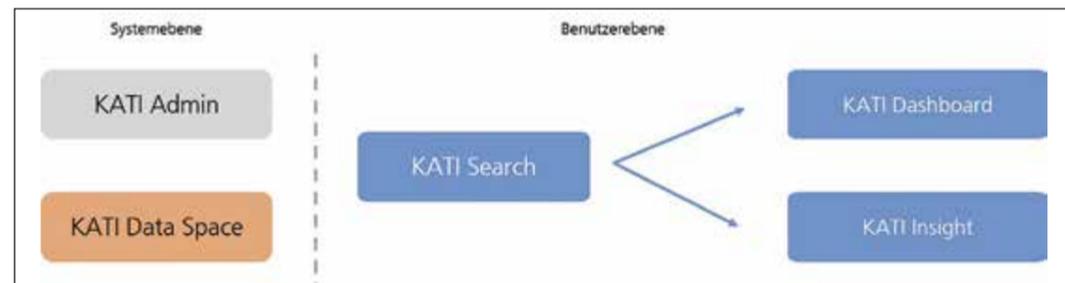


Abb. 1: Skizze der Systemstruktur des KATI-Systems

Das Fraunhofer INT befasst sich bereits seit mehreren Jahren mit der Nutzung von Publikations- und Patentdaten im Rahmen der Technologiefrühaufklärung. Daraus ist ein neues Forschungsfeld entstanden, das als Data Driven Foresight bezeichnet wird und sich mit der Fragestellung befasst, wie sich Daten aller Art gewinnbringend in den Prozess der strategischen Vorausschau integrieren lassen. Zu diesem Zweck entwickelt das Fraunhofer INT seit einigen Jahren gefördert durch das Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr in Koblenz (BAAINBw) das Assistenz- und Analysetool KATI (Knowledge Analytics for Technology & Innovation). Der Fokus liegt dabei zunächst auf der Erschließung von Publikations- und Patentdaten. Die grundlegende Struktur des KATI-Systems ist in Abb. 1 dargestellt.

Als wichtiges Element des KATI-Systems kommt eine sogenannte Graphdatenbank zum Einsatz, welche besonders gut geeignet ist, um die bibliographischen Daten wissenschaftlicher Publikationen und Patente effizient zu speichern. Zusammen mit einer effizienten Suche können auf diese Weise die Metadaten von derzeit mehr als 200 Millionen Publikationen und Patenten erschlossen werden. Dafür gibt es eine eigene Suchseite (vgl. Abb. 2), die es erlaubt durch die Nutzung des Query Editors auch komplexe Suchanfragen einfach und intuitiv zu gestalten. Dieser bietet die visuelle Möglichkeit, mittels Drag & Drop die umfassenden Suchoptionen des KATI-Systems zu nutzen.

Um die Analysten optimal bei Ihrer Arbeit im Rahmen der Technologieanalyse und der Technologievorausschau zu unterstützen, wurde in den letzten Jahren ein umfassendes Analysetool entwickelt. Dies setzt auf einem reichhaltigen und



Abb.2: Screenshot der Suchseite des KATI-Systems

flexiblen Dashboard-Konzept auf, welches in Abb. 3 exemplarisch dargestellt ist. Die Dashboards können von den Nutzern sehr frei konfiguriert und zusammengestellt werden, so dass es möglich ist, ein wissenschaftlich-technisches Thema von sehr unterschiedlichen Seiten zu beleuchten. Dabei kommen auch vom Fraunhofer INT selbstentwickelte Metriken zum Einsatz, um sehr unterschiedliche Fragestellungen zu adressieren. So stehen neben der Frage, wer an einem Thema forscht, auch inhaltliche Aspekte im Fokus, um bspw. auf thematische Verschiebungen in der Themenlandschaft aufmerksam zu werden.

Das System wird fortwährend weiterentwickelt und um neue Funktionalitäten und Analysemöglichkeiten erweitert. Dabei wird vom Entwickler-Team am Fraunhofer INT ein nutzerzentrierter Entwicklungsansatz verfolgt, der auf den kontinuierlichen Austausch mit den Nutzern des KATI-Systems setzt. Künftig werden in die Weiterentwicklung des Systems auch Ansätze aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz wie bspw. Large Language Modelle einfließen.

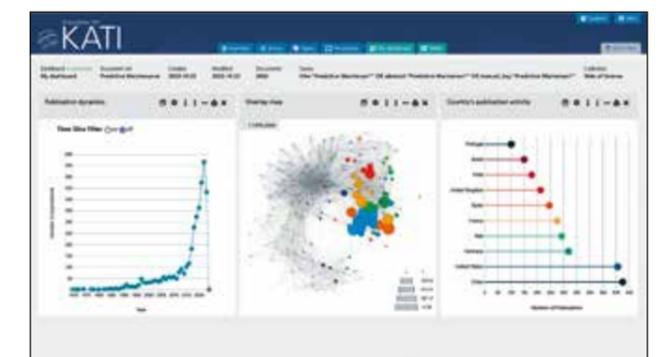


Abb. 3: Screenshot des KATI Dashboards

Dr. Thorsten Pusch
Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische
Trendanalysen INT
Euskirchen

info@int.fraunhofer.de

Sven Ruge
Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische
Trendanalysen INT
Euskirchen

info@int.fraunhofer.de

Fahrzeugintegration des Detektionssystems FORDES zur Erfassung elektromagnetischer Störversuche hoher Leistung

Um elektromagnetische Störversuche hoher Leistung zu erfassen, wurde am Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT ein kompaktes Detektionssystem entwickelt, welches sowohl für den abgesetzten Einsatz im Akkubetrieb als auch zur festen Installation in Einrichtungen kritischer Infrastrukturen geeignet ist. In einem F&T-Vorhaben wird derzeit die Integration des Detektorsystems in ein militärisches Fahrzeug umgesetzt.

Gepulste elektromagnetische Strahlung hoher Leistung (High Power Electromagnetics, HPEM) stellt eine besondere Bedrohung für wehrtechnische Systeme steigender Komplexität dar, auch hinsichtlich der zunehmenden Automatisierung kritischer Funktionen bis hin zu voll autonomen Systemen. Dies gilt insbesondere angesichts kontinuierlicher Bestrebungen staatlicher und auch nichtstaatlicher Akteure, die hierzu verwendeten Quellentechnologien und -systeme weiter zu entwickeln und zu verbessern. Systemabstürze, Sensorfehler oder auch Hardwaredefekte können allerdings nur dann auf mutwillige Störversuche als eigentliche Ursache zurückgeführt werden, wenn die ansonsten unsichtbaren elektromagnetischen Wellen messtechnisch erfasst werden.

Im Jahresbericht 2021 wurde bereits das am Fraunhofer INT entwickelte forensische Detektionssystem (FORDES) vorgestellt, welches in einem Würfel von 19 cm Kantenlänge verbaut wurde und mittels vier separater Messkanäle auf elektromagnetische Wellen ungewöhnlich hoher Feldstärke aus allen Himmelsrichtungen anspricht. Durch Vergleich der Kanäle wird die Einfallsrichtung der Signale rekonstruiert, was für eine gezielte Reaktion

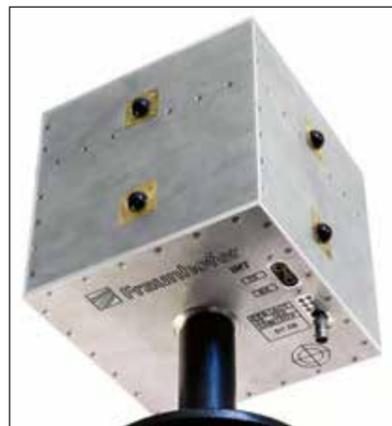


Abb. 1: Außengehäuse des eigenständigen HPEM-Detektors

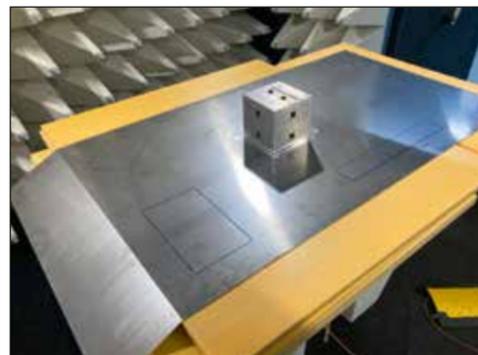


Abb. 2: Vermessung der Empfangseigenschaften auf einem abstrahierten Fahrzeugdach

TRDir Dr. Martin Schaarschmidt
Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien
– ABC-Schutz WIS
Munster

WISposteingang@bundeswehr.org

Dr. Daniel Ota
Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
und Ergonomie FKIE
Wachtberg

kontakt@fkie.fraunhofer.de

auf Störer relevant ist. Die digitalisierten Hüllkurven der erfassten Signale können zudem für forensische Zwecke gespeichert werden. Weiterhin kann die Signalamplitude in physikalischen Einheiten durch eine entsprechende Frequenzgangkorrektur auf Grundlage eingemessener Referenztabellen in einem Dynamikbereich von mindestens 40 dB angegeben werden. Dies gilt für schmalbandige Signale mit Trägerfrequenzen bis hin zu 8 GHz. Wird quellenseitig nicht im Dauerstrichbetrieb gesendet, sondern in amplitudenmodulierten Impulsen, wird auch deren Zeitstruktur für eine nähere Charakterisierung des jeweiligen Störereignisses festgehalten.

In der bisherigen Umsetzung als Labordemonstrator kann auf das Gerät über eine optische Netzwerkschnittstelle zugegriffen werden, die Bedienung erfolgt über ein Webinterface. Bei der angestrebten Integration in ein militärisches Landfahrzeug muss die unmittelbare Umgebung der Antennen berücksichtigt werden, da metallische Strukturen durch Streuung und Mehrfachreflektion die Empfangscharakteristik beeinflussen. Die Anschlüsse für die Energieversorgung sowie die Netzwerkkommunikation werden an die einschlägigen militärischen Standards angepasst. Die Weitergabe der Sensordaten erfolgt gemäß STANAG 4754 NATO Generic Vehicle Architecture (NGVA), so dass Messereignisse interoperabel in das Führungsinformationssystem SitaWare Frontline integriert und visua-

lisiert werden können. Die bislang vorläufige Implementierung dieser neuen Nutzerschnittstelle wird zeitnah auf Grundlage eines End-User-Workshops im Sinne einer effizienten Nutzung überarbeitet. Zudem werden nach erfolgter Forschungsarbeit auch Erprobungsfahrten in einer geeigneten Einsatzumgebung zur Sicherstellung der Praxistauglichkeit durchgeführt.

Im bisherigen Entwicklungsprozess wurde zunächst der im Detektorsystem eingebettete Kleinstrechner als Plattform für die im NGVA-Standard vorgesehenen Strukturen zur Datenkommunikation (Data Distribution Services, DDS) ertüchtigt. Die Antenneneigenschaften werden sukzessiv durch Messungen in Testumgebungen und numerische Simulationen optimiert. Weiterhin wird der mechanische Aufbau auch für die dynamischen Belastungen auf einer beweglichen Fahrzeugplattform modifiziert. Zum Abschluss des Projekts ist die testweise Integration in Erprobungsfahrzeuge aus Bundeswehrbeständen geplant.

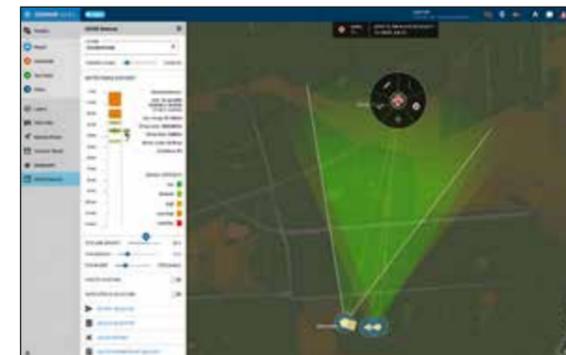


Abb. 3: Vorläufige Einbindung als HPEM-Sensor ins Führungsinformationssystem SitaWare Frontline

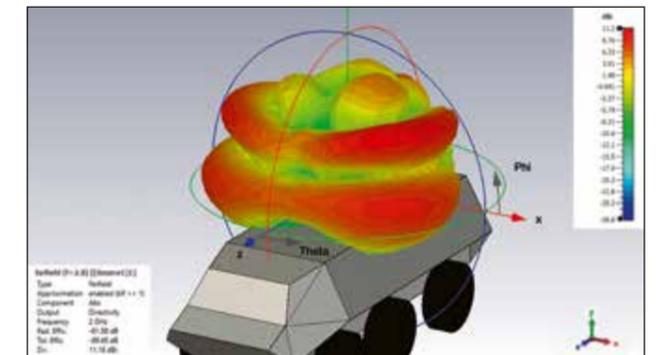


Abb. 4: Simulation der Antenneneigenschaften in einer möglichen neuen Einbauumgebung

Marcus Biella
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugführung
Braunschweig

info-pks@dlr.de

Oberfeldarzt Prof. Dr. med. habil. Stefan Sammito
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe
Köln

ZentrLuRMedLwPresse@bundeswehr.org

Anthropozentrisches Cockpit des Next Generation Fighters

Moderne Luftfahrzeuge stellen zunehmend hochkomplexe Anforderungen an Mensch und Maschine. Aufgrund der erhöhten physiologischen und psychologischen Beanspruchung für die Pilotin oder den Piloten ist daher die Entwicklung einer geeigneten Mensch-Maschine-Schnittstelle erforderlich, die idealerweise genau dann assistiert, wenn der Mensch die Unterstützung des Systems am dringendsten benötigt.

Trotz der rasanten technischen Entwicklungen steht jedoch bis heute kein Verfahren zur Verfügung, das während des Fluges technische, physiologische und psychologische Belastungen und Beanspruchungen erfasst, analysiert und dem Gesamtsystem zur Verfügung stellt. Hier setzt nun die gemeinsame Forschungsaktivität m³i-wasp (miniaturised and mobile measurement technology to increase and observe war fighter air systems performance) des Zentrums für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugführung (DLR) an. Ziel ist eine miniaturisierte, plattformunabhängige, mobile und transdisziplinäre Messsystematik mit hoher zeitlicher Auflösung zur Messung physiologischer und physikalischer Daten.

Das System soll in der Lage sein, komplexe Phänomene zu erfassen, auszuwerten und ggf. auch geeignete Kompensationsmaßnahmen im Rahmen einer adaptiven Automation anzubieten. Es soll angewendet werden, um die Leistungsfähigkeit der Pilotinnen und Piloten in Kampfflugzeugen zu erfassen und zu steigern.

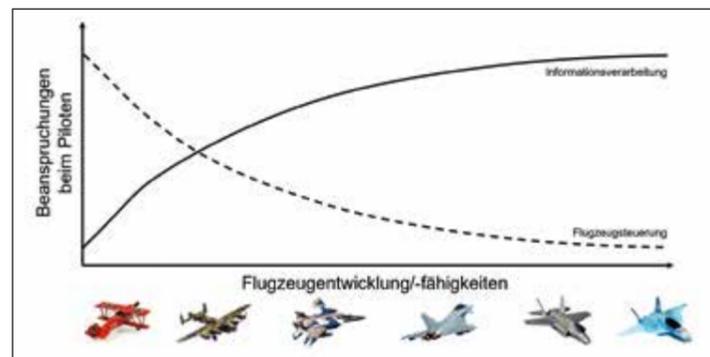


Abb. 1: Physiologische und mentale Beanspruchungen in Luftfahrzeugen



Abb. 2: Flugsimulatoren im DLR Braunschweig, Institut für Flugsystemtechnik

David Müller
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig

info-pks@dlr.de

Im ersten Schritt wurden bereits physiologische und psychologische Parameter zur Belastungs- und Beanspruchungsmessung und deren Nutzbarkeit im Setting „air systems“ (inkl. Fragebögen) analysiert. Um die Aktivität von Gehirn, Herz und Auge zu erfassen, gibt es derzeit mit EEG bzw. fNIRS, EKG und Blickbewegung vielversprechende Messmethoden zur Ermittlung der Beanspruchungen von Pilotinnen und Piloten. Mit der Atemfrequenz, der Hautleitfähigkeit und der Körpertemperatur stehen weitere physiologische Parameter zur Verfügung.

Aktuell werden unter kontrollierten Bedingungen bei Beanspruchungssituationen im DLR Flugsimulator AVES (Air Vehicle Simulator) in Braunschweig mit erfahrenen Pilotinnen und Piloten die Auswirkungen von Arbeitsbeanspruchung und kognitiver Erschöpfung auf die menschliche Leistungsfähigkeit untersucht. Dabei kommen die zuvor genannten Messsysteme zum Einsatz. Hierbei sollen im Schwerpunkt folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche der physiologischen und psychologischen Parameter korrelieren mit der Leistungsperformanz unter der simulierten Arbeitsumgebung?
- Welche der physiologischen und psychologischen Parameter eignen sich daher einzeln oder in Kombination für die Ableitung eines „Beanspruchungsindex“ für solche Arbeitsplätze?

Geplant ist im nächsten Schritt eine Belastungsindexmatrix zu erstellen, die auf den Ergebnissen der Simulatorstudie basiert und die geeigneten Parameter zur weiteren Verwendung auswählt. Danach soll – unter besonderer Berücksichtigung der Luftzulassung – eine mobile, miniaturisierte plattformunabhängige Messtechnik als Prototyp entwickelt werden. Dieser Prototyp soll dann im Rahmen geeigneter Szenarien sowohl im Simulator als auch im realen Flug getestet werden. Nach Vorliegen der Ergebnisse aus den Feldversuchen soll die Messtechnik ggf. entsprechend angepasst werden, bevor eine Testung in aktiven Luftfahrzeug-Mustern der Bundeswehr stattfinden wird. Abschließend soll das System in einem Kampfflugzeug der nächsten Generation integriert werden.

Flankiert werden die physiologischen Messungen auch mit der Frage nach der sozialen Akzeptanz, in der die Anwendenden von morgen das Tragen von physiologischen Parametern mit seinen Chancen und möglichen noch bestehenden Einschränkungen beurteilen.



Abb. 3: Innenansicht des Flugsimulators AVES mit Probandin und angelegten Geräten

Dr.-Ing. Johannes Riehmer
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Köln

info-pks@dlr.de

Dipl.-Ing. (FH) Florian Klingenberg
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Köln

info-pks@dlr.de

Prof. Dr. Ali Gülhan
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Köln

info-pks@dlr.de

APEX-TD: Ein Technologiedemonstrator für luftatmende Über- und Hyperschallantriebe

Ramjets und Scramjets sind vielversprechende Antriebssysteme für den Hochgeschwindigkeitsflug mit luftatmenden Antriebssystemen jenseits von Mach 5. APEX-TD war ein erfolgreiches Low-Cost-Flugexperiment, das vom DLR durchgeführt wurde, um Technologien für solche Systeme unter realen Bedingungen zu erproben und Flugdaten für die Verifizierung von Simulationen und Windkanalexperimenten zu liefern.

Atmosphärische Überschallflugkörper spielen eine größer werdende Rolle auf dem Gefechtsfeld der Zukunft, da die Abwehrfähigkeit gegen derartige Systeme deutlich beschränkt ist und somit die Verteidigung des Luftraums vor neue Herausforderung gestellt wird. Praktische Erfahrungen sind für das Verständnis dieser Bedrohung unerlässlich und ermöglichen eine fundierte Einschätzung gegnerischer Systeme. Darüber hinaus können Flugexperimente genutzt werden, um eigene Systeme für die Hyperschall-Luftverteidigung abzuleiten und Erfahrungen für den Hyperschallflug zu sammeln. Mit APEX TD (Air-breathing Propulsion EXperiment – Technology Demonstrator) wurden einige der dafür essentiellen Technologien unter Flugbedingungen erprobt und konnten ihre Machbarkeit demonstrieren. Eine besondere Herausforderung war dabei der Zeit- und Kostenplan, welcher eine Entwicklungszeit von Konzept bis Flug von weniger als 12 Monaten vorsah.

Bei dem Experiment handelte es sich um einen rotationssymmetrischen Scramjet-Antrieb mit einem konischen Einlauf mit verfahrbarer Spitze, einer Überschallbrennkammer und einem abschließenden Strömungsdeflektor (siehe Abb. 1). Aus Sicher-



Abb. 1: APEX-TD vor der finalen Integration an die Abschuss-Plattform mit geöffnetem Einlauf und Red Kite Raketenmotor

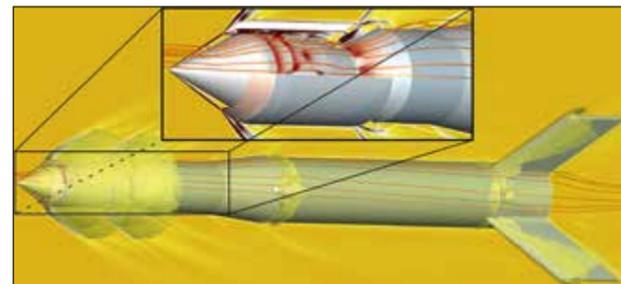


Abb. 2: Numerische Simulation des Flugexperiments für den nominalen Flugpunkt in 15 km Flughöhe

Dr.-Ing. Christian Schnepf
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Göttingen

info-pks@dlr.de

Dipl.-Ing. Christian Zuber
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
Stuttgart

info-pks@dlr.de

heitsgründen wurde jedoch kein verbrennungsfähiger Treibstoff in die Brennkammer eingespeist und auf ein inertes Analogon (N₂) zurückgegriffen. Eine essentielle Technologie des Experiments war der verfahrbare Einlauf, welcher während des Fluges bei Erreichen der Übergangs-Machzahl von 4,5 und nach dem Ausbrennen der Red Kite Antriebsstufe geöffnet wurde und so eine Überschallströmung durch die Brennkammer ermöglichte. Darüber hinaus wurden 3D-gedruckte Injektoren mit internen Kühlkanälen zur Einspeisung des inertes Treibstoffs getestet und C/C-SiC Keramiken an diversen thermisch hochbelasteten Komponenten eingesetzt. Das Hauptaugenmerk lag jedoch auf einer umfangreichen Instrumentierung, um aerodynamische und aerothermodynamische Effekte und das komplexe System aus Verdichtungsstößen im Inneren einer Scramjet Brennkammer (siehe Abb. 2) möglichst detailliert räumlich und zeitlich aufzuzeichnen und eine umfangreiche Datenbasis für Vergleiche mit numerischen Simulationen und experimentellen Windkanalmessungen zu schaffen. Um die Kosten gering zu halten und ein möglichst leistungsstarkes System zu testen, wurde dabei auf eine Bergung verzichtet und die Daten nur per Telemetrie übertragen.

Am 13. November 2023 wurde der Flug von Andøya, Norwegen, in Kombination mit dem Qualifikationsflug des Red Kite Raketenmotors der Bayern-Chemie GmbH erfolgreich durchge-

führt und erreichte dabei eine Spitzengeschwindigkeit von knapp Mach 5 und eine Flughöhe von über 70 km (Abb. 3). Der Einlauf wurde dabei auf einer Höhe von 15 km und bei einer Geschwindigkeit von Mach 4,5 geöffnet und es bildete sich daraufhin erwartungsgemäß eine Überschallströmung in der Brennkammer aus. Auch die sich daran anschließende Injektion des inertes Gases verlief plangemäß und es wurden erfolgreich Flugmessdaten für das primäre 45-Sekunden Versuchsfenster beim Aufstieg als auch während des sekundären Versuchsfenster beim Wiedereintritt in die tiefe Atmosphäre gesammelt. Das Experiment endete mit dem geplanten Absturz im Norwegischen Meer nach etwa 4-minütiger Flugzeit. Die wissenschaftliche Analyse der Versuchsdaten hat gerade erst begonnen. Erste Ergebnisse lassen jedoch darauf schließen, dass die Annahmen der Auslegung bestätigt werden konnten und dass damit eine fundierte Datenbasis für zukünftige detaillierte Vergleiche entstehen kann.



Abb. 3: Start des Flugexperiments und Video Livestream der On-board Kamera während des Apogäums

Simon Hübert
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
Stuttgart

info-pks@dlr.de

Georg Doll
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
Stuttgart

info-pks@dlr.de

Fertigungstechnologien für radarabsorbierende Strukturen

Mit Hilfe einer robotischen 3D-Druck Anlage für Hochleistungsthermoplaste können CFK-Strukturen (Kohlefaserverstärkte Kunststoffe) mit radarabsorbierenden Materialien funktionalisiert werden. Der Fused Granular Fabrication (FGF) Prozess ermöglicht dabei den Einsatz diverser Absorbermaterialien. Die Forschungsarbeiten fokussieren sich auf das optimale Zusammenspiel von Materialien und Fertigungsprozess hinsichtlich elektromagnetischer Eigenschaften und Verarbeitungseigenschaften.

Die additive Fertigung ist ein effektives Mittel um komplexe Geometrien effizient herstellen zu können. Das Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie des DLR verwendet dazu eine robotische 3D-Druck Anlage (Abb. 1), welche für die Verarbeitung von Hochleistungsthermoplasten ausgelegt ist. Die Multiachs-Bahnplanung erlaubt es, gekrümmte CFK-Strukturen zu überdrucken und dadurch zu funktionalisieren (Abb. 2). Dieser Ansatz wird genutzt um radarabsorbierende Materialien additiv auf thermoplastische Lamine aufzutragen. Durch den hohen Freiheitsgrad der Fertigung können somit homogene oder gradierte Schichten aufgebracht werden, aber auch komplexere Geometrien wie Frequenzselektive Schichten (FSS). Darüber hinaus kann die Verbindung zwischen Absorbermaterial und Primärstruktur in-situ hergestellt werden, wodurch aufwendige Fügeverfahren vermieden werden. Zielstrukturen sind bspw. Absorber an Kanten oder FSS Schichten auf flächigen Elementen (Abb.3).

Neben der komplexen Bahnplanung erlaubt der Einsatz des FGF auch den Einsatz einer großen Bandbreite an Absorbermaterialien. In dem Prozess werden Granulate direkt durch



Abb. 1: Robotische 3D-Druck Anlage zur additiven Fertigung von Hochleistungsthermoplasten



Abb. 2: Überdrucken von gekrümmten Thermoplast-Laminaten mit komplexen Strukturen

Sebastian Nowotny
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
Stuttgart

info-pks@dlr.de

einen Schneckenextruder extrudiert. Dadurch lassen sich Thermoplaste mit einem hohen Anteil an verschiedenen Füllstoffen verarbeiten. Durch die Zusammensetzung von metallischen und organischen Füllstoffen lassen sich die Absorbereigenschaften durch magnetische und leitfähige Anteile einstellen.

Die additiven Verfahren werden im Institut in eine breite Prozesslandschaft zur Herstellung von thermoplastischen Luftfahrtbauteilen integriert. Ebenfalls im Fokus sind die Herstellung von Strukturen mittels Pressen, Vakuum- und Schweißtechnologien. Die Prozesse ergänzen sich gegenseitig, um eine bestmögliche Lösung zu erreichen. Neben der Integration von radarabsorbierenden Materialien spielen die Robustheit, Toleranzgenauigkeit und eine effiziente Herstellung der Komponenten eine große Rolle.

Im Rahmen der Arbeiten am DLR werden die Möglichkeiten zum additiven Auftragen von Absorbermaterialien untersucht und weiterentwickelt. Dabei steht das Zusammenspiel aus Material und Verarbeitung im Vordergrund. Hierzu werden in diversen Projekten entsprechende Partikel identifiziert und mit einer Varianz des Füllstoffgehalts in eine Kunststoff-Matrix integriert. Dabei müssen sowohl die elektromagnetischen Eigenschaften sowie die Verarbeitbarkeit mittels 3D-Druck berücksichtigt werden. Gleichzeitig wirkt sich die Verarbeitung

im FGF-Verfahren durch die Prozessparameter und Bahnplanung wiederum auf die elektromagnetischen Eigenschaften aus. Dieser Zusammenhang stellt ein Optimierungsproblem dar, welches aktuell in einem iterativen experimentellen und simulativen Prozess gelöst werden muss.

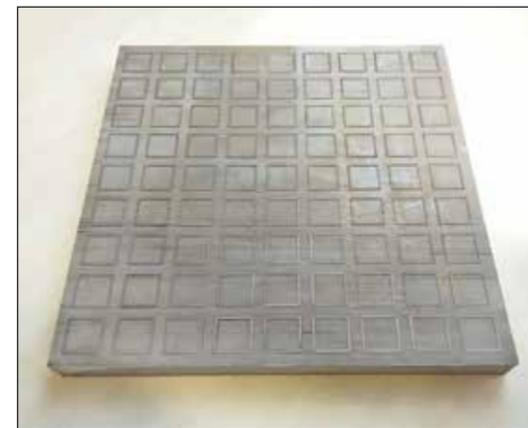


Abb. 3: GF-PEEK Sandwich Struktur (PEEK: Polyetheretherketon) mit aufgedruckter FSS-Geometrie aus leitfähigem Thermoplast-Kupfer-Compound

Anke Flührer
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Oberpfaffenhofen

Thomas Jagdhuber
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

info-pks@dlr.de

Einschätzung der feuchtebedingten Befahrbarkeit von Landoberflächen mittels hochauflösenden Fernerkundungsdaten

In Zeiten von globalen Krisen ist die unmittelbare Einschätzung zur Befahrbarkeit von wesentlicher Infrastruktur unabdingbar, da bewaffnete Konflikte und Umweltkatastrophen zur Beschädigung von Straßen und Gebäuden führen. Vor allem für militärische Fahrzeuge, wie Panzer, ist eine sichergestellte Passierbarkeit im Gelände unabdingbar, um sich im Ernstfall schnell und zuverlässig zu einem Einsatzort oder von diesem weg zu bewegen.

In einer Studie wird die Befahrbarkeit der Landoberfläche anhand von aktiven Mikrowellendaten analysiert. Hierbei wird nach urbanen Gebieten und offenem Gelände ohne befestigte Bebauung unterschieden, da diese unterschiedliche Anforderungen an die Bewertung der Befahrbarkeit stellen. Basierend auf Landnutzungsklassen und ermittelter Bodenfeuchte aus den Fernerkundungsdaten wird eine Einschätzung zur Befahrbarkeit gegeben. Ziel ist es, Karten mit unterschiedlichen Klassen zur Befahrbarkeit (von problemlos passierbar bis unpassierbar) zu erstellen. Vor allem in Krisenregionen oder im Verteidigungsfall sollen sie dazu dienen, die bestmöglichen Routen zur Fortbewegung von militärischen Fahrzeugen im Gelände zu finden. Gegenstand der Untersuchung ist ein Gebiet in Oklahoma, USA, über welches hochauflösende P-Band SAR Daten vorliegen.

Zur Bestimmung der Bodenfeuchte wird das aufgenommene P-band Signal mit Hilfe der Polarimetrie in die einzelnen Streuanteile für Boden, Boden + Vegetation sowie Vegetation zerlegt. Basierend auf dem extrahierten Bodenstreuanteil kann dann die Bodenfeuchte abgeleitet werden. In Abb. 1 werden die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Landnutzungsklassen

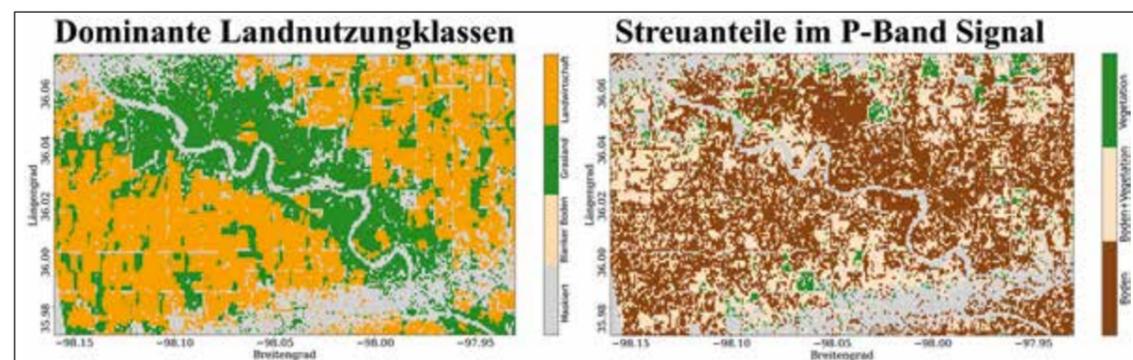


Abb. 1: Landnutzungsklassen (links) sowie dominante Streuanteile von Boden, der Mischung aus Boden und Vegetation oder Vegetation (rechts) in einem exemplarischen Untersuchungsgebiet in Oklahoma, USA. Landnutzungsklassen, wie Wald, Städte oder Gewässer, welche derzeit von dem verwendeten Algorithmus nicht verarbeitet werden können und daher während der Analysen maskiert wurden, sind in grau dargestellt

Ismail Baris
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

Thomas Neff
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

(links) sowie dominierenden Streuanteile im P-Band Signal (rechts) dargestellt. Ersichtlich ist, dass der Bodenstreuanteil vor allem über den Grasflächen dominiert, wohingegen die Mischung aus Boden + Vegetationsstreuung oder reine Vegetationsstreuung in den landwirtschaftlichen Flächen dominieren, da es hier vermehrt zu Interaktionen von elektromagnetischer Welle und Vegetation kommt. Graue Pixel stellen hierbei Wald, Städte oder Gewässer dar, welche derzeit mit dem verwendeten Algorithmus nicht berechnet und somit nicht klassifiziert werden können, und daher während der Analysen maskiert wurden. In Abb. 2 ist die aus den P-Band bestimmte Bodenfeuchte (links) sowie die daraus abgeleitete Befahrbarkeitskarte (rechts) dargestellt. Bei der Bodenfeuchte wird ersichtlich, dass diese im Untersuchungsgebiet zwischen 5 und 50 Vol.-% variiert. Hierbei weisen die Grasflächen meist höhere Bodenfeuchtwerte auf, wohingegen allerdings die Bodenfeuchtwerte in den landwirtschaftlich geprägten Regionen deutlicher schwanken, was auf verschiedene Agrarkulturen, Bewuchs- und Bewässerungszustände zurückzuführen ist.

Basierend auf der ermittelten Bodenfeuchte und den dominierenden Landnutzungsklassen kann nun eine kategorische Befahrbarkeitsanalyse des offenen Geländes durchgeführt werden.

Hierbei wurden folgende Kategorien festgelegt:

- Befahrbar: Bodenfeuchte < 20 Vol.-%
- Weniger befahrbar: Bodenfeuchte von 20 – 30 Vol.-%
- Schwer befahrbar: Bodenfeuchte von 30 – 40 Vol.-%
- Nicht befahrbar: Bodenfeuchte > 40 Vol.-%
- Nicht berücksichtigt: Landnutzungsklassen Wald, Stadt, Gewässer, Flüsse und Moore

Die finale Karte zur Befahrbarkeit (Abb. 2, rechts) zeigt, dass das untersuchte Gebiet in der Regel großflächig befahrbar ist. Lediglich Flächen mit erhöhter Bodenfeuchte und vor allem landwirtschaftlichen Flächen im Westen des Testgebietes sind eventuell unter erschwerten Bedingungen befahrbar oder gar unpassierbar.

In weiterführenden Studien sollen sowohl optische Fernerkundungsdaten als auch Topographie und Bodentextur in den Analysen berücksichtigt werden, um genauere Karten zur Befahrbarkeit eines Geländes aber auch von urbanen Gebieten erstellen zu können. Weiterhin soll im Zuge einer Operationalisierung der Ansatz auf zeitlich und räumlich hoch aufgelöste C-Band Daten umgestellt werden.

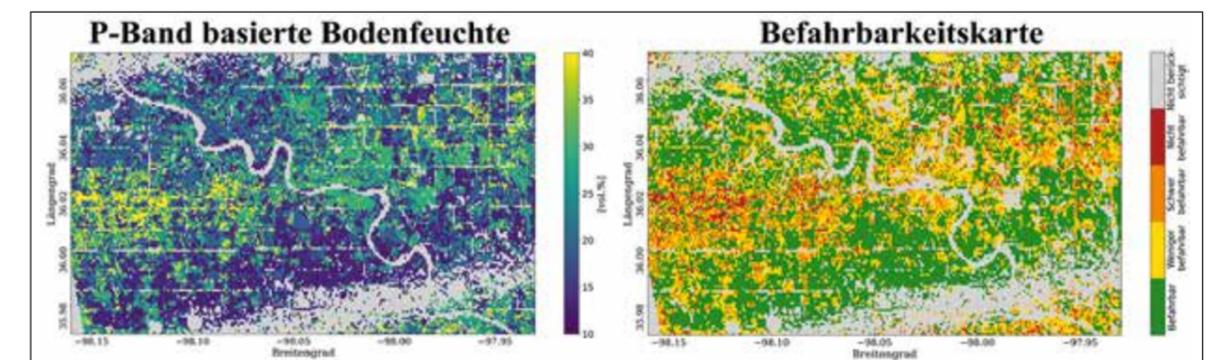


Abb. 2: Darstellung der Befahrbarkeit (rechts) basierend auf Informationen zu der aus P-Band SAR Daten bestimmten Bodenfeuchte (links) in einem exemplarischen Untersuchungsgebiet in Oklahoma, USA. Landnutzungsklassen, wie Wald, Städte oder Gewässer, welche derzeit von dem verwendeten Algorithmus nicht verarbeitet werden können und daher während der Analysen maskiert wurden, sind in grau dargestellt

Dr. Matthias Mück
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Kompetenzzentrum für reaktionsschnelle Satellitenverbringung
Faßberg

info-pks@dlr.de

Dr. Marcus Knopp
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Kompetenzzentrum für reaktionsschnelle Satellitenverbringung
Faßberg

info-pks@dlr.de

Forschungsinfrastruktur des RSC³ am DLR-Standort Trauen

Die Entwicklung einer nationalen Fähigkeit Responsive Space erfordert die Erprobung von Technologien aus allen Bereichen der Raumfahrt. Am DLR Standort Trauen wurde dafür eine spezialisierte Forschungsinfrastruktur errichtet. Neben der Qualifikation von Plattformdesigns für Kleinsatelliten können innovative Nutzlastkonzepte, insbesondere für lasergestützte Kommunikationsverfahren, getestet werden.

Mit der Errichtung des Responsive Space Technology Evaluation Center (RSTEC) wurde im Jahr 2023 eine moderne Integrations- und Testeinrichtung für die Erforschung von Kleinsatelliten-Plattformen geschaffen. Die Abteilung Weltraumsegment des Responsive Space Cluster Competence Center (RSC³) wird in über vier Reinräumen der ISO-Klasse 8 mit verschiedenen Testständen die Kompatibilität militärisch relevanter Nutzlasten mit verfügbaren Satelliten-Plattformen untersuchen. Unter dem Aspekt des taktischen Responsive Space ist es wichtig, modulare Konzepte und Schnittstellen-Standards zwischen Nutzlasten und Satelliten-Bussen zu erproben und weiter zu entwickeln, um Konzepte für eine beschleunigte Integration von Satelliten ableiten bzw. Hindernisse einer solchen Integration identifizieren zu können. Gleichzeitig spielen Optionen zur Bevorratung und Aktivierung von Satelliten-Systemen und deren Komponenten eine wichtige Rolle für eine reaktionsschnelle Verbringung.

Die RSTEC verfügt über ein Integrationslabor, in dem Satelliten-Missionen endgefertigt werden können. Zum Inventar gehören außerdem flugqualifizierte Kleinsatelliten-Plattformen unter-



Abb. 1: Forschungsinfrastruktur RSTEC

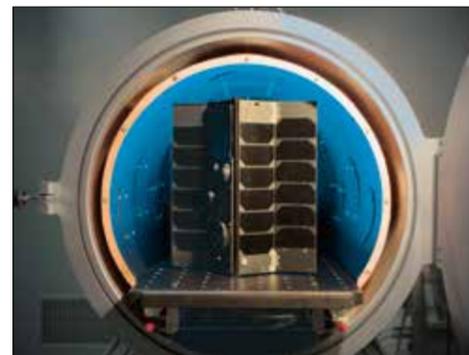


Abb. 2: Prüfling (Modell) in Thermal-Vakuum Kammer

schiedlicher Größenklassen sowie repräsentative Satelliten-Avionik-Systeme, mit denen die mechanische und elektrische Einbindung von Sensoriken getestet werden kann.

Satelliten-Systeme und Subsysteme können in der RSTEC Umwelttests für eine Weltraum-Qualifizierung unterzogen werden. In einer Thermal-Vakuum-Kammer können die thermischen Zyklen eines Satelliten im Orbit simuliert werden. Auf einem Schwingungsprüfstand können dynamische Lasten auf der Trägerrakete nachgestellt werden, um die strukturellen Eigenschaften vor dem Flug zu qualifizieren. Mittels eines Lageregelungsteststands können Aktuatoren, Sensoren und Kontroll-Algorithmen für die Lageregelung eines Satelliten untersucht werden. Ein sog. Transport- und Lagerungsbehälter (TULBE) ermöglicht die Einlagerung von fertig integrierten Satelliten in Reinraum-Umgebung. Der TULBE befähigt das RSC³, die Einlagerung und bei Bedarf schnelle Aktivierung von Satelliten zu testen.

Perspektivisch wird das RSC³ in der Lage sein, Demonstrator-Missionen im Responsive Space Kontext auslegen, integrieren und validieren zu können. Außerdem sollen mittels der RSTEC die Prozesse zur Integration und zum Test von militärischen Kleinsatelliten auf eine schnelle Umsetzung hin optimiert werden.

Ergänzend wurde eine optische Bodenstation (engl.: Optical Ground Station – OGS) errichtet. Mit der Laser-Bodenstation Trauen (LaBoT) wird die Abteilung Bodensegment des RSC³ Laser-gestützte Satellitenkommunikation in realistischen Einsatzszenarien evaluieren. Die Anlage folgt dem Aufbau eines robotischen Observatoriums: ein RC-Teleskop sitzt auf

einer Präzisionsgabelmontierung in einer Schlitzkuppel; daneben befindet sich ein Kontrollcontainer für die Steuerelektronik. Für die Laserkommunikation ist ein speziell angefertigtes optisches Instrument, die SOFA (Small OGS Focal-optics Assembly), an der Höhenachse angebracht. Es stellt das Äquivalent eines Antennen-Feedsystems dar und integriert kamerabasierte Ausrichtungs- und Verfolgungsfunktionen, kalibrierte Leistungsmessungen sowie die bidirektionale Datenübertragung. Die Station ist Teil eines nationalen Netzwerks optischer Bodenstationen, das vom DLR RSC³ koordiniert wird. Damit werden umfangreiche Feldversuche zu Standortdiversitätsschemata und optischen Freiraumkanalmodellen mittels fliegender Satellitenterminals möglich.



Abb. 3: Prüfling (Modell) auf Lageregelungs-Teststand

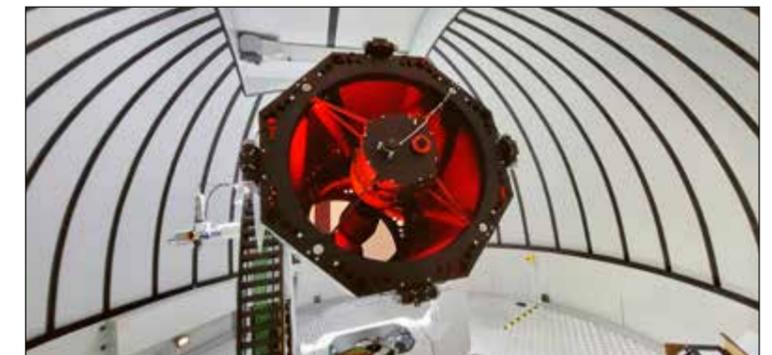


Abb. 4: Aufnahme aus der Kuppel der Laserbodenstation Trauen (LaBoT)

apl. Prof. Dr.-Ing. Umut Durak
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig

info-pks@dlr.de

Wanja Zaeske
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig

info-pks@dlr.de

Nächste Generation Avionik-Architekturen

Die nächste Avionik-Generation wird durch autonome Integrierte Modulare Avionik (IMA) gekennzeichnet sein. Im Rahmen des Projekts RESILIENZ arbeitet das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) an einer solchen IMA-Plattform, die den Weg zu einer selbstadaptiven, betriebssicheren Avionik eröffnen wird, wobei die Architektur bei Ausfall einer Komponente von der Plattform während der Laufzeit rekonfiguriert wird.

Moderne komplexe Flugzeuge erfordern ständig stark vernetzte Systeme. Integrierte Modulare Avionik ermöglichte Architekturen, die sich aus Softwarekomponenten unterschiedlicher Kritikalität zusammensetzen, die gemeinsame Hardware-, Software- und Netzwerkressourcen nutzen, auf die über Standardschnittstellen zugegriffen wird. Das brachte einen Sprung in der Einsparung von Entwicklungs- und Wartungskosten sowie von Platz, Gewicht und Energie. Der in diesem Zusammenhang häufig genutzte Begriff ist SWaP: Size, Weight and Power.

Mit Distributed IMA (DIMA) wurde die Idee weiter vorangetrieben, um eine Reihe von gemeinsam genutzten Ressourcen bereitzustellen, die physisch im Flugzeug verteilt sind (Abb. 1). Die Platzierung von Remote Data Concentrators (RDCs) in der Nähe von Sensoren und Effektoren, sowie die Nutzung eines gemeinsamen Netzwerks, um sie mit den General Processing Modules (GPMs) im Avionikraum zu verbinden, ermöglichte eine weitere Reduzierung von SWaP.

Da die zunehmende Autonomie von Flugzeugen zu einer der wichtigsten Anforderungen für die zukünftige zivile und militä-

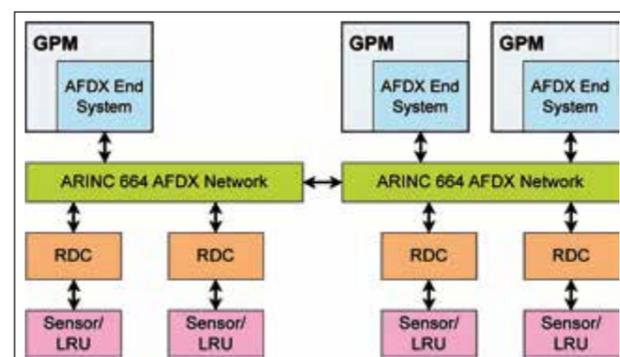


Abb. 1: Verteilte Integrierte Modulare Avionik (DIMA)

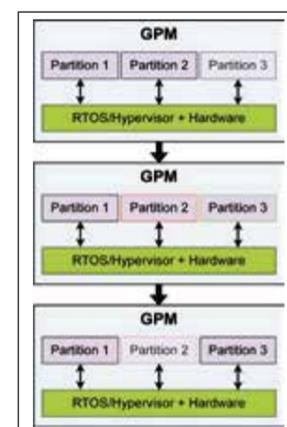


Abb. 2: Rekonfigurations Beispiel bei Ausfall von Partition 2

Sven Friedrich
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig

info-pks@dlr.de

rische Luftfahrt wird, muss die nächste Generation von IMA diese unterstützen. Sobald sich ein Fehler zu einem Fehlerzustand oder sogar zu einem Systemausfall entwickelt, nachdem die Redundanzmechanismen versagt haben, ist es heute Sache des Menschen, das Problem zu lösen. Wenn wir Autonomie anstreben, stellt sich natürlich die Frage: Wie können wir den Betrieb des Systems im Falle eines Ausfalls aufrechterhalten? Mit Selbstadaption. Adaption ist eine ultimative Eigenschaft der Autonomie. Sie kann nur erreicht werden, wenn das System seine Struktur dynamisch verändern kann (Abb. 2). Die nächste Generation von IMA wird es der Avionikarchitektur ermöglichen, ihre Struktur dynamisch zu verändern. Sie kann als Adaptive DIMA (ADIMA) bezeichnet werden.

ADIMA wird eine sichere dynamische Rekonfiguration von Recheneinheiten in DIMA-Systemen ermöglichen. Die Rekonfiguration erfolgt während der Laufzeit und verhindert katastrophale Systemausfälle. Das System wird betriebssicher (fail-operational).

Im Rahmen des Projekts RESILIENZ arbeitet das DLR an einer IMA-Plattform der nächsten Generation, die den Weg für eine selbstanpassende, betriebssichere Avionik ebnet, wobei die Architektur bei Ausfall einer Komponente von der Plattform während der Laufzeit rekonfiguriert wird.

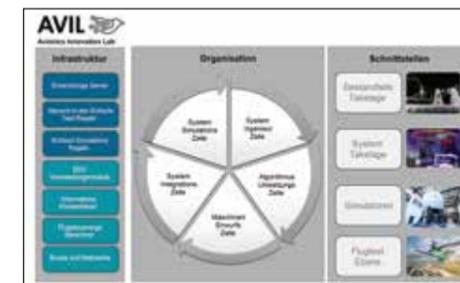


Abb. 3: Übersicht von AVIL Architektur



Abb. 4: AVionik Innovations Labor

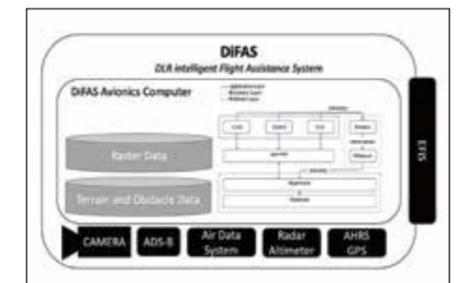


Abb. 5: Übersicht von DiFAS Architektur

Bojan Lukic
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugsystemtechnik
Braunschweig

info-pks@dlr.de

Um eine dynamische Rekonfiguration in einer partitionierten Umgebung sicher zu erreichen, müssen drei Probleme gelöst werden. Das erste ist, wie man Partitionen sicher austauschen kann. Darüber hinaus sieht ARINC 653 eine eng definierte Menge von Kommunikationskanälen vor, die während der Entwurfszeit vordefiniert werden. Da der Informationsfluss auch von der Rekonfiguration betroffen ist, liegt das zweite Problem in der Implementierung von konfigurationsabhängigen Kommunikationskanälen, die sich während der Laufzeit anpassen. Das dritte Problem ist die Frage, wann rekonfiguriert werden soll. Das DLR entwickelt Ansätze, um alle drei Fragen zu lösen.

Darüber hinaus werden prototypische Implementierungen entwickelt, die sowohl die industrietauglichen kommerziellen Hypervisoren, u. a. PikeOS und LYNX MOSA.ic, als auch etablierte Open-Source-Hypervisoren, wie seL4, nutzen. Die entwickelte Technologie wird im neu errichteten Avionik-Innovationslabor (AVIL) des DLR Braunschweig (Abb. 3 und 4) anhand des Anwendungsfalls DLR Intelligent Flight Assistance System (DiFAS) (Abb. 5) demonstriert und evaluiert.

Dr. Ralph Kahle
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Raumflugbetrieb und Astronautentraining
Oberpfaffenhofen-Weßling

Giuseppe Di Campli Bayard de Volo
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Raumflugbetrieb und Astronautentraining
Oberpfaffenhofen-Weßling

info-pks@dlr.de

info-pks@dlr.de

Sicherheit von Raketenstarts – Analyse, Bewertung und Vermeidung von Kollisionsrisiken im maritimen Umfeld sowie im Luft- und Weltraum

Im Rahmen der Aktivitäten zu „Responsive Space Capabilities“ erforschen und entwickeln das DLR Institut für Flugführung und der DLR Raumflugbetrieb gemeinsam Algorithmen und Methoden zur Gewährleistung der Kollisionssicherheit von Raketenstarts bezüglich Weltraumobjekten, dem Luftverkehr sowie dem Schiffsverkehr. Ein ganzheitlicher Ansatz ermöglicht dabei ein Maximum an Sicherheit und Effizienz.

Für die Durchführung eines sicheren Raketenstarts ist es essentiell, den Luft- und maritimen Verkehr sowie die maritime Infrastruktur in der Planung zu berücksichtigen. Potentielle Gefahren gehen von einem planmäßigen Raketenstart und nichtplanmäßigen Ereignissen aus. Besonders für Raketenstarts im Kontext des Responsive Space im europäischen Umfeld ist die hier herrschende hohe Luft- sowie Schiffsverkehrsdichte zu berücksichtigen.

Als Anwendungsfall für einen sicheren Raketenstart betrachtet das DLR Institut für Flugführung ein Startgebiet in der Nordsee (Abb. 1), bestimmt die Risiken und bewertet die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen. Mögliche Startorte für einen horizontalen und vertikalen Start werden mit Hinblick auf die Verkehrswege der Luft- und Schifffahrt analysiert. Anschließend erfolgt eine detailliertere Analyse der Risiken solcher Starts und der notwendigen Sicherheitsmaßnahmen. Eine solche ist das Einrichten von Sicherheitsgebieten (Abb. 2, rot), die anhand einer Analyse im Vorfeld eines Raketenstarts identifiziert und kommuniziert werden. Die hierfür erforderlichen Algorithmen sind derzeit im Institut für Flugführung in Entwicklung. Ein Teil

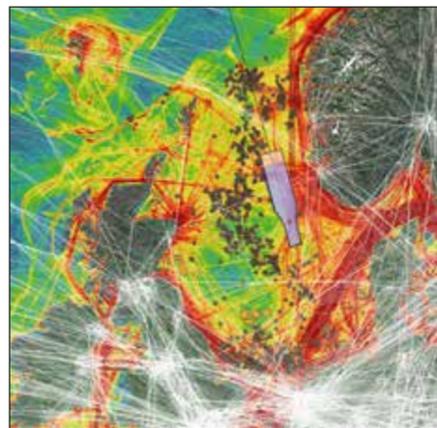


Abb. 1: Luftverkehr (weiß) [Quelle: EUROCONTROL, 2019], Schiffsverkehr (grün, gelb und rot) [EMODnet – Human Activities, CLS, 2021], Öl- und Gasplattformen (braun) [OSPAR, 2021], Windparks (orange) [OSPAR, 2021] und ein mögliches horizontales Startgebiet (blau und weiß) inklusive Startort (roter Punkt) und Trajektorie (schwarz) in der Nordsee (Quelle Kartenmaterial: Google Earth)

Tobias Rabus
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugführung
Braunschweig

info-pks@dlr.de

der identifizierten Sicherheitsgebiete muss während des Startbetriebs frei von Luft- und Schiffsverkehr sein. Im Falle unvorhergesehener Ereignisse sollten die zusätzlich betroffenen Gebiete (Abb. 2, grau) in Echtzeit identifiziert, kommuniziert und geräumt werden.

Mit der stetig zunehmenden Population von Satelliten und Weltraumschrott steigt ebenso das Risiko einer Kollision beim Übergang der Rakete in den Weltraum und dem Aussetzen der Satelliten. Der DLR Raumflugbetrieb bringt eine 15-jährige Expertise im Bereich der Kollisionsvermeidung von Satelliten in die Entwicklung des Service ASSET (Engl. für AScent SafETY) ein, mit dem einerseits eine Sicherheitsbewertung der Startfenster von Raketen erfolgen und zum anderen der sichere Satellitenbetrieb in der frühen Betriebsphase nach dem Aussetzen der Nutzlasten gewährleistet werden soll.

Um ein sicheres Startfenster auszuwählen, muss ASSET zunächst alle Möglichkeiten für nominale sowie nicht-nominale Raketen- aufstiegs- und Satelliten-Einschussbahnen innerhalb eines minuten- oder auch stundenlangen Startfensters simulieren. Danach erfolgt eine geometrische Filterung von aktuell circa 25.000 katalogisierten Weltraumobjekten auf eine kurze Liste von sogenannten sekundären Objekten, die tatsächlich mit den primären Objekten (Rakete, Oberstufe und alle zu separierenden

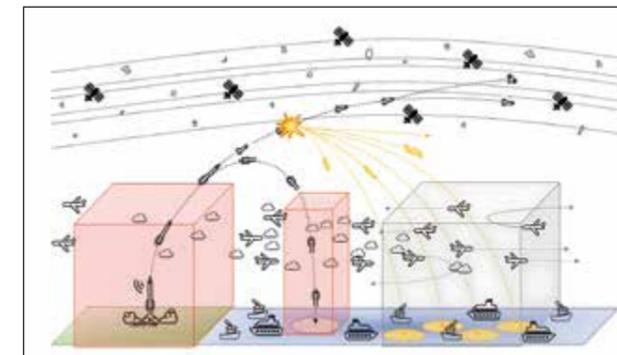


Abb. 2: Wechselwirkung von Raketenstart mit Luft-, Welt- und maritimen Raum, inklusive notwendiger Sicherheitsgebiete (rot) und im Falle eines ungeplanten Events benötigte Sicherheitsgebiete (grau)

Sven Kaltenhäuser
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugführung
Braunschweig

info-pks@dlr.de

Nutzlasten) interagieren können. Für die verbleibenden Objekt-paare werden die Flugbahnen und deren Unsicherheiten numerisch propagiert, der Zeitpunkt des minimalen Abstandes und die Wahrscheinlichkeit für eine Kollision bestimmt. Schließlich werden alle Einzelergebnisse für das gesamte Startfenster zusammengefasst und als Entscheidungshilfe für das Startsegment bereitgestellt (Abb. 3).

Die aktuell am DLR entwickelten prototypischen Services sollen in den Jahren 2024 und 2025 demonstriert werden.

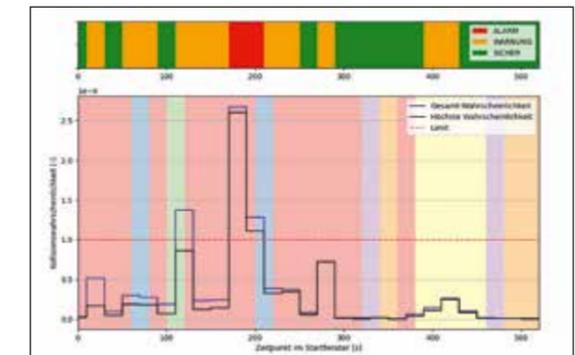


Abb. 3: Sicherheitsbewertung eines 9-minütigen Startfensters mit ASSET: in oben orangen und rot gekennzeichneten Zeitabschnitten besteht ein erhöhtes Kollisionsrisiko für den Raketenstart und das Aussetzen der Nutzlasten. Die höchstmöglichen (schwarz) und totalen (blau) Kollisionswahrscheinlichkeiten (PoC) sind unten gegen eine Toleranz (rot) dargestellt

Dr.-Ing. Andreas Schütte
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Braunschweig

info-pks@dlr.de

Carsten Liersch
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Braunschweig

info-pks@dlr.de

Erwin Moerland
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
Hamburg

info-pks@dlr.de

Technologien und Entwurf von Kampfflugzeugen der nächsten Generation im DLR Projekt Diabolo

Das DLR Projekt Diabolo hatte die Aufgabe der Weiterentwicklung von Technologien für den Entwurf und die Leistungsbestimmung von Kampfflugzeugen der nächsten Generation. Der Nachweis wurde mittels eines virtuellen „DLR Future Fighter Demonstrator“ (DLR-FFD) Konzeptentwurfs realisiert (siehe Abb. 1). Teile des Projekts wurden im Rahmen einer Kooperation mit Airbus Defence and Space und MTU Aero Engines durchgeführt.

Die Entwicklung der Fähigkeiten zu Entwurf, Analyse und Bewertung von militärischen Fluggeräten ist eine Kernaufgabe im Rahmen der wehrtechnischen Forschung des DLR. Diese Fähigkeiten werden sowohl für die Bewertung eigener Arbeiten im Umfeld der Technologieentwicklung benötigt, als auch für die Unterstützung der Analyse- und Bewertungsfähigkeit des BMVg und des BAAINBw.

Die Entwicklung dieser Fähigkeiten im DLR wurde in den letzten 20 Jahren im Rahmen einer Strategie aus aufeinander aufbauenden Forschungsprojekten vorangetrieben.

Der Entwurf moderner Kampfflugzeugkonzepte wird durch Kompromisse zwischen zahlreichen, teils widersprüchlichen Anforderungen getrieben. Diese Kompromisse sind entscheidend für die Leistungsfähigkeit des späteren Flugzeugs und müssen daher bereits möglichst früh im Entwurfsprozess sinnvoll gewählt werden. Viele der für die Wahl dieser Kompromisse entscheidenden Zusammenhänge lassen sich allerdings erst mit höherwertigen Analyseverfahren zuverlässig vorhersagen, die – wegen des hohen Rechenaufwands und der benötigten



Abb. 1: Konzeptentwurf des DLR-FFD „Future Fighter Demonstrator“



Abb. 2: Druckverteilung und Wirbeltopologie auf der Oberseite des DLR-FFD

Sebastian Zenkner
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Antriebstechnik
Köln

info-pks@dlr.de

Dr. Gerald Rode
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

Mario Kalanja
Airbus Defence and Space GmbH
Manching

questions-web@airbus.com

großen Detailtiefe – im Konzeptentwurf üblicherweise noch nicht ausreichend angewendet werden können.

Der Fokus des Projekts lag auf dem Gesamtentwurf und der Untersuchung verschiedener Fragestellungen aus dem Bereich der Aerodynamik (siehe Abb. 2), aber auch weitere Themen wie die Flugmechanik und Flugregelung, Struktur, Aeroelastik und Signaturen (siehe Abb. 3) spielten eine große Rolle. Ein weiterer Schwerpunkt war der Entwurf und die Integration des Triebwerks (siehe Abb. 4) bei dem sowohl konventionelle als auch VCE-Konzepte (Variable Cycle Engine) untersucht wurden. Hier wurden in Diabolo die Triebwerkskonzepte untersucht und im Partnerprojekt FFE+ (Future Fighter Engine+) die Triebwerkskomponenten und Technologien.

Eine zentrale Aufgabe in Diabolo war der Ausbau der Automatisierung des Gesamtentwurfsprozesses für die Auslegung von Kampfflugzeugen. Mit Hilfe des im DLR entwickelten und im Projekt für wehrtechnische Analysen erweiterten Datenaustauschformats CPACS wurde das Konzeptentwurfsverfahren VAMPzero^F an höherwertigere Verfahren angeschlossen. Dabei wurde die Möglichkeit geschaffen, verschiedene Aspekte bereits in einer frühen Entwurfsphase genauer bzw. mit höherer Eindringtiefe zu untersuchen und die Ergebnisse wieder in den Gesamtentwurf zurückzukoppeln. So wurde beispielsweise aus

höherwertigen Aerodynamik- und Triebwerksdaten ein flugdynamisches Modell erstellt, mit dem dann flugmechanische Analysen durchgeführt und an den Konzeptentwurf zurückgemeldet werden konnten. Der abschließende Entwurf des DLR-FFD demonstriert die Eignung des Vorgehens für den Entwurf derartiger Flugzeugkonzepte und beleuchtet die Sensitivitäten und Herausforderungen, die sich aus den konkurrierenden und teilweise sogar gegenläufigen Anforderungen ergeben.

Sehr hilfreich war in diesem Zusammenhang auch die Kooperation mit Airbus Defence and Space und der MTU. Die Kooperationen dienten u. a. der wechselseitigen Prüfung und Bewertung der Konzeptentwurfsverfahren, gemeinsamen Studien zum Entwurf von konventionellen und VCE Triebwerkskonzepten, der Untersuchung von Akustiksignaturen an hoch integrierten Antrieben sowie der Erweiterung von Flugreglern durch die Integration von Sloshing-Effekten im Flugzeugtank (sloshing: engl. für schwappen (der Tankfüllung)).

Im Projekt Diabolo ist es dem DLR zum ersten Mal erfolgreich gelungen, ein Konzept einer Kampfflugzeugkonfiguration zu entwerfen, zu analysieren und zu bewerten.

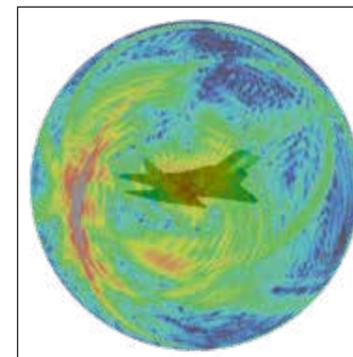


Abb. 3: Radarsignaturberechnung um die DLR-FFD Konfiguration

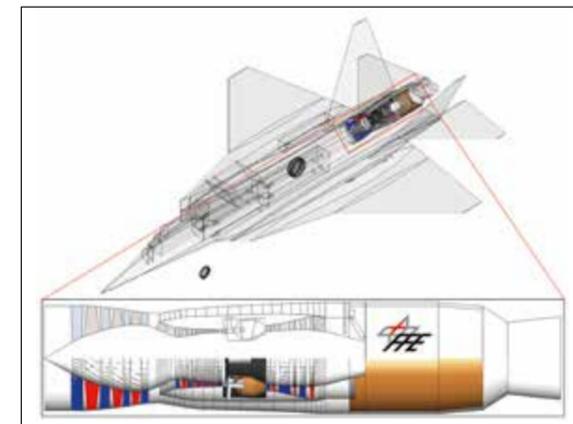


Abb. 4: DLR-FFD Triebwerkskonzept und Integration

Dr.-Ing. Matthias Wolfram Ospel
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL)
Saint-Louis, Frankreich

isl@isl.eu

Dr.-Ing. Marc Oispuu
Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
und Ergonomie FKIE
Wachtberg

info@fkie.fraunhofer.de

Lageerfassung und Überwachung in urbanem Gelände: Optimale Positionierung der Sensoren

Jüngste Konflikte werden vermehrt auch im urbanen Umfeld ausgetragen. Gebäude behindern die Sicht und schaffen unübersichtliche Einsatzumgebungen, in denen Feindbeschluss zur akuten Bedrohung wird. Akustische Sensoren können auch ohne Sichtverbindung wichtige Beiträge zu einem Lagebild liefern. ISL und Fraunhofer FKIE erforschen Methoden zur Steigerung der Aufklärungsleistung in urbanen Einsatzgebieten.

Trotz des eingeschränkten Sichtfeldes in urbaner Umgebung enthalten akustische Signale Informationen über die Position einer Schallquelle. Selbst ohne direkte Sichtverbindung zur Quelle ermöglichen akustische Sensoren beispielsweise die Aufklärung aktiver Schützen. Die erreichbare Aufklärungsleistung hängt dabei stark von der Positionierung der Sensoren ab.

Ziel der gemeinsamen Arbeit ist eine Entscheidungshilfe bei der Sensoreinsatzplanung, die mithilfe vorgegebener aufzuklärender Bereiche optimale akustische Sensorpositionen errechnet und dem Nutzer vorschlägt. Durch geeignete Modelle und numerische Berechnungen lassen sich die Schallausbreitung in einem gegebenen urbanen Umfeld beschreiben, entsprechende Sensormessungen auf Basis erwarteter Signalwege vorhersagen und die erreichbare Aufklärungsleistung inkl. möglicher „Blind Spots“ abschätzen. Durch Einsatz eines genetischen Algorithmus können die optimalen Sensorpositionen mit der höchsten Aufklärungsleistung ermittelt werden.

Im Rahmen der NATO-Forschungsgruppe SET-286 „Acoustic and Seismic Sensing of Threats in Urban Environments“ fand

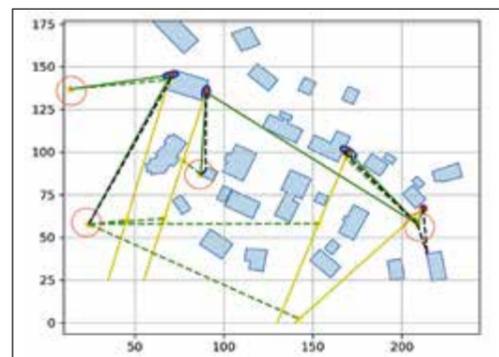


Abb. 1: Optimale Sensorpositionen mittels verteilter Mikrofonarrays

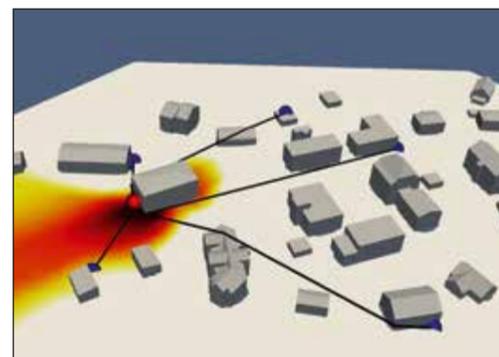


Abb. 2: Lokalisation einer Schützenposition mittels akustischem Sensornetz

TRDir Thomas Weßling
Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition (WTD 91)
Meppen

WTD91posteingang@bundeswehr.org

ein NATO-Experiment in Walenstadt statt. Im Rahmen dieses Experimentes wurden Daten zur Erprobung der Lokalisierung in urbaner Umgebung mittels akustischer Mikrofonarrays und akustischer Sensornetze seitens ISL und Fraunhofer FKIE gesammelt.

Abb. 1 zeigt optimierte Sensorpositionen (rot eingekreist) und die abgeschätzte Lokalisierungsgenauigkeit (blaue Ellipsen) für vier betrachtete Schützenpositionen unter Berücksichtigung der erwarteten Peilmessungen des Mündungsknalls (grüne solide Linie) und der Schockwelle (grün gestrichelte Linie) in Walenstadt.

Abb. 2 zeigt die Lokalisierungsfunktion für ein Schussereignis mit wahrer Schützenposition (roter Punkt), Sensorpositionen (blaue Punkte) und kürzesten erwarteten Signalwegen (schwarze Linien). Das Minimum der Lokalisierungsfunktion (schwarz) markiert die geschätzte Schützenposition.

Abb. 3 zeigt die Möglichkeit zur Positionierung eines zusätzlichen Sensors im Versuchsfeld auf dem ISL Gelände im Sinne der Lokalisation einer Schallquelle. Die grünen Felder stellen günstige Positionen für die Anordnung zusätzlicher akustischer Sensoren dar. Die vom Algorithmus vorgeschlagene Position ist, rot markiert, oben links zu sehen.

Durch den Vergleich erwarteter und erzielter Aufklärungsleistung können die Modelle und Methoden des ISL und FKIE validiert und, wo erforderlich, verbessert werden. Eine weitere experimentelle Erprobung in verschiedenen Anwendungen ist in zukünftigen Arbeiten geplant.

Wir bedanken uns herzlich beim Schweizer Bundesamt für Rüstung (armasuisse) für die Organisation des o. g. NATO-Experiments und beim BAAINBw für die andauernde Förderung der akustischen Forschung und der deutsch-französischen Kooperation.

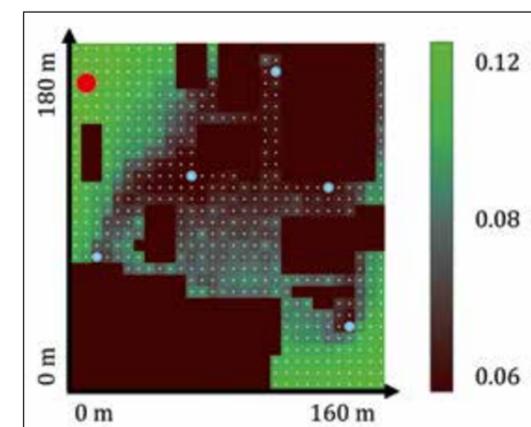


Abb. 3: Optimale Position für den zusätzlichen akustischen Sensor im Hinblick auf die Lokalisation auf dem ISL-Gelände

Dr.-Ing. Nabil Jardak
 Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL)
 Saint-Louis, Frankreich

isl@isl.eu

Dr.-Ing. Richard Arning
 Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL)
 Saint-Louis, Frankreich

isl@isl.eu

Navigation mit Hilfe von Nutzsignalen

Viele militärische Systeme, wie z. B. Lenkmunition, verlassen sich zur Navigation auf globale Satellitensysteme (GNSS – Global Navigation Satellite system), um präzise Schläge hoher Reichweite durchzuführen. Da die Satellitennavigation jedoch störbar ist, wird eine unabhängige Navigationstechnologie benötigt. Es gibt bereits einige alternative PNT-Technologien (Positioning, Navigation, Timing) auf dem Markt, diese bieten jedoch keine globale Positionsbestimmung für dynamische Anwendungen. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Navigation mit Nutzsignalen (nicht für den Zweck der Navigation vorgesehene Funksignale) zu untersuchen, da eine solche Lösung noch nicht auf dem Markt verfügbar ist.

Eine große Anzahl von LEO (Low Earth Orbit)-Konstellationen umkreisen die Erde, typischerweise zur Kommunikation (z. B. Iridium, Global Star) und Breitbandverbindung (z. B. Starlink, One Web) etc. Die hohe Verfügbarkeit von LEO-Satellitensystemen macht sie nützlich zur Positionsbestimmung durch passive Nutzung ihrer Signale. Für die Navigation mittels Nutzsignalen oder NAV-SOP (Signals of Opportunity) fallen keine Gebühren an, sie bietet Frequenzvielfalt, höhere Signalstärken als GNSS (somit resistenter gegen Störungen) und weltweite Abdeckung. Die Einschränkung besteht darin, dass diese Systeme nicht für die Navigation optimiert sind (unbekannte Satellitenpositionen und Zeitgeber, nicht synchronisierte Sender).

Das Deutsch-Französische Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL) untersucht das Potenzial von Iridium- und Starlink-Konstellationen in GNSS-blockierten und -geschwächten Umgebungen.

Zu diesem Zweck wurde ein Signalerfassungssystem eingerichtet und reale Iridium- und Starlink-Signale aufgezeichnet. Das Iridium-System überträgt im L-Band (1.616 – 1.626,5 MHz), ein in der Funknavigation bekanntes Frequenzband. Starlink

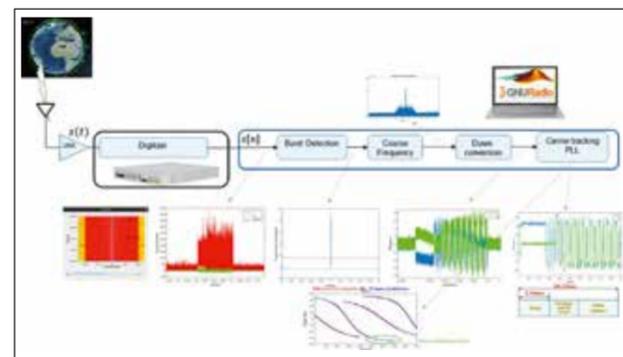


Abb. 1: Verarbeitungskette des Iridiumsignals

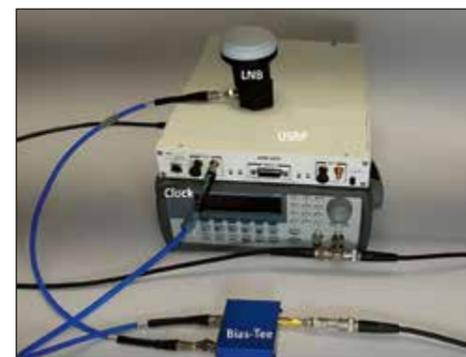


Abb. 2: Experimenteller Aufbau der Starlink-Signalaufzeichnung (Rauscharmer (LNB) Abwärtsrichter direkt als Antenne benutzt)

hingegen verwendet das X/Ku-Band (10,7 – 12,7 GHz), was normalerweise den Einsatz eines Parabolreflektors erfordert. Da es sich bei letzterem jedoch um eine Richtantenne handelt, ist es damit nicht möglich gleichzeitig mehrere Satelliten zu verfolgen, was allerdings für die Positionsbestimmung erforderlich ist. Aus diesem Grund wurde entschieden in dieser Studie, Starlink ohne Parabolreflektor zu verwenden.

Die Signalverarbeitung wurde für die Schmalbandsignale entwickelt, die sich sowohl für Iridium als auch Starlink eignet, und mittels Nachbearbeitung von aufgezeichneten realen Signalen validiert (Abb. 1, Abb. 2). Dadurch konnten die Satellitenverfügbarkeit, die Signalqualität und die Frequenzverschiebung der verfolgten Satelliten gemessen und analysiert werden (Abb. 3). Es wurde dann eine Methode zur Positionsbestimmung basierend auf Doppler-Verschiebungsmessungen entwickelt. Die Positionsbestimmung unter ausschließlicher Verwendung von Iridium-Signalen zeigte bei statischen Bedingungen eine Genauigkeit von 600 m (Abb. 4). Mit Starlink-Signalen wurde einige Genauigkeit < 500 m erreicht. Diese Ergebnisse werden erzielt bei der Verwendung ungenauer Satellitenbahnen (100 s'm), ungenauem Timing (~ 1 s) und relativ niedriger Signalstärke. Es wurde gezeigt, dass die Navigation auf Grundlage von LEO-Satelliten-Nutzsignalen machbar ist.

Weiterhin wurde zur Identifizierung der größten Fehlerquellen für eine präzise Positionierung mit LEO-Satelliten das Iridium-Signal für eine 155-mm-Projektilbahn simuliert und die Positionsbestimmung unter Berücksichtigung verschiedener potentieller Fehlerquellen abgeleitet. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Positionierung hauptsächlich von großen Fehlern der Satellitenpositionen und Zeitgeberabweichungen der Satel-

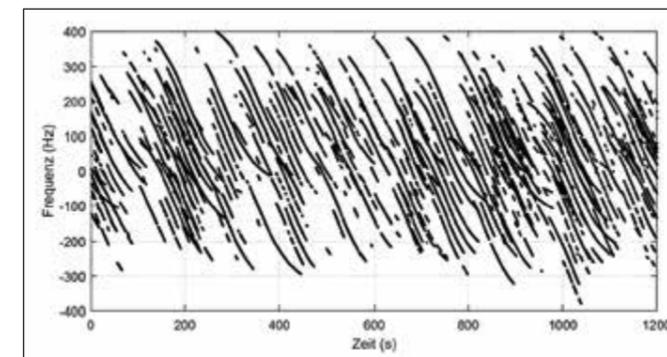


Abb. 3: Frequenzverschiebung (Doppler) der Starlink-Signale

iten beeinflusst wird. Bei genauer Umlaufbahn war die simulierte Positionsgenauigkeit < 60 m. Die genannten Fehlerquellen können durch differentielle Positionierungsbestimmung reduziert werden, wie sie häufig mit GNSS verwendet wird.

Darüber hinaus kann eine erhebliche Verbesserung der Positionsgenauigkeit erzielt werden. Das gelingt zum einen durch die Verbesserung der Signalempfangsqualität der X/Ku-Band-Signale und zum anderen durch Verwendung von Multi-LEO-Konstellationen zur Positionsbestimmung.

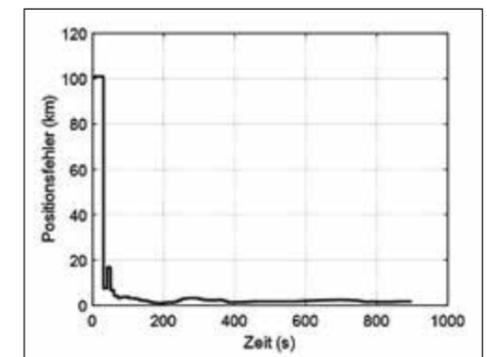


Abb. 4: Statischer Positionsfehler mit Starlink

Dr. Stefan Nau
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL)
Saint-Louis, Frankreich

isl@isl.eu

Neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Sicherheit energetischer Materialien durch hochauflösende Mikro-Computertomographie

Die Röntgen-Mikro-Computertomographie (μ CT) ist eine zerstörungsfreie Methode zur Visualisierung der inneren Struktur eines physischen Objekts. In unserem Anwendungsbereich ermöglicht sie unter anderem die genaue Darstellung der Mikrostruktur von Sprengstoffformulierungen, die zum Verständnis ihres reaktiven Verhaltens, z. B. beim Übergang vom Schock zur Detonation, beitragen soll.

μ CT nutzt die Abschwächung von Materie durchdringender Röntgenstrahlen, um eine Serie von Radiographien aus verschiedenen Winkeln zu erstellen. Aus diesen wird dann ein vollständiges 3D-Modell des Objekts mit einer Auflösung im μ m-Bereich rekonstruiert. Die neue Generation von verfügbaren μ CT Systemen ist für anspruchsvollere 3D-Anwendungen konzipiert und erreicht Auflösungen von bis zu 400 nm. Dies macht die Tomographie zu einem interessanten Instrument für die Untersuchung der Mikrostruktur von energetischen Materialien und Partikeln, da es nun möglich ist, Kristalldefekte und Porositäten von sehr geringer Größe darzustellen und zu vermessen. Um flexibler zu sein und die wissenschaftlichen Möglichkeiten zu erweitern, wurde eine Doppelröhrenkonfiguration gewählt. Diese verfügt nämlich über eine Doppeleröntgenquellenkonfiguration, die die hochauflösende mit einer Hochleistungs-Quelle kombiniert, die für eine bessere Durchdringung und schnellere Aufnahmen verwendet werden kann.

μ CT gibt uns ein Werkzeug an die Hand, mit dem wir die Mikrostruktur einer Vielzahl von möglichen Materialien kontrollieren

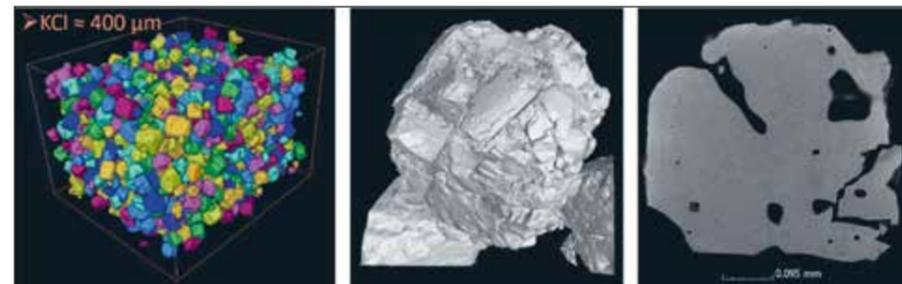


Abb. 1: Mikrostruktur von in Wachsmatrix eingebetteten Kaliumchlorid Partikeln: Segmentierung der Partikel erlaubt eine Vielzahl von Analysen (links); 3D-Oberfläche (mitte); 2D-Schnitt zeigt interne Defekte auf (rechts)

und untersuchen können. Gerade für unser Institut ist die hochauflösende μ CT für eine Vielzahl von materialwissenschaftlichen Forschungsthemen von Interesse. Dies ist besonders im Bereich der energetischen Materialien von Bedeutung. Hier ist die Möglichkeit, auf akademische Partner zurückzugreifen, die über ein solches Gerät verfügen, aufgrund pyrotechnischer Sicherheitsvorschriften begrenzt. Die körnigen Strukturen und das Vorhandensein von Defekten in der Mikrostruktur haben einen starken Einfluss auf das reaktive Verhalten von energetischen Formulierungen, z. B. von energetischen Partikeln, die mit einem Bindemittel vermischt sind. Bei gepressten Formulierungen können schon sehr geringe Drücke die Partikel beschädigen und damit das reaktive Verhalten der Formulierung verändern.

Nach der 3D-Rekonstruktion der Proben mit μ CT und unter Verwendung spezifischer Werkzeuge können die einzelnen Partikel segmentiert und ihre Oberflächendefekte und inneren Defekte quantitativ analysiert werden (siehe Abb. 1). Diese quantitative Charakterisierung ist auch deshalb von Bedeutung, weil sie es uns ermöglicht, experimentelle Ergebnisse wie die der ISL-Flotationsmethode zu bestätigen und zu erweitern. Die ISL-Flotationsmethode liefert ein sehr genaues Maß für die Dichteverteilung der energetischen Teilchen. Die Dichte ist ein Maß für die Menge der inneren Defekte. μ CT liefert zusätzlich ein Maß für die Größe der Defekte (siehe Abb. 2). Durch den Einsatz der Hochleistungsröhre können wir auch energetische Systeme untersuchen, die in vielen Fällen in hochdichten Stahlgehäusen untergebracht sind (ein Beispiel ist in Abb. 3 zu sehen). Es handelt sich also um eine leistungsfähige Methode, um das Bauteil nach seiner Montage zu überprüfen und um die Qualität der Explosivladung zu kontrollieren.

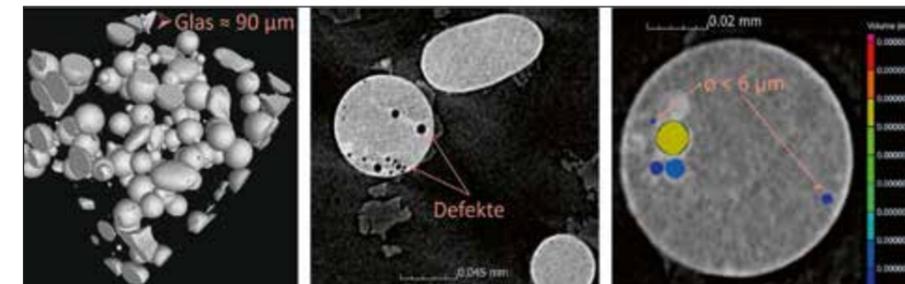


Abb. 2: Mikrostruktur von in einer Wachsmatrix eingebetteten Glasperlen: 3D Oberflächen (links); 2 D Schnitte zeigen Verteilung und Größen interner Defekte (Mitte und rechts)

In ähnlichen Forschungsbereichen ist die μ CT ist auch ein nützliches Instrument zur Untersuchung und Unterscheidung der Mikrostruktur verschiedener Treibladungskörner: kommerzielle, ISL-gefertigte und 3D-gedruckte. Ihre globalen Eigenschaften werden durch die Mikrostruktur bestimmt, die von den Details ihrer Zusammensetzung abhängt. Diese können sich sowohl auf die mechanischen als auch auf die Verbrennungseigenschaften auswirken. Insbesondere hat sich gezeigt, dass der Herstellungsprozess von Verbundtreibstoffkörnern den Druckanstieg in der Kanonenkammer beeinflusst.

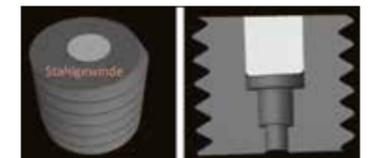


Abb. 3: Pyrotechnischer Initiator: 3D-Rekonstruktion eines in einer Stahlschraube enthaltenen Bauteils (links). Der 2D-Schnitt zeigt ein Detail der inneren Baugruppe (rechts)

Frank Wilsenack
Wehrwissenschaftliches Institut für
Schutztechnologien – ABC-Schutz
Munster

WISposteingang@bundeswehr.org

Fabian Meyer
Wehrwissenschaftliches Institut für
Schutztechnologien – ABC-Schutz
Munster

WISposteingang@bundeswehr.org

Dr. Arne Ficks
Wehrwissenschaftliches Institut für
Schutztechnologien – ABC-Schutz
Munster

WISposteingang@bundeswehr.org

Ein neuartiger Ansatz zur schnellen Detektion von Oberflächenkontaminationen

Die Idee und erste Ergebnisse zu einem neuen Messansatz für die schnelle und berührungslose Detektion von chemischen Agenzien beim Straßenspüren werden vorgestellt. Das neuentwickelte Systemdesign basiert auf einem optischen Messprinzip. Im Labor wurde das Funktionskonzept des Technologiedemonstrators anhand von Einzelmessungen und an schnell bewegten Objekten auf seine Tauglichkeit geprüft.

Nach einem mutmaßlichen Angriff mit chemischen Waffen wird durch die schnelle Aufklärung der Landwege eine zeitnahe Wiederherstellung der militärischen Bewegungsfreiheit erreicht. Hierfür wird ein System für das Aufspüren von hochtoxischen chemischen Substanzen auf Straßenoberflächen benötigt. Der Technologiedemonstrator zur optischen Detektion von Oberflächenkontaminationen (Abb. 1) wurde von uns als potenzieller Nachfolger für das Doppelradspürgerät entwickelt.

Für eine hochaufgelöste Vermessung der Fahrbahn in Echtzeit bei bis zu 80 km/h wird ein sehr schnelles und gleichzeitig sensitives Detektionssystem benötigt. Als technologischer Ansatz wurde die hyperspektrale Infrarot-Rückstreuungsspektroskopie mit aktiver Beleuchtung gewählt, da diese im Vergleich zur Raman-Spektroskopie eine bis zu 10.000-fach höhere Quantenausbeute pro Zeiteinheit erreicht. Das Beleuchtungssystem besteht aus mehreren durchstimmbaren Quantenkaskadenlasern (QCL), welche jeweils komplementäre Spektralbereiche abdecken. Die einzelnen QCL Module ermöglichen dabei spektrale Messgeschwindigkeiten von etwa 1.000 Spektren pro Sekunde (1 kHz). Durch Synchronisation und geschickte Verschachtelung der

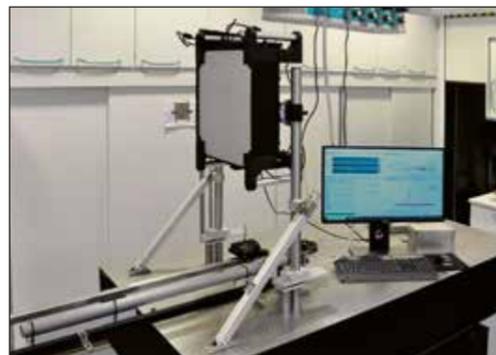


Abb. 1: Technologiedemonstrator für die berührungslose Detektion von chemischen Oberflächenkontaminationen. Der Laboraufbau ermöglicht die dynamische Vermessung von Testoberflächen auf einem fahrbaren Schlitten

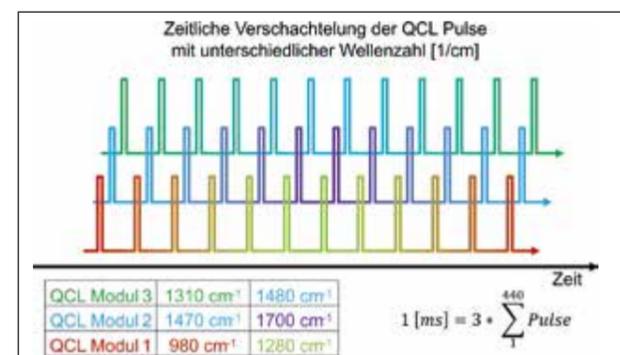


Abb. 2: Verschachtelte Kopplung der QCL Module zur Optimierung der Durchlaufgeschwindigkeit bei der Spektren-Aufnahme (vereinfachte Darstellung). Jedes einzelne IR-Spektrum wird durch 1.320 diskrete QCL-Pulse im Spektralbereich 980 cm⁻¹ bis 1.700 cm⁻¹ aufgebaut

Dr. Yuri V. Flores
Fraunhofer-Institut für angewandte Festkörperphysik IAF
Freiburg

info@iaf.fraunhofer.de

Dr. Marko Härtelt
Fraunhofer-Institut für angewandte Festkörperphysik IAF
Freiburg

info@iaf.fraunhofer.de

jeweiligen wellenzahlspezifischen QCL-Pulse (Abb. 2) kann die hohe spektrale Messgeschwindigkeit erhalten und gleichzeitig der Spektralbereich deutlich erweitert werden. Gezeigt wird dies anhand der Kopplung von 3 Modulen, die zusammen den Spektralbereich von 980 cm⁻¹ bis 1.700 cm⁻¹ abdecken und aus 1.320 diskreten QCL-Pulsen bestehen. Die Ausgabe der QCL Module wird im nachgelagerten optischen System auf einen einzelnen gemeinsamen Strahlengang zusammengeführt.

Die Datenaufnahme erfordert eine Einzelpulsauswertung, die aufgrund der hohen Frequenz derzeit ausschließlich mit einem Einzelpunktdetektor realisiert werden kann. Gesendet und empfangen wird auf demselben optischen Pfad vom Detektionsgerät zur Oberfläche. Hierdurch wird die Messung in einem breiten Abstandsbereich von 40 cm bis 80 cm ermöglicht. Zudem wurde eine automatische Fokussierung für die Erfassung von rauen Fahrbahnuntergründen berücksichtigt. Während der Messung belüftet sich die beleuchtete Fläche, je nach Abstand, auf 3 mm bis 8 mm Punktdurchmesser.

Die bemerkenswerte Messgeschwindigkeit konnte in Laborexperimenten bestätigt werden. Bei einem dynamischen Messaufbau wurde die Probe auf einem fahrbaren Schlitten unter dem Detektorsystem mit circa 30 km/h vorbeigeführt (Abb. 1).

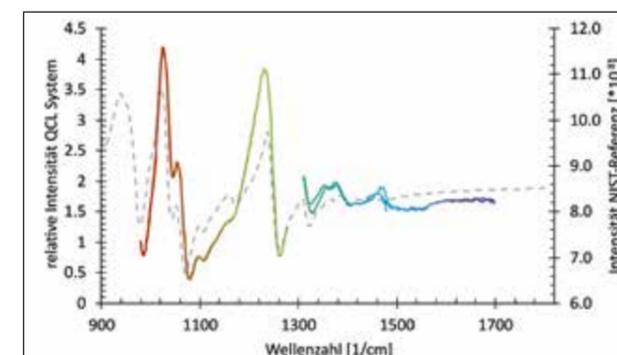


Abb. 3: Einzelspektrum von Diethylmethylphosphonat (farbige Linie), aufgenommen innerhalb von 1 ms. Die Spektraldaten basieren auf diskreten QCL-Pulsen der drei verbauten QCL-Module. Der Abgleich mit dem Referenzspektrum des National Institute of Standards and Technology (NIST, gestrichelte Linie) erlaubt die Identifikation der verwendeten Simulationssubstanz für chemische Kampfstoffe

Da stets eine kontinuierliche Messung erfolgte, bildeten die aufgenommenen Spektren sowohl das Schlittensystem, den Probenträger und die präparierte Oberfläche ab. In Abb. 3 ist exemplarisch ein Einzelspektrum einer Oberflächenkontamination gezeigt. In der Versuchsreihe ergab sich eine gewisse Überabtastung. Im Endeffekt standen stets zahlreiche Einzelspektren für die Substanzidentifikation zur Verfügung, die sich bei Bedarf zur Steigerung der Empfindlichkeit zusammenfassen lassen.

In weiteren anwendungsorientierten Versuchen werden derzeit relevante Untergrundmaterialien, beispielsweise Asphalt-, Beton- und lackierte Metalloberflächen, mit verschiedenen Testsubstanzen untersucht (Abb. 4). Ein angepasster Versuchsaufbau erlaubt zusätzlich die Vermessungen von kontaminierten Realuntergründen bei unterschiedlichen Betrachtungswinkeln. Der Machbarkeitsnachweis zeigt die Realisierungsmöglichkeiten für derartige optische Systeme, welche womöglich auf zukünftigen beweglichen Plattformen der ABC-Aufklärung Anwendung finden.

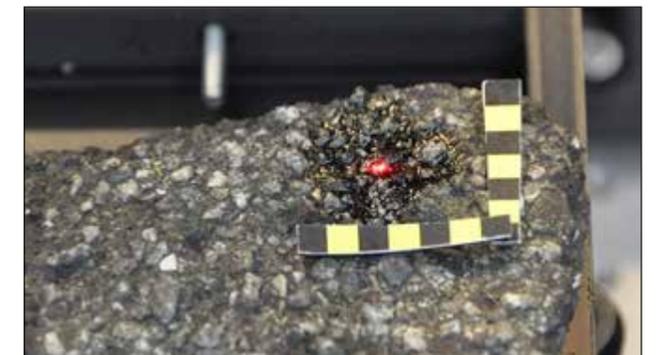


Abb. 4: Untersuchung einer kontaminierten Asphaltoberfläche. In den Laborversuchen wird die aktuelle Messposition mit einem roten Pilotlaser aufgezeigt (Quelle: Wilsenack / WIS)

Dr. Stefan Köhne
Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz
Munster

WISposteingang@bundeswehr.org

Corinna Schache
Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz
Munster

WISposteingang@bundeswehr.org

Feldfähige verlegbare Laborinfrastruktur – Ein Win-Win-Projekt für die militärisch/zivile Umsetzung gesetzlich-normativer Vorgaben zum Umgang mit Biostoffen

Ein gefahrloser und schneller Nachweis biologischer Kampf- und Gefahrstoffe im Feld stellt besondere Anforderungen an die Verfahren und die dazu erforderlichen verlegbaren Einrichtungen. Im Gegensatz zur stationären Laborinfrastruktur erfordert verlegbare Laborinfrastruktur bauliche und technische Konzepte, die nach jedem Ortswechsel einen sicheren Betrieb zum Umgang mit Erregern ermöglichen.

Das Spektrum der biologischen Agenzien, die als potenzielle Kampf- bzw. Gefahrstoffe gelten, umfasst u. a. human- und tierpathogene Bakterien, Pilze und Viren sowie Toxine pflanzlicher, mikrobieller und tierischer Herkunft. Der Umgang mit diesen Biostoffen unterliegt weltweit strikten gesetzlichen Regelungen. Ausgehend von der Infektionsgefährdung dürfen Biostoffe nur in den dafür zugelassenen Laboratorien gehandhabt werden. Die technische Konfiguration für derartige Labore ist in Deutschland durch die EU-Richtlinie 2000/54/EG, die Biostoffverordnung und die Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) vorgegeben. Insbesondere die Bereiche Anlagen- und Sicherheitstechnik, Ein- und Ausschleusebereiche, die Lüftungstechnik, die Wahrung der technischen Barrierefunktion zur Verhinderung des Austritts von Biostoffen (Containment) sowie die Dekontamination sind technische Herausforderungen, die bei der Umsetzung eines verlegbaren biologischen Laborcontainments zu berücksichtigen sind.

Kritische sicherheitsrelevante Bauteile zur Aufrechterhaltung des Containments sind das Werkbanksystem, das Abfallsorgungssystem und die Lüftungssysteme. Jedoch sind nicht



Abb. 1: Belastungsprüfstand (WTD 41, Trier), eingerüstet in einen Prüfcontainer mit dem technischen Baustein Werkbanksystem



Abb. 2: Das Werkbanksystem verfügt über eine automatisierte Filterdichtheits-Prüfung

nur die einzelnen Bauteile, sondern auch deren Schnittstellen für die Betriebssicherheit nach einer Verlegung relevant.

Zur Überprüfung der Dichtigkeit der Containments und der Einhaltung der Unterdruckkaskaden sind nach dem Stand der Technik Druckprüfungen vorgesehen, die in die Einhausung integriert werden und in der Regel vollautomatisiert ablaufen. Eine besonders kritische Schwachstelle, die durch diese Druckprüfungen nicht erfasst wird, stellen die im Lüftungssystem verbauten Filtersysteme dar. Daher müssen nach einem Transport feldfähiger verlegbarer Laborinfrastruktur unverzüglich der Filterdichtheitsitz und die Filterintegrität sowie die Dichtigkeit der Schnittstellen durch Prüfungen und Dokumentation sichergestellt werden.

Um sich diesen technischen Herausforderungen zu stellen, wurden im Rahmen von F&T-Studien technische Bausteine konzipiert, getestet, bewertet (Abb. 1 – 3) und zu Technologiedemonstratoren (Abb. 4) zusammengeführt.

Durch die Zusammenführung technischer Lösungsansätze zu Technologiedemonstratoren und deren fortlaufender technisch-wissenschaftlicher Bewertung sowie durch die aktive Gremienarbeit im Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) gelang es dem Wehrwissenschaftlichen Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) erstmals, ressortübergreifend technische Mindeststandards zur Konzeption einer gesetzeskonformen, feldfähigen verlegbaren Laborinfrastruktur zum Umgang mit Biostoffen festzulegen. Diese wurden im Beschluss 17/2020 „Technische Empfehlung: Anforderungen an mobile Laboreinheiten der Schutzstufe 3“ und im Beschluss 12/2023 „Technische Empfehlung: Anforderungen an mobile Glove-Boxen für die

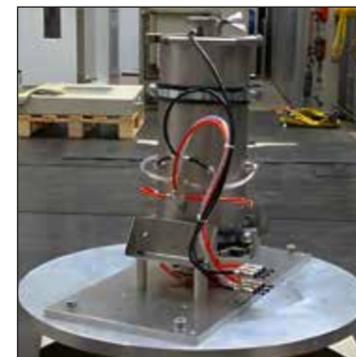


Abb. 3: Entwickelte Filterprüfröhre zur Testung der Integrität eingebauter Filter



Abb. 4: Zusammenführung technischer Bausteine zu einem Technologiedemonstrator „Verlegbare Laborinfrastruktur der Schutzstufe BSL 3 (Biosafety-Level 3)“

Krisenintervention bei außergewöhnlichen biologischen Gefahrenlagen“ (<https://www.baua.de>) dokumentiert und das technische Know-how in der Form von Patenten und Gebrauchsmustern für die Bundeswehr gesichert.

Die Gefährdung durch sich schnell ausbreitende Infektionskrankheiten nimmt durch anthropogene und natürliche Faktoren stetig zu. Außergewöhnliche Seuchengeschehen, wie zuletzt die weltweite SARS-CoV-2-Pandemie, zeigen die Herausforderungen beim sicheren Umgang mit hochpathogenen Biostoffen. Über die Laborinfrastruktur hinaus sind daher auch eingesetzte verlegbare Einrichtungen im medizinischen Bereich beim Transport oder der Pflege von Personen hinsichtlich arbeitsrechtlicher technischer Mindeststandards zu testen und diese verbindlich festzulegen.

ORR Dr. rer. nat. Tanja Vetter
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

WIWeBposteingang@bundeswehr.org

LTRDir Heinrich Dinnebier
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

WIWeBposteingang@bundeswehr.org

Kühlende Beschichtungssysteme für den militärischen Einsatz

Im Hinblick auf die Veränderung der klimatischen Bedingungen und zunehmende Temperaturen – auch in Einsatzgebieten – gilt es Lösungen zu finden. Kühlende Beschichtungen sind eine neue Technologie zur Minimierung der Erwärmung von Materialien durch Sonneneinstrahlung. Die Erprobung dieser Beschichtungen ermöglicht eine Bewertung hinsichtlich Nutzungsreife und möglicher Einsatzbereiche.

Die Überhitzung von Material ist in verschiedenen Bereichen der Bundeswehr problematisch. Hohe Temperaturen führen zum Beispiel in Containern zu einer beschleunigten Alterung von gelagertem Material (z. B. Munition) oder zum Ausfall darin betriebener Geräte. Die Klimatisierung mittels Klimaanlage erfordert einen hohen Energiebedarf und eine regelmäßige Wartung. Gerade in Gebieten mit schwacher Infrastruktur kann die Energieversorgung hierfür nur durch Diesel-Generatoren gewährleistet werden, weshalb der Energieverbrauch möglichst niedrig sein sollte.

Passive Kühlungstechnologien, d. h. Technologien, welche ohne zusätzlichen Energiebedarf kühlen, sollen dieser Problematik entgegenwirken. Als einfachste passive Kühlungstechnologie gilt die Beschattung. Aktuell werden Container durch zusätzliche Bedachung oder Tarnnetze beschattet. Nachteile hier sind das zusätzlich benötigte Material und der Auf- und Abbau vor Ort und bei widrigen Wetterverhältnissen.

Eine relativ junge Technologie zur passiven Kühlung basiert auf Beschichtungen. Diese haben den Vorteil, dass nach Lack-

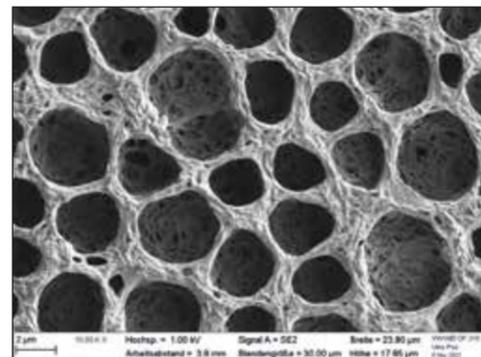


Abb. 1: REM-Aufnahme der porösen PDRC-Polymerschicht mit kühlenden Eigenschaften (Quelle: Bundeswehr / Fuchs)

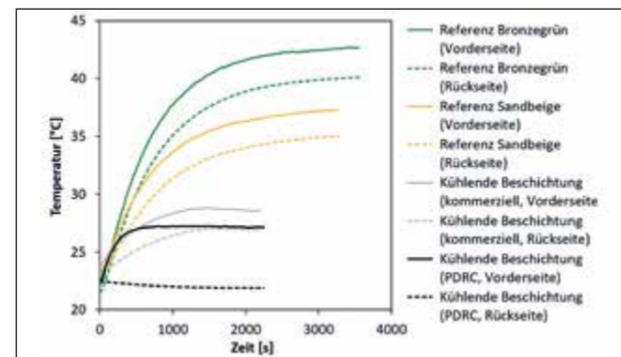


Abb. 2: Temperaturverläufe gemessen auf Vorder- und Rückseite von Prüfplatten im Sonnensimulator mit kaltem Himmel (Raumtemperatur: 22° C)

applikation kein zusätzliches Material transportiert oder aufgebaut werden muss. Bereits kommerziell verfügbare Beschichtungen ermöglichen durch hohe Reflexion im solaren Spektrum eine langsamere Erwärmung und geringere Oberflächentemperaturen. Ein kanadisches Startup hat basierend auf Erkenntnissen der Columbia University eine poröse Polymerschicht (vgl. Abb. 1) entwickelt, welche eine hohe Reflexion im solaren Spektrum und eine hohe Emission von Wärmestrahlung kombiniert (passive daytime radiative cooling – PDRC). Bei idealen Bedingungen sollen Temperaturen unterhalb der Umgebungstemperatur erreicht werden.

In einer Studie am Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe in Erding wurden verschiedene kühlende Beschichtungssysteme erprobt. Ziel war es, diese Beschichtungen im Vergleich zu aktuell verwendeten Beschichtungen, Beschattungsmethoden und weiteren passiven Kühlungstechnologien einzuordnen. Für letzteres wurden Wärmespeicherplatten (Phase Change Material – PCM) und Abstandsgewirke näher betrachtet.

Alle kühlenden Beschichtungen wurden hinsichtlich lackspezifischer Kenngrößen (z. B. Haftung) im Labor untersucht. Das Kühlvermögen der Beschichtungen wurde im Sonnensimulator der Wehrtechnischen Dienststelle 52 in Oberjettenberg geprüft. Temperaturmessungen auf Vorder- und Rückseite zeigen eine deutlich niedrigere Erwärmung bei den Prüfplatten mit kühlenden Beschichtungen (vgl. Abb. 2) im Vergleich zu Referenzplatten. Auf der Rückseite der Platte mit PDRC-Beschichtung kann sogar eine leichte Temperaturabnahme verzeichnet werden.

Zur Erprobung der kühlenden Beschichtungen im realen Szenario wurden Container mit den verschiedenen Technologien ausgestattet. Neben zwei Referenzcontainern in bronzegrün und sandbeige (vgl. Abb. 3, rechts) wurden zwei Container (einmal nur Dach und einmal komplett) mit der PDRC-Beschichtung versehen. Auf zwei weiteren Containern wurden kommerziell verfügbare kühlende Beschichtungen appliziert. Zwei weitere Container wurden mit PCM-Platten und Abstandsgewirke ausgestattet. Auf den letzten beiden Containern wurde die Beschattung mittels Bedachung und Tarnnetz nachgestellt.

Die Temperaturmessungen in und auf den Containern mit passiver Kühlung zeigten eine niedrigere Temperatur im Vergleich zu den Referenzcontainern (vgl. Abb. 3 unten). Leistungsmessungen bestätigten einen niedrigeren Energieverbrauch der Klimaanlage. Besonders stach der Container mit der kompletten PDRC-Beschichtung heraus. Hier konnten an einem wolkenlosen Tag Oberflächentemperaturen unterhalb der Lufttemperatur erreicht werden.

Zukünftige Untersuchungen sollen zeigen, ob eine Farb Anpassung möglich ist, um diese aktuell weißen Beschichtungen zur Tarnung zu nutzen. Außerdem sollen die Einflüsse von Witterung, Alterung und Verschmutzung geklärt werden.

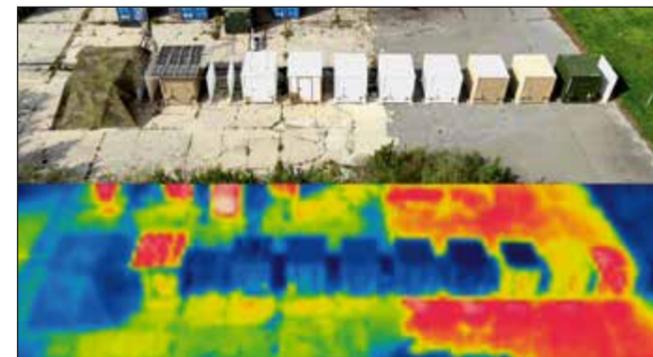


Abb. 3: Versuchsaufbau der Container mit verschiedenen passiven Kühlungstechnologien (oben) und Aufnahme der Container mit Wärmebildkamera (unten) Von links nach rechts: Tarnnetz, Dach, Abstandsgewirke, PCM, kommerzielle reflektierende Beschichtung 1, kommerzielle reflektierende Beschichtung 2, PDRC ganzer Container, PDRC nur Dach, Referenz sandbeige, Referenz bronzegrün (Quelle: Bundeswehr / Kopa)

Christoph Petroll
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

WIWeBposteingang@bundeswehr.org

Karl Scholz
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

WIWeBposteingang@bundeswehr.org

Drohnennavigation ohne GNSS: Untersuchung von Schwarm- und bildbasierten Lokalisierungsmethoden

Navigationen ohne Satellitenunterstützung für hochautomatisierte Flugsysteme sind von erheblichem Interesse und Gegenstand aktueller Forschung im Innovationslabor. Zwei untersuchte Ansätze sind der Einsatz von Schwarmtechnologien und die bildbasierte Lokalisierung mit 2D-Karten. Ziel der Arbeiten sind robuste und effiziente Navigationslösungen ohne GNSS (Global Navigation Satellite System) für Aufklärung und Kampfunterstützung.

Der technologische Fortschritt erlaubt es sUAVs (small Unmanned Aerial Vehicles) kleiner und leistungsfähiger zu bauen. Dies ermöglicht auch den Einsatz von Schwärmen in begrenzten Räumen. Herausfordernd ist hier die Koordination der Schwärme ohne GNSS. Die Lokalisierung von Drohnen erfordert üblicherweise SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) Algorithmen. Diese benötigen in der Regel komplexe Sensorik wie rotierende Light Detection and Ranging (LiDAR) Sensoren oder Stereokameras, was für Kleinstdrohnen (< 1 kg) oft nicht realisiert ist. Daher wurden zwei innovative, hardwareminierte Ansätze untersucht.

In einer aktuellen Forschungsarbeit wurden mehrere kleine UAVs (Abb. 1) genutzt, um im Innenraum eine Positionsbestimmung durchzuführen. Dabei wurden 1D-LiDAR-Sensoren und die Messung der Abstände zu den anderen Schwarmteilnehmern durch UWB (Ultra-Wideband) Funktechnologie genutzt. Der begrenzte Wahrnehmungshorizont eines Schwarmteilnehmers lässt sich durch LiDAR-Sensoren ohne externes Referenzsystem nicht sicher für Lokalisierung oder Raumkartierung nutzen. Durch Vermessung der Abstände zueinander



Abb. 1: Crazyflie Schwarmdrohne mit Sensorik



Abb. 2: Luftaufnahme des Testbereichs mit markierten Positionen zur Validierung der Schwarmkoordination

Daniel Rossow
Universität der Bundeswehr München
Neubiberg

info@unibw.de

Prof. Dr. Antje Neve
Universität der Bundeswehr München
Neubiberg

info@unibw.de

kann bestimmt werden, wo sich die Teilnehmer im Raum befinden, wenn sie gleichzeitig interagieren. Der Herausforderung dabei völlig auf eine externe Referenzierung zu verzichten wurde durch Nutzung Kalman gefilterten Sensorfusion aus visueller Odometrie und UWB basierter Laufzeitmessung begegnet. Mit Hilfe dieser Methodik wurde ein Ansatz auf schwarmrobotischen Prinzipien entwickelt und unter anderem im Szenario der Überwindung einer Engstelle (Abb. 2) validiert.

In einer weiteren Arbeit wird die Lokalisierung von Drohnen auf 2D-Karten unter Verwendung einer einzelnen Kamera und Methoden des maschinellen Lernens bearbeitet. Dieser Ansatz gliedert sich dabei in mehrere Phasen.

In der ersten Phase wird ein Teil eines definierten Übungsraums mittels Photogrammetrie digitalisiert, um eine realitätsnahe Simulationsumgebung für Drohnenflüge zu schaffen (Abb. 3). Diese digitale Umgebung dient als Basis um eine ausreichend große Menge an Trainingsdaten für neuronale Netze zu erzeugen (vgl. Abb. 4). Anschließend werden in der zweiten Phase vorhandene 2D-Karten des geplanten Einsatzgebiets analysiert und durch Methoden der semantischen Segmentierung um zusätzliche Informationen (Straßen, Gebäude, Wald, Wiesen o. ä.) erweitert. In der dritten Phase werden während des Einsatzes Bilder aus der Vogelperspektive einer Drohne analysiert und

die gleichen semantischen Informationen extrahiert. Durch den Abgleich mit den erweiterten Karten aus der vorherigen Phase kann die Lokalisierung erfolgen. Je größer die Flughöhe bzw. je weiter das Field of View und damit die Menge an vorhandener Information, desto effektiver funktioniert aktuell diese Methode.

Beide Ansätze zeigen ein Potenzial, Drohnen und Schwärme in Umgebungen ohne GNSS zu lokalisieren. Während die UWB-Schwarmtechnologie die kollektive Leistungsfähigkeit und Koordination von UAVs verbessert, bietet die bildbasierte Lokalisierung eine präzise und kosteneffiziente Navigationslösung im Außenbereich. Diese Technologien tragen dazu bei, die Beschränkungen des heutigen GNSS-gesteuerten Drohnenfluges zu überwinden und militärische Anwendungsfelder der Kampfunterstützung oder Logistik zu erschließen.



Abb. 3: Darstellung des (mittels Photogrammetrie) digitalisierten Testgeländes mit einer Wegpunktkette für Drohnennavigationssichten



Abb. 4: Vergleich der Drohnennavigationssichten: Links die exportierte perspektivische Ansicht aus der Ich-Perspektive und rechts die Aufsicht aus der Vogelperspektive aus dem Photogrammetriemodell

Dr. Matthias Bleckmann
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

WIWeBposteingang@bundeswehr.org

Dominik Santl, M. Eng.
Airbus Defence & Space
Manching

questions-web@airbus.com

Robuste Radartarnmaterialien

Die nachträgliche Integration einer Tarnung in Flugzeuge erfordert erheblichen Aufwand. Es ist daher sinnvoll die Signaturreduktion früh in der Entwicklung zu berücksichtigen. Dies umfasst die Gestaltung der Flugzeugform sowie die Triebwerksintegration, um den Radarquerschnitt zu minimieren. Hierbei spielen radarabsorbierende Materialien eine entscheidende Rolle.

Herkömmliche Tarnmaterialien in Kampfflugzeugen sind empfindlich und erfordern deshalb einen hohen Wartungsaufwand. Im Rahmen europäischer Rüstungsprojekte wird angestrebt, Expertise und Fertigungstechnologien für Tarnmaterialien in Deutschland und Europa aufzubauen.

Das Wehrwissenschaftliche Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB) forscht seit Jahren an geeigneten Materialien, um Luftfahrzeuge leichter, stabiler und funktionaler zu gestalten. In Kooperation mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Firma AIRBUS DS und dem Institut für Leichtbau an der Universität der Bundeswehr (UniBw M) wurde im Dezember 2022 ein gemeinsames Technikum für Tarnmaterialien eröffnet. Hier erforschen die Kooperationspartner gemeinsam eine neue Generation von Tarnwerkstoffen. Das Projekt wird an verschiedenen Standorten in enger Kooperation bearbeitet.

Hochgetarnte Flugzeuge setzen für ihre radarabsorbierenden Eigenschaften angepasste Tarnwerkstoffe an verschiedensten Stellen ein. Da verfügbare Lösungen, gesehen auf die Flugzeit,



Abb. 1: Einzelne S2-Glasfaser bedeckt mit absorbierenden Partikeln

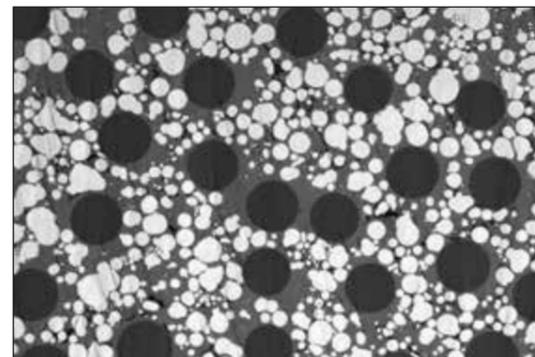


Abb. 2: Mikroskopische Aufnahme eines Schlibbildes von radarabsorbierendem Faserverbundwerkstoff – schwarz: Glasfaser; dunkelgrau: Epoxidharzmatrix; weiß: Füllstoff

Josef Ganslmaier, M.Sc.
Universität der Bundeswehr München
Neubiberg

info@unibw.de

Erik Buchenau, M.Sc.
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

sehr wartungs- und damit kostenintensiv sind, wird in zukünftigen Entwicklungen verstärkt auf widerstandsfähigere Absorbersysteme gesetzt. Vielversprechend ist daher die Neuentwicklung eines radarabsorbierenden Materials auf Basis von Faserverbundwerkstoffen. Durch das Einbringen von dielektrischen oder magnetischen Materialien in den Verbund verspricht man sich die Integration absorbierender Eigenschaften in robusten Bauteilen zum vielfältigen Einsatz am Flugzeug.

Ein Fokus der Arbeiten besteht in der Konzeptionierung und Ausarbeitung neuartiger Fertigungsverfahren zur Herstellung geeigneter Faser- oder Faser-Matrix-Halbzeuge zum Einsatz in radarabsorbierenden bzw. radargetarnten Strukturen. Das Ziel ist es, die grundlegenden Wirkmechanismen in den Materialien zu verstehen und gezielt beeinflussen zu können.

In einem systematischen Ansatz werden Fertigungskonzepte und Materialkombinationen zur Einbringung der gewünschten Eigenschaften erarbeitet. Hierfür ist es notwendig bereits die Rohmaterialien entsprechend zu charakterisieren.

Durch die Einbringung von Füllstoffen in ein Faserhalbzeug (Abb. 1) verspricht man sich makroskopisch eine gleichmäßige und gut einstellbare Verteilung der Füllstoffe zu erzielen. Die

Eignung dieser Herangehensweise konnte bereits optisch validiert werden (Abb. 2). Durch das Einbringen der Füllstoffe verringern sich die spezifischen mechanischen Kennwerte im Vergleich zum reinen Faserverbund, jedoch zeigt sich, dass auch bei sehr hohen Füllgraden noch hinreichende Werkstoffeigenschaften erzielt werden können (Abb. 3).

Nach der Herstellung von entsprechenden Proben werden ihre elektromagnetischen Eigenschaften charakterisiert. Im Zuge dessen werden Hochfrequenzmessungen durchgeführt, um die Reflexions- und Absorptionseigenschaften der Proben zu bestimmen, aus denen sich dann die elektromagnetischen Materialparameter ableiten lassen (Abb. 4).

Neben der Herstellung und Messung der Proben besteht ein Teil der Forschung darin, elektromagnetische Aspekte des Absorber-Designs von theoretischer Seite zu erforschen und mithilfe von analytischen Methoden sowie elektromagnetischen Computersimulationen im Detail zu untersuchen.

Die mit dem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse sollen genutzt werden, um Kompetenzen im Bereich Low Observability (LO) auf nationaler Ebene auszubauen. Alle Projektpartner engagieren sich, mit dem Ziel Tarntechnologie *Made in Germany* weiter voranzutreiben.

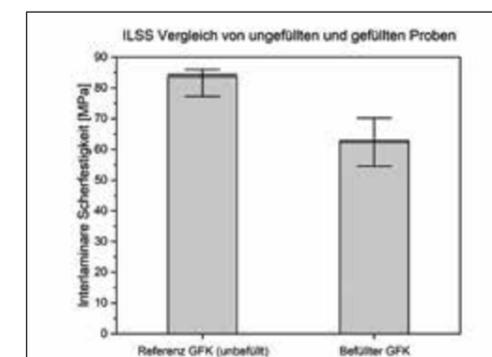


Abb. 3: Reduktion der interlaminaren Scherfestigkeit von befülltem Material in Gegenüberstellung zu ungefülltem Glasfaserkunststoff

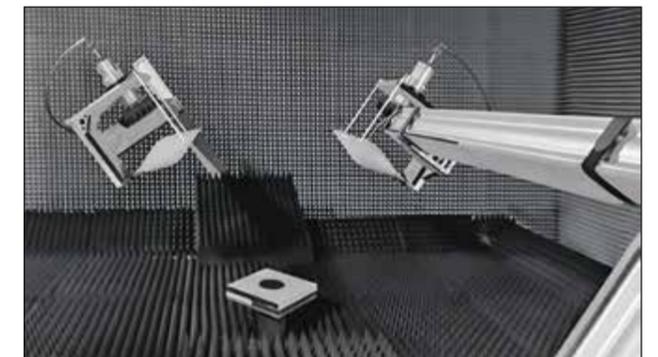


Abb. 4: Hochfrequenzmessung einer Materialprobe in einem reflexionsarmen Raum mit schwenkbaren Sende- und Empfangsantennen

Dipl.-Ing. Nils Hiller
MTU Aero Engines AG
München

info@mtu.de

Dr. Daniel Spieker
MTU Aero Engines AG
München

info@mtu.de

Technologiedemonstration einer verstellbaren Niederdruckturbinen für zukünftige Luftfahrtantriebe

Militärische Hochleistungsantriebe für Flugzeuge und Helikopter müssen bei unterschiedlichen Leistungsanforderungen über einen weiten Betriebsbereich effizient operieren können. Mit dieser Zielsetzung wurde bei der MTU Aero Engines AG im Rahmen des Hochtemperatur-Turbinendemonstrators (HTTD) auf Basis eines MTR390-Triebwerks eine Turbinen mit variablem Leitrad konzipiert und erfolgreich validiert.

Zukünftige Luftfahrtantriebe in militärischen Anwendungen müssen bei unterschiedlichen Leistungsanforderungen effizient operieren können, um eine große Nutzlast bzw. Reichweite zu ermöglichen. Die Technologie eines VCE (Variable Cycle Engine)-Triebwerks rückt verstärkt in den Mittelpunkt des Interesses. Über eine veränderliche Strömungsgeometrie kann in VCE-Triebwerken der thermodynamische Kreisprozess an die spezifischen Anforderungen einzelner Missionssegmente angepasst werden.

Als Baustein für ein VCE-Triebwerkskonzept wird das Potential variabler Kapazität mit Hilfe verstellbarer Turbinen – mit dem Wirkungsgrad als wesentliche Kenngröße – vor allem in Hinblick auf Kraftstoffverbrauch als hoch eingeschätzt. Die Turbinentechnologie ist, neben Verdichter und Regler, Schwerpunkt der nationalen Kompetenz bei militärischen Luftfahrtantrieben. Niederdruckturbinen (NDT) sind hierbei Schlüsselkomponenten.

Die Zielsetzung des seitens der Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge und Luftfahrtgerät (WTD 61) beauftragten



Abb. 1: Basis-Triebwerk MTR390-2C



Abb. 2: Modifikation zum HTTD-Demonstrator

TRDir Michael Krummenauer
Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge und Luftfahrtgerät
(WTD 61)
Manching

WTD61AntriebFuT@Bundeswehr.org

F&T-Vorhabens bestand darin, dieses Potential mittels des HTTD auf Basis eines existierenden Wellenleistungstriebwerks aufzuzeigen und in Triebwerkstests zu validieren. Die erforderlichen Aktivitäten zur Technologiedemonstration wurden bei der MTU Aero Engines AG durchgeführt. Durch die WTD61 wurde ein Leihtriebwerk MTR390-2C (Abb. 1) zur Verfügung gestellt.

Im HTTD wurde VCE-Technologie in Form einer einstufigen, verstellbaren Niederdruckturbinen (VCE-NDT) umgesetzt. Hierzu wurde die Nutzturbine des Basistriebwerks durch eine neue Technologie-Turbine mit fortschrittlichen Werkstoffen und Konstruktionselementen ersetzt (Abb. 2). Diese VCE-NDT zeichnet ein mechanisch verstellbares Leitgitter (VGV) aus, wodurch die Kapazität der Turbinen beeinflusst werden kann. Neben der VCE-NDT ermöglichte der Demonstrator Materialtechnologie-Validierungen an weiteren Komponenten, die im Rahmen des EU-Programms „Clean Sky 2“ (CS2) gefördert und in Kooperation mit GKN Aerospace Sweden AB im Projekt EMVAL (Engine Material Validation) durchgeführt wurden.

Das mehrjährige F&T-Vorhaben wurde 2023 mit der finalen Montage des HTTD und der Integration in die Prüfzelle (Abb. 3), der Durchführung der Testkampagne sowie anschließender Demontage, Befundung und Auswertung der Testergebnisse

erfolgreich abgeschlossen. Im Testbetrieb wurde die VCE-NDT unter realen Triebwerksbedingungen mit ca. 2000 Einzelverstellungen und mehr als 230 Stunden Laufzeit erfolgreich erprobt. Bei der Teilebefundung nach dem Test waren die Verstellkomponenten schadensfrei und ohne relevanten Verschleiß, was die ordnungsgemäße Funktionsweise nachweist.

Mit Hilfe der umfangreichen Instrumentierung und Messtechnik wurde im Testbetrieb u. a. eine Kennfeldaufnahme für die VCE-NDT ermöglicht. Die Messdaten zeigen, dass eine sehr gute Stabilisierung in allen Betriebspunkten erreicht wurde. Der Zusammenhang zwischen NDT-Kapazität und Winkelstellung des Leitgitters konnte wie erwartet aufgezeigt (Abb. 4) und die zugrundeliegende Auslegungsmethodik validiert werden.

Bei konstanter Winkelstellung wird bei größeren Druckverhältnissen ein höheres Kapazitätsniveau erreicht. Mit größeren Winkelstellungen steigt die NDT-Kapazität an. Dieser Zusammenhang kann genutzt werden, um u. a. einen bzgl. Leistung flexiblen und gleichzeitig effizienten Betrieb zu ermöglichen.

Mit Projektende 2023 stehen nunmehr technologisch erprobte, neue Design-Elemente und entsprechend validierte Auslegungskompetenzen zum möglichen Einsatz in zukünftigen militärischen Antrieben zur Verfügung.

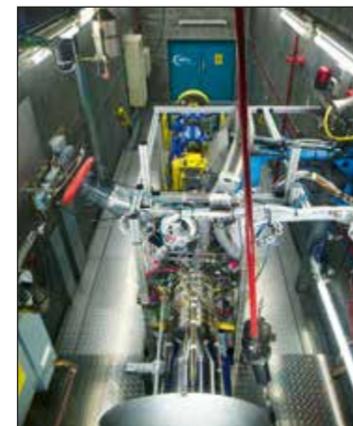


Abb. 3: Gesamtintegration des HTTD im Prüfstand

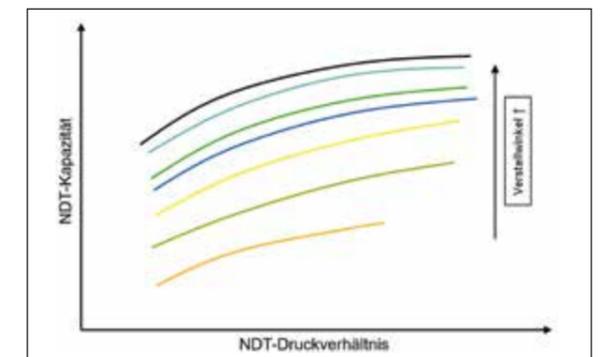


Abb. 4: NDT-Kapazität über dem NDT-Druckverhältnis für verschiedene VGV-Stellungen

ORR Christian Haak
 Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime
 Technologie und Forschung (WTD 71)
 Eckernförde

RDir Dr. Jan Abshagen
 Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen,
 Maritime Technologie und Forschung (WTD 71)
 Eckernförde

WTD71posteingang@bundeswehr.org

WTD71posteingang@bundeswehr.org

Wasserschalleintrag bei Unterwasserdetonationen

Der Eintrag von Wasserschall durch Unterwasserdetonationen stellt eine Beeinträchtigung der Meeresfauna dar. Zur Genehmigung solcher Sprengungen durch die zuständigen Umweltbehörden ist eine Bewertung der Schallpegel erforderlich.

Im Sperrgebiet vor Schönhagen in der westlichen Ostsee werden für unterschiedliche Anwendungen Sprengungen im Wasser durch die Marine und die Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71) durchgeführt, deren induzierter Wasserschall in die umliegenden Gebiete der Kieler Bucht einwirkt. Um mögliche Beeinträchtigung der Meeresfauna bewerten und durch geeignete Maßnahmen reduzieren zu können, müssen der Wasserschalleintrag durch Unterwassersprengungen sowie die Wirkung unterschiedlicher Schallminderungsmaßnahmen (Blasenschleier) durch experimentelle Untersuchungen in See quantifiziert werden.

Im November 2022 und September 2023 wurden in Zusammenarbeit mit weiteren Landes- und Bundeseinrichtungen während zweier Sprengkampagnen der Marine im Sperrgebiet vor Schönhagen Wasserschallmessungen durchgeführt (Abb. 1). Dabei sind der Wasserschalleintrag von unterschiedlichen Sprengladungen mit und ohne Schallminderungsmaßnahmen bestimmt und die Pegelbeiträge durch unterschiedliche Ausbreitungswege quantifiziert worden.



Abb. 1: Unterwasser- Detonation einer Sprengladung von ca. 100 kg TNT-Äquivalent im Sept. 2023 im Sperrgebiet vor Schönhagen in der westlichen Ostsee. Um die Ladung herum heben sich die zwei konzentrischen Blasenschleier ab (Quelle: WTD 71 GF 440)



Abb. 2: Für die Messungen von Bord verwendete Hydrophone (links) und AMAR-Hydrophonbojen für Messungen in größeren Entfernungen von der Sprengstelle (rechts)

Während der Kampagnen kamen verschiedene Ladungsgrößen von sogenannten Referenzladungen von 50 g und 100 g TNT-Äquivalent bis hin zu Ladungen von 100 kg TNT-Äquivalent zum Einsatz. In konzentrischen Kreisen um die Sprengstelle wurden während der Sprengungen zumeist zwei Blasenschleier zur Schallminderung betrieben, die nur bei einigen Referenzladungen ausgeschaltet wurden. Die Wasserschallmessungen erfolgten mit abgehängten Hydrophonen von Bord eines Schiffes in einem Abstand zwischen 1 km und 3 km Entfernung. Weitere Messungen wurden in 10 km Entfernung mit Hilfe von verankerten Hydrophonbojen (Abb. 2) durchgeführt.

Sowohl die in der Nähe (1 – 3 km) als auch in größerer Entfernung (10 km) von der Sprengstelle in einer Tiefe von 2 m über dem Grund aufgezeichnete Spektrogramme weisen die für Unterwasserdetonationen typischen kurzen, hochfrequenten Peaks auf. Vor Eintreffen des Peaks wird jeweils das Einsetzen eines tieffrequenten, zeitlich länger anhaltenden Signalanteils registriert, der in der Nähe zur Sprengstelle unterhalb einer Sekunde, in ca. 10 km Entfernung aber deutlich oberhalb einer Sekunde vor dem Eintreffen des hochfrequenten Peaks registriert wird (Abb. 3). Dieses deutet darauf hin, dass der tieffrequente Anteil durch ein Medium mit höherer Schallgeschwindigkeit, dem Meeresboden, übertragen wird, was einen zusätzlichen Übertragungspfad nahelegt, der nicht durch den Blasenschleier beeinflusst wird. Dennoch zeigt der Vergleich von unmitigierten zu mitigierten Referenzladungen die Wirksamkeit des Blasenschleiers und ermöglicht eine quantitative Auswertung (Abb. 4).

Eine Abschätzung zeigt, dass in größerer Entfernung von der Sprengstelle in einer Tiefe von 2 m Höhe über dem Grund der tieffrequente, durch den Boden übertragene Anteil sowohl den

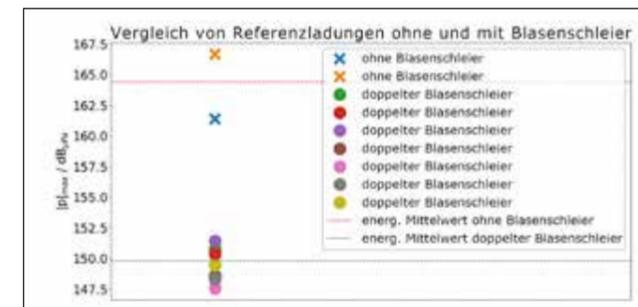


Abb. 3: Spektrogramme einer Detonation gemessen in einer Tiefe von 2 m über dem Meeresboden in ca. 1 km (oben), 10 km (mitte) und 50 km (unten) Entfernung von der Sprengstelle (Farbgebung für Kontrasterhöhung stark überhöht, Clipping). Pfeile nach rechts: Einsetzen des tieffrequenten Anteils, Pfeile nach links: Einsetzen des hochfrequenten Anteils (in ca. 50 km Entfernung nicht mehr sichtbar)

Gesamtpegel als auch den sogenannten Sound-Exposure-Level (SEL, Einzelereignispegel) dominiert. Der durch das Wasser übertragene hochfrequente Signalanteil spielt hier nur eine untergeordnete Rolle. Vorläufige Untersuchungen zeigen indes, dass sich mit zunehmender Höhe über dem Meeresboden das Verhältnis der beiden Signalanteile zueinander tendenziell ändert. Grundsätzlich wurden in Bodennähe höhere Pegel als in der Wassersäule ermittelt.

Die bei den Kampagnen gewonnen Erkenntnisse fließen in die Abstimmung mit den beteiligten Landes- und Bundesbehörden ein, um ein möglichst umweltschonendes Vorgehen bei zukünftigen Unterwassersprengungen durch Marine und WTD 71, wie z. B. die in 2024 geplante Ansprengung der F122 Ex-Karlsruhe, zu erreichen.

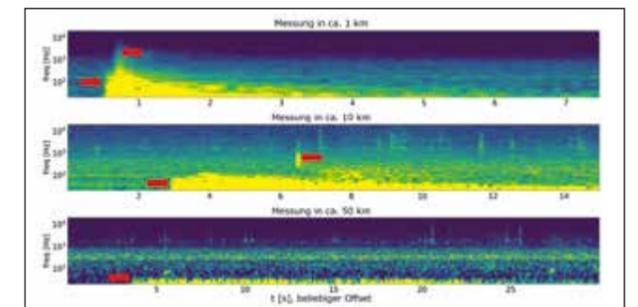


Abb. 4: Vergleich der Maximalpegel von Sprengungen ohne und mit Blasenschleier bei Unterwasser-Detonationen von Referenzladungen gleicher Größe (100 g TNT)

Dr. Ivor Nissen
Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime
Technologie und Forschung (WTD 71)
Kiel

WTD71posteingang@bundeswehr.org

Alexander Rauch
Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen,
Maritime Technologie und Forschung (WTD 71)
Kiel

WTD71posteingang@bundeswehr.org

Smarte Kooperation der Kampfschwimmenden mit autonomen Begleitern

Für die Teildimension Unterwasser sind (un)bemannte sowie (un)bewegliche Teilnehmer kabellos zu verbinden. Das Zielbild 2035+ der Deutschen Marine benötigt ein gehärtetes Unterwasser-Ad-hoc-Netzwerk, das Schiffe, U-Boote und Taucher genauso berücksichtigt wie den umfassenden Einstieg in unbemannte Begleiter wie Gatewaybojen, Sensor/Relais-Seebodenknoten, Tauchroboter und Mediumwechsler wie Hybrid Aerial Underwater Vehicles.

Die Kooperation von Tauchenden im Team mit unbemannten Systemen ist besonders herausfordernd. Bei kleinsten Bau-Größen der Geräte muss die digitale Kommunikation ohne Nutzung der Hände erfolgen, da diese zum Schwimmen benötigt werden. Erfordernis ist ein hinreichendes und kontinuierlich geführtes „Gemeinsames Rollenorientiertes Unterwasser-Einsatz-Lagebild“ (GRUEL) im finsternen Operationsraum. Insbesondere hat das Erkennen gegnerischer Aktivitäten, deren Bewertung und die zur eigenen Handlungsfähigkeit notwendige Kommandierung der unbemannten Begleiter bis hin zur Übertragung von Aufträgen an die Roboter höchste Priorität.

Hierzu dient die Unterwassersprache GUWAL (Generic Underwater Application Language), eine einfache und bitsparende Nachrichtenklasse, die für die vier Kooperationsanteile „Fragen“, „Antworten“, „Befehlen“ und für den Menschen „SMS/Chat“, welche den Unterwasserschallkanal effizient und verratsarm nutzt. Für Kampfschwimmer ist in 2023 mittels einer Studie beim Industriepartner develogic ein komplettes Taucher-kommunikations- und -navigationsgerät entwickelt worden, das sich in das Unterwassernetzwerk einfügt und eine Inter-



Abb. 1: Rotte bei der Positionierung mittels GPS und bei der Navigation hin zu einem NEREUS-Bodenknoten. Der Knoten im Arsenalbecken besitzt die GUWAL-Adresse 1.15, die kooperative Rotte die Adresse 2.4)

aktion mit jedem authentifizierten Teilnehmer erlaubt. Abb. 1 zeigt eine Rotte, die über eine GPS-Boje einen Positionsfix nimmt und den Standort für ein Homing rottenintern teilt. Insbesondere die Kooperation und Koordinierung mit autonomen Begleitern liefert einen Fähigkeitsaufwuchs für getauchte Spezialkräfte, um langwierige und arbeitsintensive Missionen in gefährlichen Gebieten zu übernehmen (Dull, Dirty, Dangerous).

Ein Rückgrat sind Meeresbodenknoten, die als Sensor und Kommunikationsrelais fungieren und somit den Aufbau von Multihop-Netzwerken oder einer Ujagd-Barrier ermöglichen. Eine Kooperation zwischen einem authentifizierten Taucher, der vom Bodenknoten über mögliche generische Taucherkräfte informiert wird, wurde im November 2023 im Hafen von Kiel demonstriert: Der Bodenknoten mit der GUWAL-Adresse 1.15 hört im Arsenalbecken (gelber Punkt in Abb. 2) und meldet Taucherkontakte, die sich durch ihre Geräusche im Wasser verraten. Neben der Detektionsrichtung und dem Zeitstempel wird zudem eine akustische RGB-Markierung (Label) mitgeteilt. Mit dieser Markierung können Objekte in einer Lage zugeordnet werden. Zudem hat Taucher 1 mit seiner GUWAL-Adresse 2.4 der Rotte 1234 ein Kommando mit dem Index 0 gesendet, das in einem Codebook im Head-Up-Display als lesbare Nachricht interpretiert wird:

Source Address: 2.4, Command @ Thu Nov 9 11:56:15 2023,
Command 7 (Diver), Device Number: 1234, Execution Check List B:
0, Direction 38.0, EMCON: NO, Checksum: 020D

Bei zwei Schall-Detektionen der Fremd-Taucher wurde die Richtung von 175° vom Bodenknoten korrekt geschätzt



Abb. 2: Links: Bodenknoten vor der Auslegung auf FS Planet, rechts Peilung der annähernden Fremd-Taucherrotte durch den Bodenknoten in der Richtung 175° im Arsenalbecken in Kiel mittels hydroakustischer Detektion

(1° Rundungsungenauigkeit), beide Male wurde ihnen eine akustisch bläuliche Farbe als Markierung angefügt. Die Taucher haben im Netzwerk ihre Position mitgeteilt (grün).

Ein Auszug aus der GUWAL-Korrespondenz lautet:

Source Address: 1.15, Water Environment Acoustic Detection @
Thu Nov 9 15:20:30 2023, Bearing at CPA: 174°, MAC: 048A (1162),
Checksum: B840

Source Address: 1.15, Data Identification Acoustic Color @
Thu Nov 9 15:20:30 2023, Type: default,R-Value: 49,R-Index:
0,G-Value: 29,G-Index: 1,B-Value: 98,B-Index: 2,MAC: 048A (1162),
Checksum: EF10

Source Address: 2.4, Destination Address: 2.3, Data Position,
Seconds in hour: 52:15, Lat: 54.3286750000°, Lon: 10.1689333333°,
Depth: 0.0 m, Checksum: 2DF7

Die Anwendungssprache GUWAL erlaubt vielfältige Fähigkeitsaufwüchse bei der Kooperation im Manned-And-Unmanned Teaming (MUM-T), zwischen allen Unterwassereinheiten. Jede Symphonie benötigt jedoch instrumentenangepasste Notenvorgaben und einen Dirigenten im Orchester, der durch die Synchronisation für das harmonische Spiel sorgt. Die Instrumente/Werkzeuge sind vorhanden, die Marine kann nun die Notenblätter (Vignetten) erstellen.

TRDir Dr. Sebastian Teich
Wehrtechnische Dienststelle für Informationstechnologie und Elektronik
(WTD 81)
Greding

WTD81TFHalbleiter@bundeswehr.org

Dr. Michael Brandfaß
Hensoldt Sensors
Ulm

info@hensoldt.net

Erschließung neuer Fähigkeiten: Multifunktionelle RF-Systeme

Multifunktionelle RF-Systeme (Radio Frequency) kombinieren die Funktionen Radar, Elektronischer Kampf und Datenlink für den Multiplattformbetrieb und eröffnen entscheidende Vorteile durch kognitive, softwaredefinierte Sensoren sowie adaptives Ressourcenmanagement. Es wurden notwendige Halbleiterkomponenten konzipiert, komplexe Module erforscht und deren Systemintegration demonstriert.

Zukünftige multifunktionelle RF-Systeme (MFRFS), die klassische Funktionen für Radar, elektronischen Kampf (EK) und Kommunikation in einem Gerät kombinieren (Abb. 1), gelten als „Game Changer“ in der Aufklärung und Verteidigung. Die Kombination dieser Funktionen über gemeinsam genutzte Hardware (Abb. 2) ermöglicht höchste Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, da die Funktionalität softwaredefiniert angepasst wird. Die technologische Herausforderung liegt in der Notwendigkeit eines ultrabreitbandigen (UWB) instantanen Frequenzbereichs für Active Electronically Scanned Array (AESA) Antennen, z. B. L- bis C- oder C- bis Ku-Band. Mit der UWB Frequenzabdeckung bieten diese Systeme einen integrierten Ansatz für Radar-, EK- und Datenlink-Funktionalitäten zur Verbesserung der Situational Awareness.

Wesentliche Charakteristiken von MFRFS umfassen UWB AESA-Antennen, UWB digitale Signalabtastung und skalierbare, modulare Architekturen. Eine Schlüsselfunktion ist u. a. die Fähigkeit, gleichzeitig mit mehreren Antennenbeams aussenden und empfangen zu können, die es damit erlaubt, verschiedene Radar-Modi simultan auszuführen. Die Fähig-

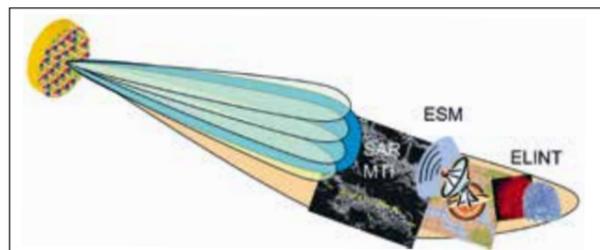


Abb. 1: Illustration eines multifunktionalen Einsatzszenarios

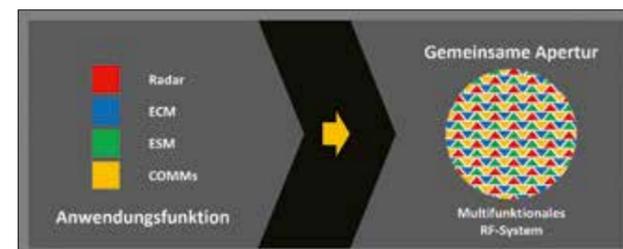


Abb. 2: Bündelung der verschiedenen Anwendungsfunktionen in einer gemeinsam genutzten Hardware

keit, UWB Low Probability of Interception Operationen durchführen zu können, erlaubt die Datenlink Übertragung von stealthy Plattformen sowie eine Bedrohungsdetektion, ohne selbst entdeckt zu werden. UWB MFRFS bieten höchste Auflösung durch Synthetische Apertur Radar Modi. Zudem können sie mittels mehrerer Antennenbeams gleichzeitig zielgenaue Maßnahmen gegen multiple Radarbedrohungen durchführen und bieten hohe operationelle Flexibilität in komplexen Szenarien. MFRFS bieten eine große instantane Raumwinkelabdeckung durch unabhängig steuerbare, gleichzeitig operierende Antennenbeams und erleichtern so eine sensitive Aufklärung im Rahmen des Electronic Supports. Durch Umschalten auf einen Pencil-Beam aus der vollen Antennenapertur wird eine fokussierte Identifikation dedizierter Radar Bedrohungen mit sehr hoher Auflösung erzielt. Diese Vorteile steigern die passive Aufklärung, Bedrohungserkennung und Identifikation und somit den Missionserfolg. Zudem können MFRFS im Multiplattformeneinsatz durch umfassende Koordination und Interoperabilität alle bereits genannten Fähigkeiten erweitern und die Performance weiter steigern.

Diese neuartigen MFRFS-Fähigkeiten erfordern u. a. Halbleitertechnologien wie Galliumnitrid und Silizium-Germanium, die eine Entwicklung von UWB-AESAs für MFRFS ermöglichen. Die Firma HENSOLDT hat einen UWB-MFRFS-Demonstrator konzipiert und aufgebaut, der mit einer instantanen Bandbreite von C- bis Ku-Band im vollpolarimetrischen Betrieb arbeitet. Er ermöglicht das Aussenden beliebiger Polarisationszustände (linear, zirkular, elliptisch) während beide orthogonalen Polarisationsanteile des Empfangssignals gleichzeitig ausgewertet werden können. Das System ist in der Lage, einen sehr weiten elektronischen Scanwinkel innerhalb des gesamten Frequenz-

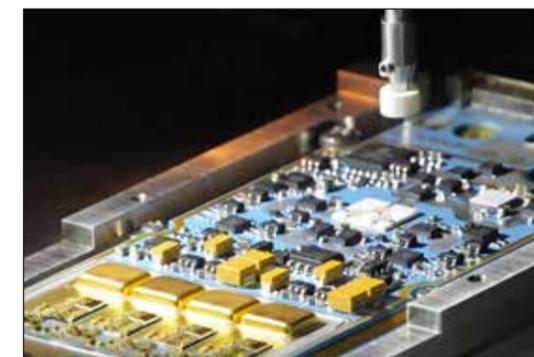


Abb. 3: Fotografie des entwickelten acht-kanaligen ultrabreitbandigen Send- und Empfangsmoduls

bereichs abzudecken. Multisignalfähigkeit sowohl im Empfangs- als auch im Sendebetrieb wird durch eine Mehrkanalarchitektur sowie extrem schnelles Umschalten der Antennenbeamrichtungen unterstützt. Im F&T-Vorhaben EXTREMA wurden Halbleiterkomponenten für das Send- und Empfangsfrontend entworfen und gefertigt, ein mehrkanaliges modulares hochkompaktes Frontend (Abb. 3) inklusiver elektronischer Ansteuerung und Kühlstrukturen erarbeitet und dieses in einen erweiterbaren hochkomplexen Trägeraufbau (Abb. 4) integriert, der neben den elektrischen Signalen auch die Kühlung bereitstellt und die Antennenapertur enthält.

Diese Fortschritte ebnen den Weg für operationelle MFRFS mit softwaredefinierten Radar-, EK- und Datenlinkfähigkeiten auf gemeinsamer Hardware. Basierend auf den Erkenntnissen werden die MFRFS der nächsten Generation den heutigen Radar- und EK-Systemen in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Funktionalität deutlich überlegen sein.



Abb. 4: Systemträger zur Aufnahme von 8x4 Send-/Empfangsmodulen mit Bereitstellung von Strom- und Signalversorgung sowie Kühlinfrastruktur

TORR Dipl.-Ing. (FH) Stefan Vrieler, M.Eng.
Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition (WTD 91)
Meppen

WTD91posteingang@bundeswehr.org

Emanuel Derbsch, M.Sc.
MBDA Deutschland GmbH
Schrobenhausen

communications@mbda-systems.de

Virtuelle Ausbildung am neuen Waffensystem ENFORCER

Militärische Virtual Reality (VR)-Trainingssimulatoren sind eine moderne und effektive Möglichkeit, Soldatinnen und Soldaten auf Einsätze vorzubereiten. VR-Technologie ermöglicht die Simulation realistischer Szenarien in einer sicheren und kontrollierten Umgebung. Durch die Nutzung visueller, auditiver, haptischer und sogar olfaktorischer Empfindungen erhalten die Trainierenden das Gefühl, sich in einer realen Umgebung zu befinden.

An der Wehrtechnischen Dienststelle für Waffen und Munition (WTD 91) in Meppen werden experimentelle und analytische Untersuchungen sowie integrierte Nachweisführungen durchgeführt. Darüber hinaus bearbeitet die WTD 91 Forschungs- und Technologievorhaben und unterstützt Rüstungsvorhaben mit fachtechnischer Kompetenz. So erprobte die WTD 91 auch das neue Waffensystem „Leichtes Wirkmittel 1800+“ (Abb. 1), auch bekannt unter dem Namen „ENFORCER“. Die schultergestützte Infanteriewaffe dient der Bekämpfung leicht gepanzerter und ungepanzelter Fahrzeuge in Bewegung sowie stationärer Ziele. Bei der Waffe handelt es sich um eine sogenannte Fire-and-Forget-Waffe (auf Deutsch: „abfeuern und vergessen). Nachdem der Soldat/ die Soldatin das Ziel erfasst hat, steuert der infrarotgelenkte Flugkörper nach dem Abfeuern selbstständig ins Ziel.

Parallel zur Erprobung vom realen Waffensystem testet die WTD 91 ebenso zugehörige Ausbildungsmittel und neue Technologien im Forschungs- und Technologiebereich. Passend zum Waffensystem ENFORCER, wurde daher ein neuartiges Trainingssystem entwickelt und untersucht.



Abb. 1: Leichtes Wirkmittel 1800+ („Enforcer“)



Abb. 2: ENFORCER VR-Simulator

Unter maßgeblichem Einsatz der Virtual Reality Technologie ist der ENFORCER VR-Simulator entstanden (Abb. 2).

Der ENFORCER VR-Simulator bietet ein immersives Training für die militärische Ausbildung. Waffe und Simulator sind weder optisch noch von ihrer Handhabung zu unterscheiden. Die Nachbildung der Bedienelemente auf dem Eingabegerät entspricht hinsichtlich Optik und Haptik dem realen Waffensystem. Hierfür ist das reale Serienmodell des ENFORCER zu einer robusten Trainingsversion umgestaltet worden. Ebenso gehört die realgetreue Nachbildung der Leistungsparameter des Systems zum Erreichen eines realitätsnahen Trainingssimulator. Entsprechend der Eignung des Waffensystems für den jeweiligen Einsatzzweck, errechnet die VR Simulation ein realistisches Schadensbild der Zielobjekte, um den Trainierenden ein realitätsnahes Feedback über den Erfolg des Waffeneinsatzes zu geben.

Äußere Bedingungen, denen Soldaten in der realen Welt begegnen, können gefahrenlos und nahezu ohne jeden Aufwand dargestellt werden. Variierenden Wetterbedingungen, unterschiedlichste Geländemerkmale und sogar feindliche Taktiken (Abb. 3) werden simuliert und für den Anwendenden erlebbar gemacht. Der Schwierigkeitsgrad der einzelnen Szenarien kann dabei entsprechend dem Ausbildungsstand und den Fähigkeiten der Trainierenden angepasst werden, um den bestmöglichen Trainingseffekt zu erzielen.

Die Trainingsszenarien für den ENFORCER VR-Simulator decken ein breites Spektrum möglicher Waffensystemanwendungen ab. In Bezug auf den Einsatzort wurden Trainingsszenare für Stadt (Abb. 4), Land, Wüste oder maritime Umge-



Abb. 3: Beispielhafte Darstellung der Trainingsbedingungen

bungen gestaltet. Auch die Umstellung von Tag- auf Nachtzeit ist problemlos möglich. Darüber hinaus bietet der Simulator verschiedene Möglichkeiten zur Bewertung des Schützenverhaltens und der Schusstechnik. Durch Liveübertragung des Visierbildes können beispielsweise Waffeneinstellungen oder Fehler bei der Zielerkennung/ Anvisierung kommentiert und korrigiert werden.

Der ENFORCER VR-Simulator kann sowohl zum Einzel- als auch zum Teamtraining eingesetzt werden. Für die Nutzung im Teamtraining wurde der ENFORCER VR-Simulator in den bereits vorhandenen VR-Handlungstrainer der Bundeswehr integriert. Neben der reinen Bedienung des Systems erhalten Soldatinnen und Soldaten so die Möglichkeit, auch die Kommunikation und Koordination untereinander zu trainieren und Abstimmungs- und Entscheidungsprozesse im Team zu optimieren.

Der ENFORCER VR-Simulator könnte im aktuellen Entwicklungsstadium direkt in entsprechende Beschaffungsprojekte aufgenommen werden.



Abb. 4: Einblick in ein urbanes Trainingsszenar

Daniel Mitró, M.Sc.
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

Dr. Uwe Schaller
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

3D-Druck von energetischen Materialien

Treibladungen, Raketenfesttreibstoffe und Sprengstoffe unterliegen einer stetigen Weiterentwicklung, um auch weiterhin den Anforderungen des modernen Gefechtsfeldes gerecht zu werden. Der 3D-Druck energetischer Materialien ermöglicht erstmalig die Herstellung komplexer Formkörper, wodurch die Abbrand- bzw. Detonationseigenschaften gezielt gesteuert und eine Leistungssteigerung erzielt werden kann.

Der Begriff 3D-Druck als Synonym für additive Fertigungsverfahren umfasst eine Vielzahl verschiedener Prozesse, bei denen Formkörper schichtweise und ausgehend von einer digitalen Zeichnung aufgebaut werden. Aufgrund des speziellen Anforderungsprofils energetischer Materialien sind nicht alle Verfahren gleichermaßen gut geeignet. Die Materialeextrusion ist aufgrund der hohen Flexibilität eines der bevorzugten Verfahren für diesen Anwendungszweck. Dazu werden zunächst die individuellen Formulierungsbestandteile gleichmäßig miteinander vermischt. Die dabei entstehende, fließfähige Paste wird dann durch eine feine, beheizte Düse extrudiert und in der gewünschten Form abgelegt (Abb. 1).

Der Vorteil gegenüber etablierten Verfahren liegt zum einen darin, dass die äußere und innere Form der zu druckenden Körper weitestgehend frei gewählt werden kann, wodurch beispielsweise Hohlräume, Hinterschneidungen oder genau definierte Porositäten realisiert werden können. Dies beeinflusst nicht nur die Abbrand- bzw. Detonationseigenschaften der energetischen Formkörper, sondern kann sich auch auf weitere Eigenschaften, wie z. B. die Schüttdichte, auswirken.

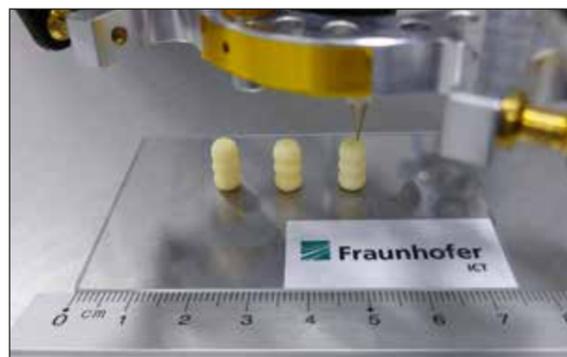


Abb. 1: 3D-Druck kunststoffgebundener Treibladungspulverkörper für den Mittelkaliberbereich

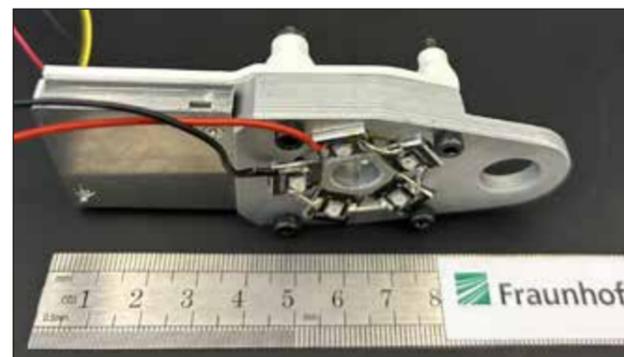


Abb. 2: Eigens konstruierte Hochleistungs-UV-LED zur schnellen Aushärtung von photoreaktiven Harzen während des 3D-Druckprozesses

Dr.-Ing. Alexander Dresel
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

Darüber hinaus können die Materialeigenschaften nun auch innerhalb eines einzelnen Formkörpers variiert werden, beispielsweise durch Verwendung mehrerer Düsen aus denen unterschiedliche Materialien austreten. In Summe kann diese erhöhte Komplexität der Formkörper zu einer signifikant verbesserten Leistungsfähigkeit führen.

Das Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT deckt dabei sämtliche Bereiche des Entwicklungsprozesses ab. Dies beginnt zunächst bei der Synthese der Rohstoffe, da aufgrund des speziellen Verarbeitungsprozesses in vielen Fällen nicht auf die üblichen Materialien zurückgegriffen werden kann. Dies betrifft insbesondere Binder und Weichmacher, welche für den Zusammenhalt des Formkörpers verantwortlich sind und während des 3D-Druckprozesses Verarbeitungstemperaturen von bis zu 100° C standhalten müssen.

Für den Verarbeitungsprozess werden kommerziell verfügbare 3D-Drucker eingesetzt, welche anschließend für die jeweiligen Anwendungsfälle modifiziert werden. Dies kann sich auf wenige Bauteile beschränken, wie z. B. eine leistungsstarke und regelbare UV-LED (Abb. 2) oder dazu führen, dass beinahe sämtliche Teile am 3D-Drucker nach und nach ersetzt werden. Darüber hinaus sind sicherheitsrelevante Umbauten, wie z. B. zusätzliche Temperatur- und Drucksensoren von großer Be-



Abb. 3: 3D-gedruckter Vielzweckprüfkörper zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften und der Reproduzierbarkeit des 3D-Druckprozesses

Michael Moroff, M.Sc.
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

deutung. Während des Herstellungsprozesses, welcher in Abhängigkeit von Komplexität und Größe des Formkörpers wenige Minuten bis hin zu Stunden dauern kann, muss eine Vielzahl von Parametern optimal aufeinander abgestimmt sein. Nur dann kann einerseits das gewünschte Eigenschaftsspektrum erhalten und andererseits die Reproduzierbarkeit gewährleistet werden, da nur mit gleichbleibender Qualität ein sicheres Handling und eine zuverlässige Leistungsfähigkeit im Einsatz gewährleistet werden kann (Abb. 3).

Neben diesen praktischen Betrachtungen kommt auch den theoretischen Aspekten, namentlich der Modellierung und Simulation, eine wesentliche Bedeutung zu. Zwar existieren für Treibladungen, Raketenfesttreibstoffe und Sprengstoffe bereits weitreichende Modelle, allerdings immer im Hinblick auf bisherige Formkörper mit relativ einfacher Geometrie und einer gleichmäßigen Zusammensetzung. Eine Erweiterung der Modelle ist nicht immer trivial, aber unerlässlich, um das Potential des 3D-Drucks vollständig auszuschöpfen (Abb. 4).

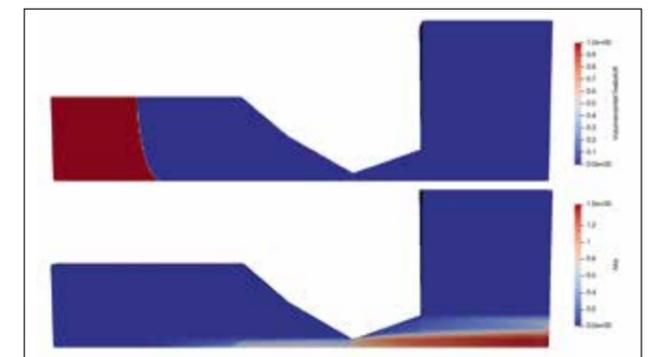


Abb. 4: Simulation des Abbrandfortschritts in einem 3D-gedruckten Feststoffraketenmotor (oben) sowie der Ausströmgeschwindigkeit der gasförmigen Reaktionsprodukte (unten)

Dr.-Ing. Tobias Gerber
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

Prof. Dr. Karsten Pinkwart
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

info@ict.fraunhofer.de

Zukünftige Energieversorgungskonzepte für Liegenschaften der Bundeswehr: Potentialanalyse für erneuerbare Energien im Inland

Die Energiewende und die damit verbundenen Transformationen betreffen auch die Streitkräfte. Auch sie müssen die Nutzung erneuerbarer Energien ausbauen und ihre Energieversorgungssysteme anpassen. Mit der Studie Potential Erneuerbare Energien Eigenbetrieb Bw (PEEE-Bw) wurden das Erzeugungspotential erneuerbarer Energien auf Liegenschaften ermittelt und detaillierte Transformationspfade abgeleitet.

Die Energiewende mit der Abkehr von der Nutzung fossiler Ressourcen erfordert eine Transformation der Energieversorgung der Bundeswehr, die mit umfangreichem Ausbau erneuerbarer Energien einhergehen wird. Potentiale für diese Energie-Eigenerzeugung finden sich in militärischen Liegenschaften (Abb. 1), militärische Anforderungen und Rahmenbedingungen müssen bei den zugehörigen Planungsprozessen jedoch berücksichtigt werden.

Über die Erfüllung gesetzlicher Vorgaben zum Klimaschutz hinaus kann die Energieeigenversorgung auf Basis lokal erschlossener erneuerbarer Energien für die Energieautarkie und -resilienz von Bundeswehr-Liegenschaften einen signifikanten Mehrwert darstellen. Hierfür ist eine militärisch bedarfsorientierte Konzeptionierung der Energiesysteme inklusive der Integration von Energiespeichern erforderlich.

Gemäß der im Rahmen der Studie durchgeführten Potentialanalyse für die 226 Bundeswehrliegenschaften mit dem höchsten Stromverbrauch (fast 90 % vom Liegenschaftsgesamtbedarf) kommt der Energieerzeugung mit Photovoltaik



Abb. 1: Bereits in Betrieb: Photovoltaikanlage in der Stauer-Kaserne in Pfullendorf (Baden-Württemberg) (Quelle: Bundeswehr/Michael Schiewe)

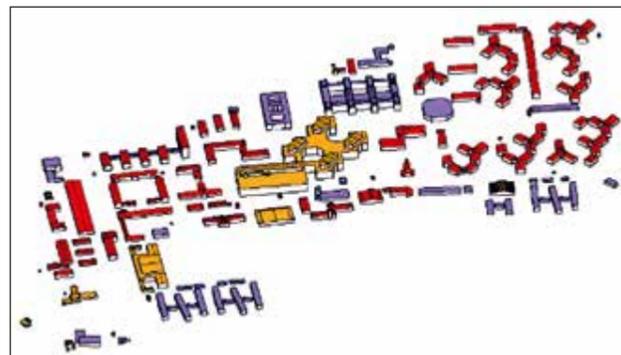


Abb. 2: Exemplarische Darstellung der Dachflächenanalyse für die PV-Installation im 3D-Gebäudemodell einer Bundeswehrliegenschaft in LoD2 (Level of Detail) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG). Rot: Schrägdächer, lila: Flachdächer, gelb: gemischt

Dr. Christoph Kost
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Freiburg

Dr. Jessica Thomsen
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Freiburg

RDir Dr. Sebastian Scheuermann
Bundesministerium der Verteidigung
Bonn

energysystem.analysis@ise.fraunhofer.de

energysystem.analysis@ise.fraunhofer.de

BMVgIUDIIS@bmvg.bund.de

(PV) auf den Dachflächen eine wesentliche Bedeutung zu (Abb. 2). Als mögliche unter realen Bedingungen erreichbare PV-Leistung wurden 1,67 GW auf den Dächern der 226 Liegenschaften ermittelt – hierfür wurden bereits empirische Abschläge für ungeeignete Dachflächen, etwa wegen Gauben oder technischer Anlagen berücksichtigt. Zur zusätzlichen Erhöhung des Erzeugungspotentials eignen sich je nach Standort auch PV-Anlagen auf Freiflächen und über Parkplätzen sowie an Fassaden. Weitere Erzeugungstechnologien, wie z. B. Windkraft oder Geothermie können vereinzelt Beiträge liefern. Für die Quantifizierung dieser zusätzlichen Potentiale sind jedoch noch umfassendere standortspezifische Betrachtungen nötig.

Damit stellt elektrischer Strom den Primärenergieträger einer zukünftigen Liegenschafts-Energieversorgung in der Bundeswehr dar, welcher dann auch der Wärmeversorgung dient – deren Anteil übersteigt in der Regel jenen des bisherigen Strombedarfs.

Im Detail wurden die Auswirkungen einer umfassenden Elektrifizierung der Energieversorgung für sechs ausgewählte Liegenschaften betrachtet. Dabei stellen PV-Anlagen in Verbindung mit Batteriespeichern und Wärmepumpen die Hauptkomponenten der zukünftigen Energieversorgung dar. Aufgrund der Volatilität erneuerbarer Energien kommt der Integration

von Speichern große Bedeutung zu. Da erneuerbare Energien jedoch nicht zur ganzjährigen Deckung des Bedarfs ausreichen, wird in der Regel durch Zukauf zum Beispiel von Fernwärme oder Energieträgern in Kombination mit Blockheizkraftwerken ergänzt (Abb. 3). Eigenerzeugte Energie, die den momentanen Bedarf übersteigt, kann durch Produktion längerfristig lagerbarer Energieträger, insbesondere Wasserstoff, in Zeiträume mangelnder Verfügbarkeit erneuerbarer Energien verschoben werden. Allerdings sind hiermit hohe Investitionskosten verbunden.

Die Studie dient als Unterstützung für die Bundeswehr in der militärspezifischen Energiewende, zeigt verschiedene Optionen zur Transformation der Energieversorgung in Abhängigkeit von vier Szenarien auf und leitet Handlungsempfehlungen ab. Die Detailanalyse für die Einzelstandorte zeigt, dass die grundsätzliche Transformation der Energiesysteme von Liegenschaften zunächst intensive Modernisierungen der Strominfrastruktur erfordert. Darüber hinaus ist das Ausmaß der Erreichung von Energieautarkie vor allem eine Kostenfrage, die aber auch von Aspekten wie Personal oder Wartungsaufwand flankiert werden.



Abb. 3: Je nach Standort und Ausrichtung der Energieversorgung stehen unterschiedliche Optionen für den Technologiemarkt zur Verfügung



2

Wehrmedizinische und Militärpsychologische Forschung

Die Gesundheit der Soldatinnen und Soldaten im In- und Ausland zu schützen, zu erhalten und wiederherzustellen ist zentraler Auftrag des Sanitätsdienstes der Bundeswehr. So vielfältig wie die Aufgaben in der täglichen Praxis sind auch die Forschungstätigkeiten an den Bundeswehrkrankenhäusern, Instituten und Ressortforschungseinrichtungen des Sanitätsdienstes. Medizinischer ABC-Schutz, die Versorgung polytraumatisierter Patientinnen und Patienten, aber auch der vorbeugende Gesundheitsschutz der Soldatinnen und Soldaten vor viralen Erkrankungen oder den Auswirkungen psychischer Belastung waren Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten im Jahr 2023.

Neue Therapieoptionen zur Behandlung psychisch erkrankter Patienten und Patientinnen, wie sie am Bundeswehrkrankenhaus Hamburg erforscht werden, stehen dabei genauso im Fokus, wie Bewältigungsstrategien zur Steigerung der psychischen Resilienz von Einsatzkräften bei einem möglichen Massenansturm von Verletzten, die am Bundeswehrkrankenhaus Ulm entwickelt werden. Moderne Virtual-Reality-Anwendungen bieten hierbei nicht nur wertvolle Simulationsmöglichkeiten, sondern erfahren zudem konkrete therapeutische Anwendung. Wertvolle Beiträge zur erfolgreichen Stressbewältigung, sei es im militärischen Alltag, im Einsatz oder bei besonderen Belastungssituationen, liefern auch die Forschungsarbeiten des Instituts für Präventivmedizin der Bundeswehr.

Weitere wichtige Neuentwicklungen sind ein innovativer Bluttest des Bundeswehrzentralkrankenhauses Koblenz zur Charakterisierung von Verletzungsmustern polytraumatisierter Patientinnen und Patienten sowie die Etablierung eines Laborsettings zur Bewertung intraoperativer Telechirurgie

am Bundeswehrkrankenhaus Berlin. Dass das bestmögliche Behandlungsergebnis für die Soldatinnen und Soldaten der Bundeswehr dabei maßgeblich von den militärischen Rahmenbedingungen abhängt, zeigen Arbeiten des Zentrums für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe zur medizinischen Versorgung auf engstem Raum mit eingeschränkten Ressourcen.

Beiträge des Instituts für Radiobiologie der Bundeswehr zur Dosimetrieabschätzung auf Grundlage biologischer Verfahren, des Instituts für Mikrobiologie der Bundeswehr zur Ausbreitungsmodellierung der Frühsommer-Meningoenzephalitis sowie des Instituts für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr zur Hautresorption von Nervenkampfstoffen, unterstreichen die fortwährende Bedrohung durch mögliche ABC-Szenarien, seien sie menschengemacht oder natürlichen Ursprungs.

Unter Federführung des Psychotraumazentrums am Bundeswehrkrankenhaus Berlin hat der Psychologische Dienst der Bundeswehr ein neues, am aktuellen Stand der Wissenschaft orientiertes Konzept zur Psychologischen Krisenintervention entwickelt. Damit besteht nun die Möglichkeit, den Betroffenen nach einem festgelegten Ablauf über einen deutlich längeren Zeitraum präventive Maßnahmen anzubieten.

Die breit angelegten wehrmedizinischen und militärpsychologischen Forschungsaktivitäten bilden die Grundlage einer kontinuierlichen Weiterentwicklung des Sanitätsdienstes und des Psychologischen Dienstes der Bundeswehr. Sie folgen den Anforderungen an die Landes- und Bündnisverteidigung und behalten die Gesundheit der Soldatinnen und Soldaten sowie der zivilen Beschäftigten der Bundeswehr konsequent im Blick.

Oberfeldarzt Prof. Dr. med. Gerhard Dobler
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr
München

Institut fuer Mikrobiologie@bundeswehr.org

Ökologische Modellierung zur Überwachung der Frühsommer-Meningoenzephalitis

Die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) ist die häufigste Virusinfektion des zentralen Nervensystems in Europa und Asien. Sie tritt in immer neuen Regionen auf und stellt auch für militärisches Personal ein ernstes Risiko dar. Durch Untersuchungen in FSME-Herden konnten Umweltfaktoren identifiziert und ein Ausbreitungsmodell erstellt werden. Es ermöglicht die Vorhersage neuer Risikogebiete und kann auch in Einsatzgebieten genutzt werden.

FSME ist eine Entzündung des Gehirns und der Hirnhäute, die durch das gleichnamige, von Zecken übertragene Virus ausgelöst wird. Sie breitet sich in den letzten Jahren in Europa und Asien immer weiter aus. Die FSME stellt auch für Bundeswehrangehörige eine relevante Gefährdung dar, zumal noch nicht abschließend geklärt ist, inwieweit die in Europa verfügbaren Impfstoffe auch gegen die im Baltikum vorkommenden sibirischen und fernöstlichen Subtypen des FSME-Virus schützen. Damit sind die Soldatinnen und Soldaten auch in den Einsatzgebieten der NATO einem besonderen Infektionsrisiko ausgesetzt. In den bekannten Endemiegebieten steigen die Fallzahlen trotz teilweise hoher Durchimpfungsraten deutlich an. Die Gründe für diese Zunahme sind unklar, es scheint sich jedoch um überregionale Veränderungen zu handeln, die möglicherweise mit globalen Klimaveränderungen zusammenhängen.

Über die ökologischen Faktoren der Verbreitung des FSME-Virus ist bisher wenig bekannt. Der Überträger, Zecken der Art *Ixodes ricinus*, scheint eine entscheidende Rolle zu spielen (Abb. 1). Bisherige ökologische Modelle scheiterten jedoch an



Abb. 1: *Ixodes ricinus*, Hauptüberträger des FSME-Virus in Europa



Abb. 2: Kleinräumige Struktur (Fußballplatz-Größe) eines typischen FSME-Herds in Deutschland

der Kleinräumigkeit der Übertragungsherde, die oft nicht größer als ein Fußballfeld sind (Abb. 2). In der vorliegenden Studie wurden 56 vom Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr identifizierte natürliche FSME-Herde mit insgesamt 3375 gleich großen Kontrollflächen ökologisch verglichen. Neben klimatischen Parametern wurden Landschaftsmerkmale wie Vegetationstyp und Geländemerkmale (u. a. Höhenlage, Hangneigung, Himmelsrichtung der Hangneigung) zur Modellierung herangezogen.

Mittels multifaktorieller Analysen konnten aus insgesamt 17 Umweltparametern sechs Parameter identifiziert werden, die unabhängig voneinander positiv mit dem Auftreten von FSME-Herden korrelieren: jährliche Sonnenscheindauer, jährliche Minimumtemperatur, jährliche Anzahl heißer Tage, jährliche Verdunstung, Höhenlage, Corine-Landbedeckungsklasse, Entfernung zu Nadel- / Mischwald. Daraus wurde mit Hilfe der Maximum-Entropie-Methode ein Verbreitungsmodell modelliert, das die Wahrscheinlichkeit für das potentielle Auftreten von FSME-Naturherden für ganz Deutschland in einem Raster mit einer Auflösung von 400 x 400 m darstellt.

Auf der Grundlage dieser Analyse wurde eine neue Risikokarte für FSME erstellt, die auch prospektiv zeigt, in welchen Regionen Deutschlands zukünftig häufiger mit FSME zu rechnen ist (Abb. 3). Danach sind neue FSME-Risikogebiete insbesondere in den Regionen der Mittelgebirgsschwelle zu erwarten. Hier zeichnet sich bereits aktuell in Teilen Oberfrankens und Thüringens eine Zunahme der FSME-Fälle ab. Darüber hinaus errechnete das Modell eine Zunahme der wahrscheinlichen Häufigkeit in Teilen Nordsachsens und Südbrandenburgs. Auch in dieser Region, insbesondere in

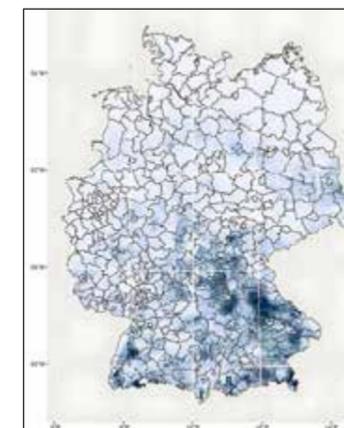


Abb. 3: Risikokarte der FSME in Deutschland



Abb. 4: FSME-Risikogebiete in Deutschland. Dunkelblau: Risikogebiet; hellblau: neue Risikogebiete 2022; weiß: bislang kein Risikogebiet (Quelle: Epidemiologisches Bulletin 09/2022; RKI Berlin)

der Region um Cottbus an der polnischen Grenze, wurden inzwischen mehrere Landkreise (u. a. SK Chemnitz, LK Görlitz, LK Oberspreewald-Lausitz, LK Oder-Spree, LK Spree-Neiße) vom Robert Koch-Institut als FSME-Risikogebiete ausgewiesen (Abb. 4).

Das am Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr auf der Basis von Naturherden und deren Umweltparametern entwickelte Modell ist in der Lage, Regionen mit bisher unbekanntem FSME-Risiko anhand ihrer ökologischen Umweltparameter als FSME-Risikogebiete zu identifizieren. Einige dieser Regionen wurden inzwischen, auch aufgrund von Erkrankungsfällen beim Menschen, zu FSME-Risikogebieten erklärt. In weiteren identifizierten Regionen steigen die FSME-Inzidenzen derzeit an, was in naher Zukunft zu einer Einstufung als Risikogebiet führen könnte. Das erstellte Modell ist als Werkzeug der aufsuchenden Epidemiologie für FSME geeignet und kann zukünftig für kleinräumige Risikoanalysen in potentiellen Einsatzgebieten der Bundeswehr in Nord- und Osteuropa eingesetzt werden.

Stabsapotheker Amelie Schwab
Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr
München

Institut fuer Pharmakologie und Toxikologie@bundeswehr.org

Oberfeldarzt Dr. Niko Amend
Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr
München

Institut fuer Pharmakologie und Toxikologie@bundeswehr.org

Ein bioartifizielles 3-dimensionales Äquivalent der menschlichen Haut zur Untersuchung von Penetrations- und Diffusionsvorgängen – Neue Möglichkeiten in der Erprobung von Dekontaminationslösungen

Um systemische Auswirkungen, die nach einer Hautexposition gegenüber hochgiftigen Nervenkampfstoffen auftreten, zu verhindern, ist eine rasche und effektive Dekontamination essentiell. Das vorliegende Forschungsprojekt präsentiert ein Modell zur Untersuchung von Penetrations- und Diffusionsvorgängen von phosphororganischen Verbindungen durch die Haut.

In militärischen Einsätzen können Soldatinnen und Soldaten einer Vielzahl von toxischen Verbindungen, einschließlich chemischen Kampfstoffen, ausgesetzt sein. Phosphororganische Verbindungen (OP), wie Nervenkampfstoffe, wurden in der Vergangenheit in militärischen Konflikten eingesetzt. Ein besonderer Fokus im medizinischen Schutz vor chemischen Waffen liegt auf dem Nervenkampfstoff VX. Dieser wird hauptsächlich über die Haut aufgenommen. Das dabei entstehende hohe Risiko einer Nervenkampfstoffvergiftung durch Hautpenetration, wurde bei dem Anschlag am Flughafen Kuala Lumpur im Jahr 2017 deutlich, bei dem Kim Jong-nam mit flüssigem VX tödlich exponiert wurde. Nachdem phosphororganische Verbindungen in den Körper gelangen, inhibieren sie die Acetylcholinesterase (AChE). Dies führt zu einer erhöhten Konzentration des Neurotransmitters Acetylcholin in der Synapse. Dosisabhängig zeigen sich cholinerge Symptome wie Sehstörungen, Atembeschwerden, übermäßiger Speichelfluss, Krämpfe und letztlich, infolge einer Atemlähmung, der Tod. Therapeutisch sind Symptome, die durch die Hemmung des muskarinergen Acetylcholinrezeptors ausgelöst werden mit Atropin behandelbar. Im Gegensatz dazu, ist an den nikotin-



Abb. 1: Franz Zell Modell mit Full-Thickness Hautäquivalenten



Abb. 2: Full-Thickness Hautäquivalente in 24-Well Platte



Abb. 3: Kultivierung der Full-Thickness Hautäquivalente

ergen Acetylcholinrezeptoren keine direkte Therapie möglich. Der Einsatz von Oximen zur Reaktivierung der gehemmten Acetylcholinesterase (AChE) ist aktuell die einzige kausaltherapeutische Option. Vor dem Hintergrund der Notwendigkeit, systemische Auswirkungen nach Hautexposition gegenüber hochgiftigen Nervenkampfstoffen zu verhindern, erweist sich eine zügige und effiziente Dekontamination als essenziell.

Das Franz Zell Modell ist eine Apparatur, um Penetrations- sowie Diffusionsvorgänge zu untersuchen. Die Zelle besteht aus einer Donor- und einer Akzeptor-Kammer, die durch die zu untersuchende Haut, bzw. Modellhaut voneinander getrennt sind (Abb. 1). Das aktuell verwendete bioartifizielle 3-dimensionale menschliche Hautäquivalent, basiert auf einer Kollagenmatrix und enthält sowohl Epidermis als auch Dermis mit neu synthetisierten extrazellulären Matrixproteinen. Die enthaltenen Keratinozyten und Fibroblasten, die die unterschiedlichen Kompartimente des Hautmodells bilden, sind ebenfalls aus menschlichem Ursprung (Abb. 2 und 3). Anhand dieser Voraussetzungen ist dies eine ideale Alternative zum Tiermodell für toxikologische Studien. Die Akzeptor-Kammer ist mit einem Medium gefüllt, aus dem zu definierten Zeitpunkten Proben entnommen werden.

Die Untersuchung der Penetration von VX durch die Haut erstreckt sich über fünf Stunden, wobei alle 30 Minuten 100 µL Proben aus der Akzeptor-Kammer entnommen werden. Die VX Konzentrationen der entnommenen Proben wurden mittels eines photometrischen AChE Hemmassays bestimmt. In Abb. 4 wird die Zunahme der AChE Hemmung anhand von drei Probenzeitpunkten veranschaulicht. Ab Minute 30 ist eine Hemmung ersichtlich, was auf die Präsenz von VX in der Ak-

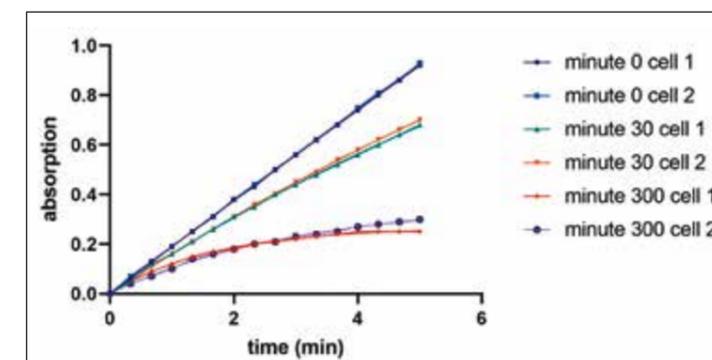


Abb. 4: Hemmkinetik VX von drei Probenzeitpunkten von zwei verschiedenen Zellen

zeptor-Kammer hinweist. Das Reactive Skin Decontamination Lotion Kit (RSDL) ist von der FDA zugelassen und soll chemische Kampfstoffe von der Haut entfernen und / oder neutralisieren. Die Anwendung von RSDL zur Dekontamination wurde in dem Franz Zell Modell gezeigt (Abb. 5). Fünf Minuten nach der VX-Exposition zeigt die Dekontaminationslotion eine signifikante Reduktion des vorhandenen VX in der Akzeptor-Kammer. Infolgedessen kann bestätigt werden, dass das in der Bundeswehr verwendete RSDL hochwirksam ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit der im Franz Zell Modell verwendeten artifiziiellen humanen Haut Penetrations- und Diffusionsvorgänge von chemischen Kampfstoffen untersucht und grundlegende Informationen zur Eignung von Hautdekontaminationslösungen erzielt werden können. Praxisrelevante Empfehlungen bezüglich der potentiellen Eignung verschiedener Dekontaminationsmittel sind perspektivisch zu erwarten.

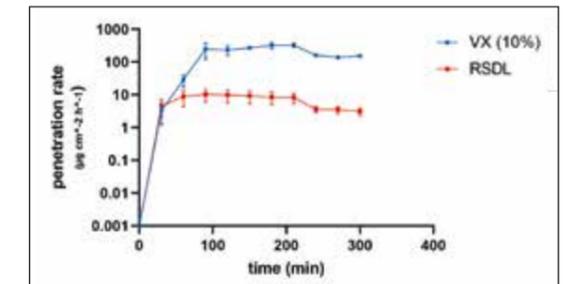


Abb. 5: Penetrationsrate von VX mit und ohne Dekontamination von RSDL

ORR Dr. Kristina Küper
Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr
Abteilung A: Gesundheits- und Leistungsförderung
Andernach

InstPraevMedBwA1@bundeswehr.org

Oberfeldapotheker Dr. Markus Staudt
Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr
Abteilung A: Gesundheits- und Leistungsförderung
Andernach

InstPraevMedBwA1@bundeswehr.org

Resilient im Inland und im Einsatz – Systematische Evaluation von Maßnahmen zur Resilienzförderung

Einsatzbedingt, aber auch im Grundbetrieb, sind Soldatinnen und Soldaten enormen psychischen Belastungen ausgesetzt. Daraus können sich negative Beanspruchungsfolgen bis hin zu psychischen Erkrankungen ergeben. Als Ressortforschungseinrichtung des Bundes evaluiert das Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr Maßnahmen, die Bundeswehrangehörige resilienter gegenüber Belastungen machen sollen.

Ein militärischer Einsatz bringt nicht nur extreme körperliche Anforderungen mit sich, sondern auch enorme psychische Belastungen. Fernab des vertrauten Umfelds sind Soldatinnen und Soldaten ständigen Gefahren für Leib und Leben ausgesetzt. Sie werden mit Gewalt, Leid und Tod konfrontiert und geraten im Rahmen der Auftrags Erfüllung z. T. auch in moralische Konflikte. Daraus können sich moralische Verletzungen und im schlimmsten Fall psychische Erkrankungen, wie z. B. post-traumatische Belastungsstörungen, entwickeln.

Ein protektiver Faktor gegenüber solchen Einsatzfolgen ist individuelle Resilienz, also die Fähigkeit, widrige Lebensumstände erfolgreich zu meistern und nach Krisen schnell wieder ins innere Gleichgewicht zurückzufinden. Die Förderung dieser psychischen Widerstandsfähigkeit, die auch ein Kernelement der Psychischen Fitness von Soldatinnen und Soldaten darstellt, kann ein wirksames Mittel zur Prävention stressbedingter Beanspruchungsfolgen sein – in der Einsatzvorbereitung, aber auch bei Belastungen im normalen Dienstalltag.



Abb. 1: Auch im Grundbetrieb sind Bundeswehrangehörige häufig starken Arbeitsbelastungen ausgesetzt, z.B. im Bereich der Pflege



Abb. 2: Ein Stressor innerhalb der Corona-Pandemie war das moralische Dilemma der Triage

Oberstarzt Prof. Dr. Peter Zimmermann
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Zentrum für Psychotraumatologie und Posttraumatische Belastungsstörungen
Berlin

BwKrhsBerlinPsychotraumazentrum@bundeswehr.org

Oberfeldarzt PD Dr. Manuela Andrea Hoffmann
Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr
Andernach

InstPraevMedBwLeiterin@bundeswehr.org

Resilienz ist deshalb eines der zentralen Forschungsfelder des Instituts für Präventivmedizin der Bundeswehr (InstPrävMedBw). Dabei erfolgt u.a. eine wissenschaftliche Begleitung von Maßnahmen, die Bundeswehrangehörige resilienter gegenüber Krisen und extremen Belastungen machen sollen. Damit wird einerseits den durch die veränderte geopolitische Lage verschärften Einsatzbedingungen Rechnung getragen. Andererseits haben die letzten Jahre gezeigt, dass es auch im Inland immer wieder zu extremen Belastungssituationen kommen kann.

So brachte z. B. die Corona-Pandemie insbesondere Beschäftigte im Pflegebereich an ihre Grenzen. Die psychische Gesundheit der Betroffenen ist z. T. bis heute beeinträchtigt, weswegen das Psychotraumazentrum der Bundeswehr ein „Nachbereitungsseminar pandemieassoziierten Belastungen“ konzipiert hat. Dieses gliedert sich in zehn 90-minütige Einheiten und vermittelt neben Stressbewältigungstechniken auch Ausbildungsinhalte zu moralischen Konflikten, die sich schon in der Einsatznachbereitung bewährt haben. So sollen bundeswehreigene Pflegekräfte dabei unterstützt werden, das Erlebte zu verarbeiten und gleichzeitig resilienter gegenüber zukünftigen Arbeitsbelastungen gemacht werden.

Das Konzept wurde 2022/2023 im Rahmen von zwei Pilotseminaren erprobt und durch InstPrävMedBw evaluiert. Die Ergeb-

nisse sind vielversprechend: Die Maßnahme stieß auf breite Akzeptanz bei den Teilnehmenden und verbesserte neben der subjektiven Sicherheit im Umgang mit allgemeinem Stress und moralischen Konflikten auch die Selbstwirksamkeitserwartung. Selbstwirksamkeit bezeichnet die Überzeugung auch kritische Situationen mithilfe der eigenen Fähigkeiten bewältigen zu können und steht somit im engen Zusammenhang zur Resilienz. Optimierungsbedarf zeigte die Maßnahme dagegen hinsichtlich des gewählten Zeitansatzes und der begrenzten Möglichkeit zu kollegialem Austausch.

Begleitend zur präventivmedizinischen Ressortforschung wird die systematische Evaluation von Maßnahmen zur Resilienzförderung auch weiterhin im Fokus des InstPrävMedBw stehen. Im Bereich der Einsatzvorbereitung sind entsprechende Projekte u.a. mit dem Zentrum Innere Führung und den NATO-Verbündeten aus USA und Norwegen gebahnt. Ziel ist die Identifikation von Maßnahmen, die wirksam und im militärischen Kontext praktikabel sind.



Abb. 3: Im „Nachbereitungsseminar pandemieassoziierten Belastungen“ wurden u.a. Entspannungstechniken vermittelt

Oberarzt Prof. Dr. med. Matthias Port
 Institut für Radiobiologie der Bundeswehr
 München

Institut fuerRadiobiologie@bundeswehr.org

Oberarzt Prof. Dr. med. Michael Abend
 Institut für Radiobiologie der Bundeswehr
 München

Institut fuerRadiobiologie@bundeswehr.org

Zivil-militärische Zusammenarbeit zur Stärkung der europäischen Vorbereitung für terroristische und militärische Szenare mit radioaktiver Strahlung

Das Institut für Radiobiologie der Bundeswehr führte in Zusammenarbeit mit dem „European Biodosimetry Network“, kurz RENE B, eine sogenannte „interlaboratory comparison“ durch. Mittels retrospektiver Dosimetrie, basierend u. a. auf biologischen Veränderungen wie z. B. Chromosomenaberrationen, kann eine Dosis auch Wochen oder Monate nach einem Strahlenereignis bestimmt werden. Im Jahr 2021 wurde die weltweit bisher größte Studie hierzu durchgeführt und die Ergebnisse werden hier gezeigt (Abb. 1).

Zur Unterstützung der medizinischen Versorgung von Strahlenopfern sind Werkzeuge zur Dosisrekonstruktion erforderlich. Verschiedene biologische und physikalische Dosimetrieverfahren zur individuellen Dosisabschätzung werden verwendet. Eine regelmäßige Validierung der Techniken durch Ringversuche (international auch als Interlaboratory Comparison ILC bekannt) ist unerlässlich. Im aktuellen ILC-Vergleich wurden etablierte zytogenetische Assays (dizentrischer Chromosomen-Assay [DCA], Zytokinese-Block-Mikronukleus-Assay [CBMN], stabiler chromosomaler Translokations-Assay [FISH] und vorzeitiger Chromosomen-Kondensations-Assay [PCC]) getestet und mit molekularbiologischen Assays (gamma-H2AX-Foci [gH2AX], Genexpression [GE]) und physikalischen Dosimetrie-basierten Assays (elektronenparamagnetische Resonanz [EPR], optisch oder thermisch stimulierte Lumineszenz [LUM]) verglichen. Biologische und technische Proben (z. B. Blut oder Mobiltelefone) wurden Röntgenreferenzdosen von 0, 1, 2 oder 3,5 Gy (240 kVp, 1 Gy/min, Abb. 2) ausgesetzt. Diese Dosen entsprechen in etwa klinisch relevanten Gruppen wie (1) nicht bzw. gering exponierten (0 – 1 Gy), (2) mäßig exponierten (1 – 2 Gy, keine schwerwiegenden akuten Auswirkungen auf die Gesund-



Abb. 1: Zusammenstellung der Embleme der 46 Organisationen aus 27 Ländern, die an dieser Studie teilgenommen hatten

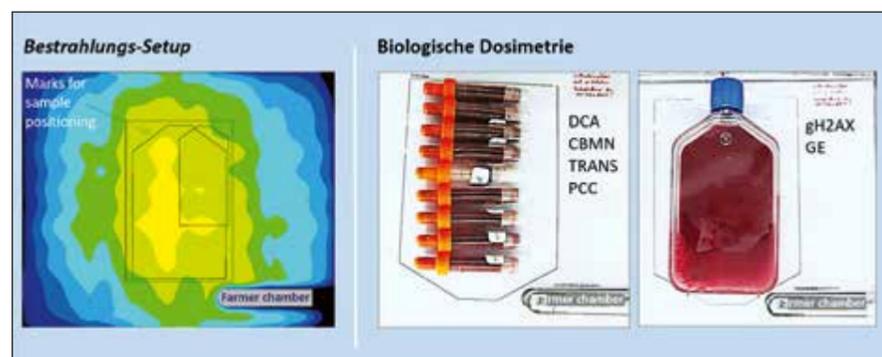


Abb. 2: Bestrahlungsaufbau für den RENE B-Ringversuch 2021 mit acht Dosimetrie-Assays. Die Bestrahlungszeit und damit die Dosis wurden durch eine Farmer-Kammer gesteuert. Die rechte Seite zeigt die Bestrahlung von Blutproben zur Durchführung des dizentrischen Chromosomen-Assays (DCA), des Zytokinese-Block-Mikronukleus-Assays (CBMN), des stabilen Chromosomen-Translokations-Assays (TRANS), des vorzeitigen Chromosomen-Kondensations-Assays (PCC) sowie molekularbiologischer Assays nämlich dem Gamma-H2AX-Foci [gH2AX] Assay und des Genexpressions-Assays [GE]

heit zu erwarten) und (3) hoch exponierten Personen (> 2 Gy, die eine frühe intensivmedizinische Betreuung benötigen). Es wurden Proben an 86 spezialisierte Teams in 46 Organisationen aus 27 Ländern zur Dosisabschätzung und Identifizierung der drei genannten klinisch relevanten Gruppen versandt (Abb. 1).

Die Zeit für die Übermittlung von Berichten sowie die Häufigkeit korrekt gemeldeter klinisch relevanter Dosiskategorien wurden berechnet und die Anzahl der Dosisabschätzungen innerhalb der für die Triage-Dosimetrie empfohlenen Unsicherheitsintervalle relativ zu den Referenzdosen bestimmt. Insgesamt wurden 554 Dosisabschätzungen eingereicht. Für Proben, die mit der höchsten Priorität verarbeitet wurden, wurden früheste Dosisabschätzungen/-kategorien innerhalb von 5 – 10 Stunden nach Erhalt für GE, gH2AX, LUM, EPR, 2 – 3 Tage für DCA, CBMN und innerhalb von 6 – 7 Tagen für den FISH-Assay gemeldet (Abb. 3). Für die unbestrahlte Kontrollprobe wurde die Kategorisierung in die korrekte klinisch relevante Gruppe (0 – 1 Gy) für fast alle Tests erfolgreich durchgeführt. Für die 3,5-Gy-Probe lag der Prozentsatz korrekter Klassifizierungen in der klinisch relevanten Gruppe (≥ 2 Gy) bei fast allen Tests zwischen 89 und 100 %. Bei der 1,2-Gy-Probe war eine genaue Zuordnung zur klinisch relevanten Gruppe schwieriger und 0 – 50 % bzw. 0 – 48 % der Schätzungen wurden fälschlicherweise in die niedrigste bzw. höchste Dosiskategorie eingeordnet.

Während bei den zytogenetisch basierten Tests eine systematische Verschiebung zu höheren Dosen beobachtet wurde, wurden bei EPR-, FISH- und GE-Tests extreme Ausreißer beobachtet, die die Referenzdosen um das Zwei- bis Sechsfache überstiegen. Die Ausreißer standen in Zusammenhang mit dem

ausgewählten Material bei den physikalischen Untersuchungsverfahren, bzw. waren korreliert mit den Erfahrungen der einzelnen Teams (GE und FISH). Prinzipiell konnten alle Verfahren eine sehr gute Leistungsfähigkeit zur Identifizierung der klinisch relevanten Gruppen zeigen. Die Übung zeigte einen sehr guten Trainingseffekt und die beobachteten Schwächen werden zur Verbesserung der Vorbereitung für Großschadensereignisse genutzt. Eine ausführliche Beschreibung ist im Radiation Research Sonderband 199, 2023 einzusehen. Zusammenfassend zeigt dieser ILC die Notwendigkeit regelmäßiger Übungen zur Ermittlung des Forschungsbedarfs, aber auch zur Identifizierung technischer Probleme.

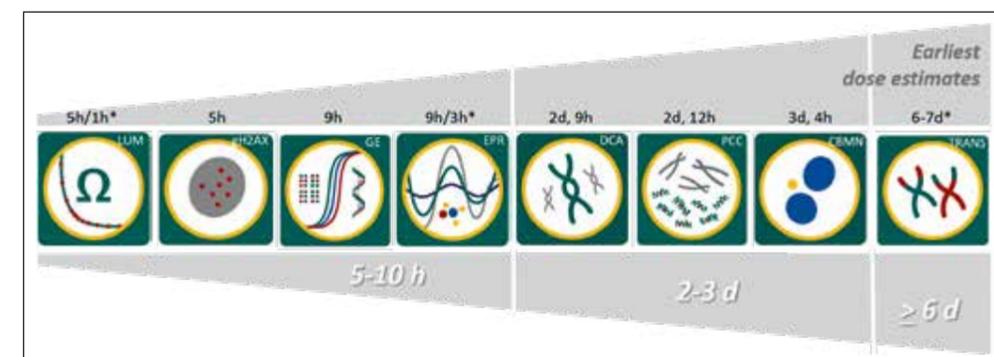


Abb. 3: Früheste Berichtszeiten für Dosisabschätzungen für alle Assays (oberer Teil der Abbildung, Berichtszeiten unten). Sternchen beziehen sich auf angenommene Dosisabschätzungen. Abkürzungen: Optisch oder thermisch stimulierte Lumineszenz [LUM], Gamma-H2AX-Foci [gH2AX], Genexpressionsassay [GE], Elektronenparamagnetische Resonanz [EPR], Dizentrischer Chromosomenassay [DCA], vorzeitiger Chromosomenkondensationsassay [PCC], Zytokinese-Block-Mikronukleus-Assay [CBMN] und stabiler chromosomaler Translokations-Assay [FISH]

Oberfeldarzt Prof. Dr. med. habil. Stefan Sammito
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe
Experimentelle Flugmedizinische Forschung
Köln

zentrlurmedlwi3bexperimentelleforschung@bundeswehr.org

TORR David Cyrol, M. Sc.
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe
Experimentelle Flugmedizinische Forschung
Köln

zentrlurmedlwi3bexperimentelleforschung@bundeswehr.org

Militärisches Spin-off – Nutzung von Erkenntnissen der Weltraummedizin für die Landes- und Bündnisverteidigung

Am Campus für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln forscht das Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe mit der European Space Agency gemeinsam an Themen der Expeditionsmedizin zur medizinischen Versorgung auf engstem Raum mit geringen Ressourcen, welche sowohl für die internationale Weltraumfahrt als auch für die sanitätsdienstliche Versorgung im militärischen Kontext von hohem Interesse sind.

Zukünftige Weltraummissionen zum Mond und Mars sind durch große Entfernungen, schlechte Zugänglichkeit für Transportmittel, lange Laufzeiten für Kommunikationswege und Einschränkungen in der Verfügbarmachung personeller Ressourcen und Expertisen gekennzeichnet (Abb. 1). Erkenntnisse aus 25 Jahren Internationaler Raumstation mit einer funktionierenden telemedizinischen Anbindung und nahezu jederzeitigen möglichen Evakuierung auf die Erde, lassen sich nicht ohne weiteres auf diese zukünftigen Missionen übertragen. Für den Bereich der sanitätsdienstlichen Versorgung im Einsatz gilt Vergleichbares: abgesetzte Teile müssen zunächst eine zielführende Erstversorgung durchführen, welche sich durch eingeschränkte personelle wie materielle Kapazitäten und ggf. geringe medizinische Expertisen innerhalb der Gruppen kennzeichnen lassen (Abb. 2). Im Falle der Bündnis- und Landesverteidigung werden insbesondere die medizinischen Personalressourcen noch seltener zur Verfügung stehen.

Neue Methoden und Technologien, von Onboard verbauten Hilfestellungen bis hin zu künstlicher Intelligenz zur Unter-



Abb. 1: Entfernung zwischen Erde und Mond bzw. Mars im direkten Vergleich zur Entfernung zur Internationalen Raumstation ISS (nicht maßstabsgetreu)



Abb. 2: Militärische Einsatzszenarien

Sylwia Izabela Kaduk, PhD
European Space Agency ESA
European Astronaut Centre Department
Köln

media@esa.int

Tobias Weber, PhD
European Space Agency ESA
European Astronaut Centre Department
Köln

media@esa.int

stützung bei Entscheidungsprozessen können solche Engpässe überbrücken. Hierdurch können medizinische Laien in die Lage versetzt werden, medizinische Vitalwertbestimmungen bis hin zu ggf. entsprechenden Behandlungskonzepten umzusetzen. Grundlage für das Projekt war ein marktverfügbarer, telemedizinischer Überwachungsmonitor (Abb. 3), dessen Eignung für langdauernde Weltraummissionen in den Händen von nicht-medizinischem Personal zur Erfassung des Gesundheitsstatus eines Astronauten zu überprüfen war.

Der am Standort Köln-Lind etablierte Campus für Luft- und Raumfahrtmedizin, mit dem unmittelbaren Austausch zwischen den Forschungseinrichtungen Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe (ZentrLuRMedLw), dem Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und dem European Astronaut Centre (EAC) der European Space Agency (ESA) bildet einen idealen Forschungscampus zur gemeinsamen Beantwortung solcher Fragen.

In der vorliegenden Studie „Evaluation der Nutzbarkeit eines telemedizinischen Überwachungsmonitors für Weltraummissionen, Flugreisen und Einsätze für medizinisch unerfahrene Laien“ beschäftigten sich das ZentrLuRMedLw und die ESA gemeinsam mit der Frage, ob ein Überwachungsmonitor mit integrierter Hilfestellung es ermöglicht, auch durch ungeschul-

tes Personal, plausible Vitalwerte in einer medizinisch vertretbaren Zeit zu erhalten. Dazu wurden medizinische Laien ohne vorherige Kenntnisse mit dem Überwachungsmonitor angewiesen, bei einem Testpatienten Blutdruck, Sauerstoffsättigung, Körpertemperatur und ein EKG zu erfassen, wobei die Zeitdauer und die hierdurch gemachten Fehler dokumentiert wurden.

Als Hilfestellung konnte das im Gerät verbaute Assistenzsystem, welches Schritt-für-Schritt durch die Messung führte, genutzt werden (Abb. 3). Die entsprechenden Ergebnisse wurden mit medizinischen Rettungsdienstpersonal mit langjähriger Erfahrung verglichen. Hierbei zeigte sich, dass bereits bei der zweiten Nutzung des Überwachungsgerätes die medizinischen Laien nur unwesentlich längere Zeiten benötigen, um die Vitalwerte gegenüber der Expertengruppe zu erfassen und die Fehlerhäufigkeit in Teilen sogar geringer war. Weitreichende Ausbildungsanteile könnten demnach reduziert werden oder sogar entfallen. Dies unterstreicht, dass wissenschaftlich fundierte Untersuchungen die operationelle Nutzbarkeit neuer Methoden und Verfahren für die Weiterentwicklung militärischer terrestrischer Anwendungen ermöglichen.



Abb. 3: Überwachungsmonitor während der Versuchsreihe

Oberstarzt Michael J. Melullis
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie
Berlin

Oberstarzt Marc Schüle
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie
Berlin

Oberstarzt Dr. med. Niels Huschitt
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie
Berlin

BwKrhsBerlinKlinik02Chirurgie@bundeswehr.org

BwKrhsBerlinKlinik02Chirurgie@bundeswehr.org

BwKrhsBerlinKlinik02Chirurgie@bundeswehr.org

Evaluation von Formen telechirurgischer Operationsunterstützung in der Einsatzchirurgie

Ziel des Forschungsvorhabens war die Etablierung eines gut reproduzierbaren wissenschaftlichen Laborsettings, in dem intraoperative, telechirurgische Interaktionen mittels zwei verschiedener Telekommunikationssysteme (HoloLens2 (Microsoft) und Vitom-3D® System (Storz)) zwischen Chirurgen und Chirurgen und entfernten Expertinnen und Experten getestet, analysiert und bewertet werden konnten.

In den internationalen militärischen Einsatzszenarien der Bundeswehr bestehen für Chirurgen und Chirurgen bei Problemen oder Komplikationen während operativer Eingriffe aktuell keine Möglichkeiten direkt mit Kolleginnen und Kollegen im Inland in Kontakt zu treten, um bei Bedarf deren Expertise einzuholen. Aufgrund der rasant wachsenden technisch-digitalen Möglichkeiten bieten sich aber stetig neue Unterstützungsoptionen. Für die Einsatzchirurgie kommt als Anforderung hinzu, dass entsprechende Systeme leicht zu transportieren und zu handhaben sein müssen und gleichzeitig eine sichere Datenübertragung gewährleistet sein muss.

Das hier vorgestellte Sonderforschungsprojekt 24K4-S-711921 (2019 – 2023) sollte die Effizienz und Akzeptanz ausgesuchter telechirurgischer Anwendungen zur Unterstützung komplexer Operationen evaluieren.

Es wurde ein Laborsetting etabliert, bei dem Probanden (chirurgisch-tätige Assistenzärzte und allgemein-chirurgische Fachärzte) in einem nachgestellten einsatzchirurgischen Szenario an einem perfundierten Abdomenmodell (Aorta Simulator,



Abb. 1: HoloLens2 (Fa. Microsoft)



Abb. 2: Vitom-3D®-System (Fa. Storz)

Oberstarzt Prof. Dr. med. Christian Willy
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und
Septisch-Rekonstruktive Chirurgie
Berlin

BwKrhsBerlinKlinik14Unfallchirurgie@bundeswehr.org

Dipl.-Ing. Jörg Schönfeld
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Abteilung Medizintechnik
Berlin

BwKrhsBerlin@bundeswehr.org

Oberfeldarzt d. R. Prof. Dr. med. David A. Back
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und
Septisch-Rekonstruktive Chirurgie
Berlin

BwKrhsBerlin@bundeswehr.org

Fa. Vascular International, Kerns, Schweiz) eine explorative Laparotomie durchführten und schließlich eine definierte Gefäßverletzung versorgten. Als digitale Kommunikationssysteme wurden die HoloLens2 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, United States, Abb. 1) als Beispiel für ein brillengebundenes Kommunikationssystem mit Augmented Reality Funktion, sowie das VITOM-3D®-System (Fa. Rudolf Storz GmbH, Emmingen, Deutschland, Abb. 2) als Beispiel für ein kamerastativgebundenes System, verwendet.

Von einem telechirurgischen Arbeitsplatz wurde ein super-vidierender Experte (Facharzt Allgemeinchirurgie) über das verwendete Gerät unterstützend zugeschaltet (Abb. 3 – 5). Im Anschluss erfolgte jeweils eine Evaluation hinsichtlich verschiedener Kriterien der Handhabung und Kommunikationsmöglichkeiten, mit zusätzlicher Erfassung objektiver Kriterien der technischen Funktionalität und Praktikabilität (Eingriffszeit, Anzahl und Art der Kontakte, Datenübertragung, technische Probleme).

Nach Einweisung in die Geräte fühlten sich nahezu alle Probanden (HoloLens 2: n = 16; VITOM-3D®: n = 20) bei der Benutzung beider Systeme sicher. Der Tragekomfort der HoloLens2 wurde durchschnittlich als neutral bewertet, allerdings empfanden einige Probanden das Gewicht (566 g) bei zunehmender Nut-

zungsdauer als unangenehm. Bei der Einfügung von graphischen Anmerkungen vom externen Experten zu Annotation im Bild bzw. Sichtfeld der Operateure kam es teilweise bei beiden Geräten zu unpräzisen Darstellungen. Auf der anderen Seite dazu bestätigten Probanden, dass die auditiven Anmerkungen des Experten überwiegend von sehr guter Qualität waren und hauptsächlich zur Operationsunterstützung dienten.

Der Einsatz von Formen telechirurgischer Operationsunterstützung bietet ein hohes Potenzial für die Verbesserung der Behandlungsqualität in der Einsatzchirurgie. Unabdingbare Voraussetzung ist die Etablierung einer Infrastruktur unter Gewährleistung einer stabilen Telekommunikationsverbindung. Es zeigte sich, dass beim aktuellen Technikstand der Geräte hauptsächlich die audiovisuelle Interaktion maßgeblich für die Operationsunterstützung ist und gerade Augmented Reality Optionen weiter getestet werden sollten. Mit Fokus auf das Gewicht und die Dimensionen der eingesetzten Geräte ist derzeit das brillengebundene System gegenüber dem stativgebundenen System zu präferieren. Gleichzeitig sollte die klinische Praktikabilitätsforschung auch anderer Lösungen stets weiter vorangebracht werden.



Abb. 3: Versuchsaufbau der Fallstudie; Proband mit HoloLens2 und Assistent

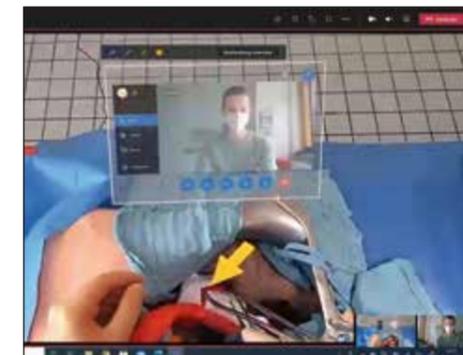


Abb. 4: Sicht des Probanden durch HoloLens2



Abb. 5: Versuchsaufbau der Fallstudie; Proband mit Vitom-3D®-System und Assistent

Dr. habil. Mark Melnyk
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Ulm

BwKrhsUlm@bundeswehr.org

Oberstabsarzt Dr. Yannick Beres
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Ulm

BwKrhsUlm@bundeswehr.org

Jakob Braun
Active Fungus GmbH
München

info@activefungus-studios.de

Thorsten Feldmann
Thera Bytes GmbH
München

info@therabytes.de

Prof. Dr. Marko Hoffmann
Universität der Bundeswehr München
Neubiberg

info@unibw.org

Dr. Cornelia Küsel
Universität der Bundeswehr München
Neubiberg

info@unibw.org

Stressresilienz durch Exposition in der simulierten Vorsichtung bei Massenanfall von Verletzten (STRESS)

Die Gefahr eines Massenanfalls von Verletzten ist aufgrund der gegenwärtigen Sicherheitslage stark in den Fokus gerückt. Forschungsziel ist es, Einsatzkräfte mittels Serious Game auf die situativen Umgebungsstressoren vorzubereiten. Der Demonstrator setzt diese realitätsnah in einsatzrelevante Szenen um und unterstützt psychische Resilienz, indem funktionale Bewältigungsstrategien vermittelt werden.

Die Gefahr eines Massenanfalls von Verletzten (MANV) ist allgegenwärtig und aufgrund der gegenwärtigen Sicherheitslage wieder stark in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Im Rahmen einer zweijährigen Förderung im Programm „Forschung für zivile Sicherheit“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Abb. 1) entwickelt das Forschungskonsortium, inklusive des Forschungsverbund Süd des Sanitätsdiensts der Bundeswehr, ein virtuelles Ausbildungstool für Einsatzkräfte, das die Bündelung von medizinischen und psychologischen Kompetenzen in Verbindung mit modernster virtueller Simulation darstellt. Die prähospitalen Triage (Sichtung) ist eine herausfordernde Aufgabe für das Rettungspersonal, das unter großem Druck agieren muss. Der Fokus der virtuellen Simulation liegt im Besonderen auf der realitätsgetreuen Darstellung einer Vorsichtung oder Ersttrriage und den relevanten Stressoren.

Das ersteintreffende Rettungsdienstpersonal muss innerhalb kurzer Zeit schwerwiegende Entscheidungen nur anhand von wenigen Merkmalen treffen, die über die Behandlungsreihenfolgen von Verletzten entscheiden (Abb. 2).



Abb. 1: Das BMBF, vertreten durch den Projektträger VDI, fördert STRESS im Rahmen des Forschungsprogramms Zivile Sicherheit



Abb. 2: Fokus auf der Vorsichtung. Sichtungs-Konsensus-Konferenz 2019. Bundesamt für Bevölkerung und Katastrophenschutz

Gerade (Terror-)MANV Szenarien sind besonders belastend, was nicht nur an der Gefährdungslage liegt, sondern auch an den vielen verschiedenen Stressoren, wie mangelnde Kontrolle, organisationale Stressoren, den Verletzungsbildern und moralischen Konflikten. Rettungskräfte stehen unter einer besonderen Belastung. Es sind Präventionsmaßnahmen dringend notwendig, um die Belastungen zu senken und individuell passende akute Stressbewältigungsstrategien zu vermitteln. Daher ist es das Gesamtziel des Vorhabens, Einsatzkräfte auf einen MANV am Beispiel eines Terrorszenarios mittels Serious Game – nachfolgend Demonstrator – auf die zu erwartenden Stressoren vorzubereiten (Abb. 3).

Hintergrund ist, dass neben der notwendigen medizinischen Kompetenz die Handlungs- und Leistungsfähigkeit von Einsatzkräften (nichtärztliches, ärztliches Rettungsdienstpersonal) entscheidend davon abhängt, wie mit Stressoren in diesen Situationen umgegangen wird. Dazu zählen beispielsweise Umwelteinflüsse, Sichtverhältnisse, eine hohe Anzahl von Patienten, Zeitdruck, mangelnde Vorhersagbarkeit der Ereignisse, die Bedrohungslage und die Schwere der Verletzungsbilder. Das Vorhaben adressiert diese Stressoren in einem Demonstrator, setzt diese realitätsnah in einsatzrelevanten Szenen um und unterstützt den Aufbau von psychischer Resilienz durch die Vermittlung funktionaler Strategien zur Bewältigung von Stressoren.

Das Alleinstellungsmerkmal des Demonstrators liegt in der Kombination eines psychologischen Stressstrainings mit einsatzrelevanten und ihrer Anforderungen an die Stressbewältigung graduell steigbaren Szenarien, der Integration physiologischer Verfahren der Stressmessung sowie der Verknüpfung mit der medizinischen Ausbildung. Neben der digitalen Umsetzung der Stresserzeugung, -messung und -auswertung unter Verwendung geeigneter Hardware und entsprechend gestalteter Software steht daher die Verbindung von medizinischen, psychologischen und spielspezifischen Konzepten im Mittelpunkt des Stress-Sichtungstrainers, so dass Einsatzkräfte umfassend auf einen MANV geschult werden können. Das verwendete intuitive Serious Games Format berücksichtigt besonders die Bereiche Affekte, Flow-Erleben, Anspannung und Immersion und führt zu einer größtmöglichen Nutzerakzeptanz aufgrund des hohen Unterhaltungswerts. Dies ist für ein intensives, erfolgreiches virtuelles Training von Einsatzkräften eine wichtige Voraussetzung.

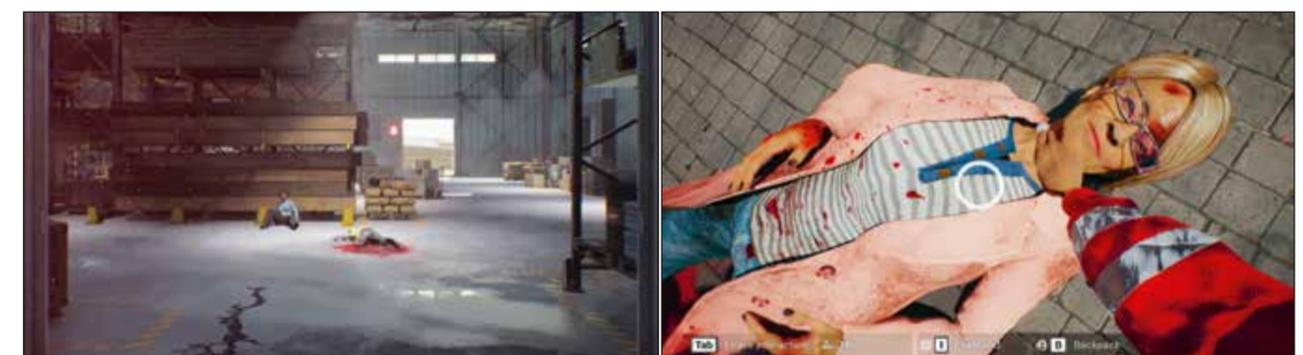


Abb. 3: Eingespielte virtuelle Situationen von Schwerverletzten als Beispiel für individuelle Trainingssituationen

OLt Dr. phil. Thimo Knaust
Bundeswehrkrankenhaus Hamburg
Zentrum für Seelische Gesundheit
Hamburg

BwKrhsHamburgKlinischePsychologie@bundeswehr.org

Oberstarzt Dr. med. Helge Höllmer
Bundeswehrkrankenhaus Hamburg
Zentrum für Seelische Gesundheit
Hamburg

BwKrhsHamburgKlinikVIKlinischerDirektor@bundeswehr.org

Virtuelle Naturumgebungen in der wehrmedizinischen Versorgung

Die Bundeswehr steht vor der Herausforderung, wachsende Zahlen militärischen Personals mit psychischen Störungen zu behandeln. Virtuelle Naturumgebungen könnten als Intervention bei stressbedingten Störungen unterstützen, wie erfolgreiche Tests mit 360°-Strandvideos zeigen. Die eigenproduzierten Videos haben das Potenzial, in der wehrmedizinischen Versorgung eingesetzt zu werden.

Die Bundeswehr steht als Einsatzarmee vor der Herausforderung einer Vielzahl einsatzbedingter Traumafolgestörungen. Die am häufigsten auftretenden psychischen Erkrankungen nach Auslandseinsätzen bei Bundeswehrsoldaten und -soldatinnen sind die einsatzbedingte Anpassungsstörung, depressive Episoden und die Posttraumatische Belastungsstörung (PTBS). Die zentral geführte Einsatzstatistik zeigt, dass die Anzahl der jährlich neu erkrankten Soldatinnen und Soldaten mit einer einsatzassoziierten psychischen Störung auf einem gleichbleibend hohen Niveau liegt. Parallel dazu steigt die Gesamtanzahl zu versorgenden Soldatinnen und Soldaten kontinuierlich an. Auch internationale wehrmedizinische Surveillancestudien weisen darauf hin, dass sich einsatzassoziierte psychische Erkrankungen nicht kurzfristig therapieren lassen, sondern dass eine Behandlung sich häufig über mehrere Jahre erstreckt und sie derzeit den größten Anteil an der Hospitalisierungsrate und -dauer ausmachen.

Angesichts der stetig steigenden Anzahl des zu versorgenden militärischen Personals mit einsatzassoziierten psychischen Erkrankungen zeigt das Zentrum für Seelische Gesundheit



Abb. 1: Versuchsaufbau Entspannungsexperiment



Abb. 2: Produktion monoskopischer 360°Waldaufnahmen

des Bundeswehrkrankenhauses in Hamburg Interesse an der Erprobung innovativer digitaler Versorgungsformen für stressassoziierte psychische Störungsbilder, wie PTBS, Depression und Anpassungsstörungen. Diese sollen skalierbar sein, flächendeckend eingesetzt werden können und besonders Militär-angehörige erreichen.

Daher ist ein zentrales Forschungsgebiet der Klinik die systematische Erprobung von virtuellen Naturumgebungen in der stationären wehrpsychiatrischen Routineversorgung. In einer grundlagenorientierten Wirksamkeitsstudie aus dem Jahr 2018 wurde mit gesunden Teilnehmenden untersucht, ob eine monoskopische 360°-Strandaufnahme via Head-Mounted Display (HMD) nach einem akuten Stressor entspannender ist als das gleiche Video via PC-Bildschirm oder einer Kontrollbedingung ohne Video (Abb. 1). Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß, dass ein monoskopisches 360°-Strandvideo via HMD signifikant entspannender erlebt wird als das gleiche Video via PC-Bildschirm oder einer Kontrollbedingung. Diese Ergebnisse sind unabhängig von Alter, Geschlecht oder der Technologieängstlichkeit der Probandinnen und Probanden, was für eine breite Anwendbarkeit spricht.

Keine der teilnehmenden Personen brach das HMD vorzeitig ab, zum Beispiel aufgrund von Schwindelgefühlen oder Übelkeit. Daher wird die Wahrscheinlichkeit von Motion Sickness / Cyber Sickness durch monoskopische 360°-Naturvideos als gering eingeschätzt. Allerdings zeigten psychophysiologische Zielparameter (Herzrate und Hautleitfähigkeit) keine Unterschiede zwischen der VR- und PC-Bedingung. Diese Divergenz öffnet Interpretationsspielräume. Daher wird in einem Folgeprojekt die entspannungsinduzierende Wirkung monoskopischer



Abb. 3: Prototypen monoskopischer 360° Waldaufnahmen

360°-Naturaufnahmen an Soldatinnen und Soldaten mit einer PTBS untersucht und systematisch der Immersionsgrad der Darbietungsart sowie die Dauer variiert. Konsekutive Forschungsvorhaben werden prüfen, ob und wie sich digitale Entspannungsinterventionen in bestehende Behandlungskonzepte integrieren lassen.

Um virtuelle Naturumgebungen potenziell flächendeckend in der wehrmedizinischen Routineversorgung sowie zur Steigerung und zum Erhalt der psychischen Fitness einzusetzen, wurde zudem die Kompetenz erworben, eigenständige monoskopische 360°-Naturvideos zu produzieren. Hierfür wurden Pre-Production-, Production- und Post-Production-Workflows entwickelt und verschiedene Prototypen produziert (Abb. 2 und 3). Diese können lizenzfrei innerhalb der Bundeswehr genutzt werden. Somit ist in den nächsten Jahren neben der empirischen Evaluation virtueller Entspannungsinterventionen auch eine Implementierung in die wehrmedizinische Routineversorgung und in die Prävention vorstellbar.

Oberstarzt Prof. Dr. med. Robert Schwab
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Klinik für Allgemein-, Viszeral- und
Thoraxchirurgie

BwZKrhsKoblenzKlinikIIChirurgie
@bundeswehr.org

Oberstarzt Dr. med. Aliona Wöhler
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Klinik für Allgemein-, Viszeral- und
Thoraxchirurgie

BwZKrhsKoblenzKlinikIIChirurgie
@bundeswehr.org

Flottillenarzt PD Dr. med. habil.
Arnulf G. Willms
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Klinik für Allgemein-, Viszeral- und
Thoraxchirurgie

BwKrhsHamburgKlinikIIChirurgie
@bundeswehr.org

Innovativer Bluttest zur Erkennung polytraumatisierter Patienten mit Verletzungen der inneren Organe

Das Polytrauma zählt zu den führenden Todesfolgen weltweit. Ein innovativer Bluttest (LiBOD, liquid biospy in organ damage) soll die Art und Schwere der Verletzungen insbesondere im Bereich der inneren Organe anhand der Bestimmung von kleinen Zellpartikeln (small EVs, engl. „small extracellular vesicles“) detektieren, die im Serum nachweisbar sind und ähnliche Antigeneigenschaften besitzen wie ihre Ursprungszelle.

Im präklinischen Setting gestaltet sich das Erfassen der Traumafolgen bei polytraumatisierten Patientinnen und Patienten und ihre Triage schwierig. Gerade Verletzungen der inneren Organe werden schnell erkannt (Abb. 1). Im Schockraum stehen moderne bildgebende Verfahren wie Computertomographie zur Verfügung. Es existiert aber kein serologischer Marker (Bluttest), der die Komplexität des Traumas, die Immunantwort sowie seine Folgen abbilden kann. Das Ziel des gemeinsamen Forschungsprojektes des Bundeswehrzentralkrankenhauses Koblenz und des Universitätsklinikums Bonn besteht darin, eine Differenzierung zwischen polytraumatisierten Patienten mit Verletzungen der inneren Organe und denen mit überwiegend knöchernen Traumafolgen anhand eines im Rahmen einer Pilotstudie etablierten serologischen Markers vorzunehmen.

Dazu wurden 61 schwerstverletzte Patienten erfasst und in zwei Kohorten eingeteilt. Dabei wurden die Patienten mit führenden Verletzungen der inneren Organe (Leber, Milz und Lunge) sowie Patienten mit überwiegenden Verletzungen des Bewegungsapparates in die Studie eingeschlossen. In den ersten 24 Stunden

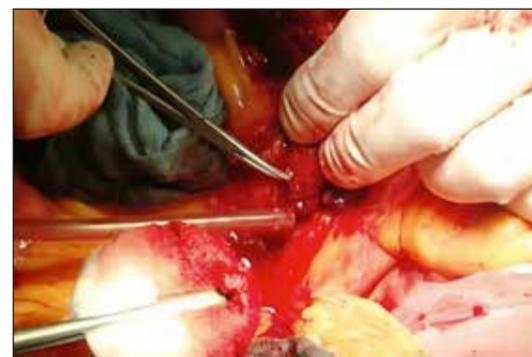


Abb. 1: Darstellung des intraoperativen Situs

OTL d.R. PD Dr. rer. nat. Mirosław Kornek
Universitätsklinikum Bonn
Medizinische Klinik und Poliklinik I
Bonn

cm.med1@ukbonn.de

Dr. med. Bingduo Wang
Universitätsklinikum Bonn
Medizinische Klinik und Poliklinik I
Bonn

cm.med1@ukbonn.de

Prof. Veronika Lukacs-Kornek
Universitätsklinikum Bonn
Institut für molekulare Medizin und
experimentelle Immunologie
Bonn

immei@uni-bonn.de

post Trauma sowie am 7. Tag nach dem erlittenen Trauma wurde Vollblut bei diesen Patienten entnommen. Hieraus wurden die kleinen zirkulierenden EVs mittels der Größenausschlusschromatographie und der Ultrafiltrationsmethode isoliert, siehe Workflow (Abb. 2). Anschließend wurden die small EVs mit der Nanopartikel-Tracking-Analyse (NTA) quantifiziert und mit einer neuen EV-Mikrochip-Methode auf diesen immobilisiert. Die genaue Zuordnung einzelner small EVs erfolgte mittels Multifärbung hinsichtlich spezifischer Oberflächenantigene. Eine hochauflösende Größenbestimmung, Zählung und Phänotypisierung auf der Ebene einzelner small EVs wurde mithilfe des ExoView Readers R100 der Firma NanoView Biosciences durchgeführt (Abb. 2).

Die Ergebnisse zeigen, dass small EVs, die von CD14+ und CD61+ Monozyten stammen, unterschiedliche Ausprägungen in Patienten mit primär knöchernen Verletzungen und in den Patienten mit Verletzungen der inneren Organe hatten. CD9+CD14+small EVs waren bei den Patienten mit verletzten parenchymatösen Organen wie Leber, Milz, Nieren, Lungenkontusionen, Aortendissektionen und Amputationen signifikant erhöht (AUROC: 0,95; Sensitivität: 81 % und Spezifität: 97 %). Zusätzliche und unveröffentlichte Pilotdaten zeigen, dass CD9+CD14+ kleine EVs einfache stumpfe Milzverletzungen (AAST 1&2) von komplexen stumpfen Milzverletzungen

(AAST ≥ 3) und AAST 0 (keine Milzverletzung) unterscheiden können. Hierzu besteht jedoch noch weiterer Forschungsbedarf.

Eine Korrelation zwischen der Dauer der Beatmung sowie der Dauer des intensivmedizinischen Aufenthaltes konnte nicht ausreichend nachgewiesen werden. Die ausgewählten Blutmarker zeigten aber eine Übereinstimmung mit dem Schweregrad der Verletzungen, der mittels des Injury Severity Score (ISS) erhoben wurde.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass spezifische Subpopulationen kleiner EVs, wie z. B. aus Monozyten, nicht-invasive und objektive Biomarker für die Bewertung und Überwachung des Schweregrads eines Polytraumas und der damit verbundenen Organschäden dienen könnten. Die Ergebnisse des wehrmedizinischen Sonderforschungsvorhabens wurden in der Fachzeitschrift *Frontiers in Immunology* veröffentlicht.

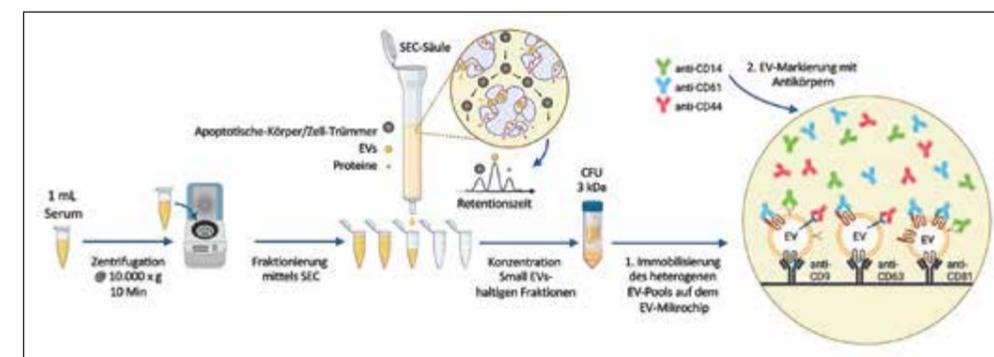


Abb. 2: Darstellung des experimentellen Workflow der Isolierung und Quantifizierung von Monozyten abstammenden small EVs

RDir PD Dr. Ulrich Wesemann
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Psychotraumazentrum
Berlin

psychotraumazentrum@ptzbw.org

MinR'in Susanne Bruns
Bundesministerium der Verteidigung
P III 5
Bonn

BMVgPIII5@bmvg.bund.de

Neukonzeption der Psychologischen Krisenintervention in der Bundeswehr

Um zeitgerechte, am Stand der Wissenschaft orientierte Maßnahmen für die Bundeswehr anbieten zu können, hat der Psychologische Dienst der Bundeswehr ein neues Konzept zur Krisenintervention entwickelt. Die Interventionen können im Gegensatz zu früher über einen deutlich längeren Zeitraum angeboten werden und gehen immer spezifischer auf die Bedürfnisse der Betroffenen ein.

Psychologische Krisenintervention ist nach potenziell traumatisierenden Ereignissen nicht mehr wegzudenken. Dies wird unter anderem durch Medienberichte nach Großschadensereignissen deutlich, die regelmäßig darüber informieren, dass psychologische Unterstützungskräfte vor Ort waren. Damit ist das Selbstverständnis für psychologische Krisenintervention fest in der Gesellschaft verankert. Bei den angebotenen Maßnahmen gibt es jedoch deutliche Unterschiede. So haben sich einige Kriseninterventionskonzepte als nicht hilfreich und teilweise sogar als schädlich erwiesen.

Um ein zeitgerechtes, am Stand der Wissenschaft orientiertes Konzept für die Bundeswehr anbieten zu können, hat der Psychologische Dienst der Bundeswehr ein zweistufiges Verfahren initiiert. Zuerst wurde das Psychotraumazentrum am Bundeswehrkrankenhaus Berlin beauftragt, aktuelle wissenschaftliche Literatur auszuwerten. Das Ziel war, Maßnahmen zu identifizieren, die für die Krisenintervention geeignet sind. Von $n = 2.124$ Volltexten wurden die für die Fragestellung relevanten $N = 376$ Artikel systematisch ausgewertet. Hier wurde die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen nach wissenschaftlichen Standards



Abb. 1: Unterricht Psychische Kameradenhilfe
(Quelle: Bundeswehr/Anne Weinrich)

untersucht und bewertet. Zusätzlich wurden verschiedene psychologische Kriseninterventionskonzepte anderer Nationen berücksichtigt.

Als weiterer Schritt wurde vom Psychologischen Dienst der Bundeswehr eine Expertengruppe gebildet. Diese bestand aus Psychologinnen und Psychologen verschiedener Disziplinen mit praktischer und wissenschaftlicher Expertise in Krisenintervention. Die vom Psychotraumazentrum geleitete Expertengruppe wurde beauftragt, aus den zuvor gewonnenen Ergebnissen ein neues Konzept für die Bundeswehr zu entwickeln.

Als Ergebnis wurde ein Gesamtkonzept verschiedener Maßnahmen für unterschiedliche Zielgruppen vorgeschlagen, auf dessen Grundlage die Gruppe Psychologische Fachaufgaben im Streitkräfteamt ein Manual erstellt hat. Im Anschluss wurde die neue Vorgehensweise in der Psychologischen Krisenintervention für den Psychologischen Dienst der Bundeswehr implementiert.

Zu den wesentlichen Neuerungen der Psychologischen Krisenintervention gehört der Verzicht auf ein vertiefendes Eingehen auf die mit dem traumatischen Ereignis verbundenen Emotionen. Zusätzlich finden Nachsorgemaßnahmen über einen deutlich längeren Zeitraum statt, und die häufigsten psychischen Symptome werden erfasst. Dabei wird die Nachsorge immer individueller und auf die spezifischen Bedürfnisse der Betroffenen zugeschnitten. Ebenfalls findet ein freiwilliges Screening über einen Zeitraum von 3 Jahren statt, um ein verzögertes Einsetzen psychischer Probleme zu erkennen. Dies ist deshalb relevant, da viele Betroffene erst nach weiteren widrigen Umständen Symptome entwickeln. Diese „widrigen Umstände“

müssen nicht in Verbindung mit dem Ursprungsereignis stehen, so dass „Folgeprobleme“ in der Vergangenheit häufig nicht beobachtet wurden.

Mit diesem Maßnahmenpaket ist es dem Psychologischen Dienst der Bundeswehr gelungen, ein am aktuellen Stand der Wissenschaft ausgerichtetes, effektives, individualisiertes und praktisch gut umsetzbares Konzept zur Psychologischen Krisenintervention in der Bundeswehr einzuführen. Dieses Konzept wurde bereits bei diversen nationalen und internationalen Kongressen vorgestellt und hat aufgrund seiner Innovation große Aufmerksamkeit auf sich gezogen. So gibt es bereits Interesse anderer Streitkräfte, es in adaptierter Form zu übernehmen.

In Kombination mit der Erfassung der Psychischen Fitness, einem niederschweligen Beratungsangebot, diversen Resilienztrainings sowie der psychologischen Einsatzvor- und Nachbereitung leistet der Psychologische Dienst der Bundeswehr einen wesentlichen Beitrag zum Erhalt und Steigerung der Psychischen Fitness von Bundeswehrangehörigen.



Abb. 2: Symbolbild Depressionen
(Quelle: Bundeswehr/Anna Derr)

3

Militärgeschichtliche und Sozialwissenschaftliche Forschung

Das Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr (ZMSBw) betreibt im Auftrag des Bundesministeriums der Verteidigung militärgeschichtliche und sozialwissenschaftliche Forschung und beteiligt sich am öffentlichen und wissenschaftlichen Diskurs über deutsches Militär in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft.

Die wissenschaftliche Arbeit des ZMSBw zielt auf das Gewinnen und Vermitteln militärgeschichtlicher und sozialwissenschaftlicher Erkenntnisse insbesondere für das BMVg und die Bundeswehr, aber auch für das Parlament, die Wissenschaft und die nichtwissenschaftliche Öffentlichkeit.

Die militärgeschichtliche und sozialwissenschaftliche Forschung bildet den Schwerpunkt wissenschaftlichen Arbeitens am ZMSBw. Geschichte und Gegenwart der Bundeswehr stehen dabei im Mittelpunkt. Die wissenschaftliche Arbeit erfolgt nach den allgemein anerkannten Methoden und Standards der Geschichts- und Sozialwissenschaften und unterliegt der grundgesetzlich garantierten Freiheit von Wissenschaft und Forschung.

Die Forschungsergebnisse des ZMSBw stellen eine wesentliche Grundlage für die historische Bildung in der Bundeswehr dar. Sie wirken damit unmittelbar auf das staatsbürgerliche Verständnis und das Geschichtsbewusstsein der Angehörigen der Bundeswehr ein und tragen zur Verwirklichung des Leitbildes des Staatsbürgers in Uniform bei.

Das ZMSBw unterstützt das BMVg bei der Wahrnehmung der Fachaufsicht über das Museums- und Sammlungswesen der Bundeswehr und ist im Auftrag des BMVg für die fachliche Steuerung und Überwachung aller Sammlungen im Museums- und Sammlungsverbund der Bundeswehr zuständig.



Prof. Dr. Martin Elbe
 Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr
 (ZMSBw)
 Potsdam

ZMSBwPressestelle@bundeswehr.org

Der Sport des Militärs und die sozialwissenschaftliche Evaluation der Invictus Games 2023

Sport ist für die Soldaten und Soldatinnen in ihrem Dienstalltag und im Einsatz, aber auch für das Militär insgesamt, von großer Bedeutung. Das Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr (ZMSBw) hat mit eigenen Beiträgen und einer Befragung zur Evaluation der Invictus Games in Düsseldorf diesem Zusammenhang im Jahr 2023 besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Die Beziehung zwischen Sport und Militär scheint eine quasi natürliche zu sein – bedarf doch das Soldatische in besonderem Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit. Sport und Militär gehören damit (zumindest aus der Sicht des Militärs) zusammen, was sowohl aus historischer Perspektive, als auch aus der Sicht anderen wissenschaftlichen Disziplinen, immer wieder bestätigt wird. Dies zeigen die vielfältigen Beiträge des 2023 erschienen Bandes „Der Sport des Militärs. Perspektiven aus Forschung, Lehre und Praxis“ (Abb. 1). Die Bandbreite des Buches reicht von sozialwissenschaftlichen, sportwissenschaftlichen, psychologischen und historischen Analysen über sportmedizinische Ansätze bis hin zu praktischen Darstellungen.

Die Funktion von Sport im Militär beschränkt sich nicht auf die Steigerung körperlicher Leistungsfähigkeit und die Förderung des Spitzensports, zunehmende Bedeutung haben auch Gesundheits- und Rehasport. Speziell letzterer zielt auf die Wiederherstellung spezifischer Funktionsfähigkeit und der Teilhabe nach Verletzungen oder Erkrankungen ab. Diesem Thema war ein Workshop am ZMSBw am 14. Juni 2023 gewidmet, der die Perspektive des Behindertensports im Militär im Zeitalter der

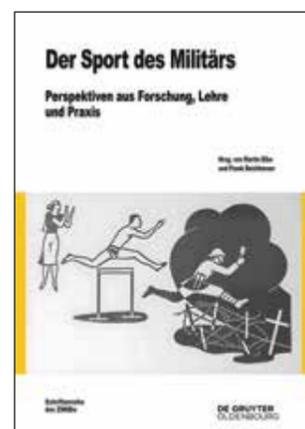


Abb. 1: Cover des Sammelbandes „Der Sport des Militärs. Perspektiven aus Forschung, Lehre und Praxis“, erschienen bei De Gruyter/Oldenbourg



Abb. 2: Invictus Games 2023 in Düsseldorf

Weltkriege aufnahm und einen sozialwissenschaftliche Blick auf den aktuellen Umgang mit Reha-Sport im Militär generell und speziell im Rahmen der Invictus Games gewährte.

Die 6. Invictus Games (IG 23) fanden in Deutschland von 6. bis 19. September 2023 in Düsseldorf statt (Abb. 2). Es handelt sich um eine sportliche Großveranstaltung, die den körperlich oder seelisch verletzten Soldatinnen und Soldaten eine Plattform bieten sollen, um Teilhabe, eigene Leistungsfähigkeit und Anerkennung zu erfahren. Auf der wissenschaftlichen Begleittagung zu den IG 23 in Düsseldorf stellte der Autor für das ZMSBw die zentralen Ergebnisse sowohl aus dem Band „Sport des Militärs“ als auch des Workshops am ZMSBw im Juni vor.

Darüber hinaus war das ZMSBw damit beauftragt, die IG 23 zu evaluieren. Hierfür wurde ein standardisierter Fragebogen entwickelt, der neben den soziodemographischen Daten die Wahrnehmung der IG 23 im Vorfeld der Spiele, die Beurteilung der IG 23 als Sportgroßveranstaltung, die Motive der Freiwilligentätigkeit, den Bezug der Volunteers zum Militär, die Einstellungen zu Sport und Militär sowie zur generellen Bedeutung von Gesundheit erhob.

Der Schwerpunkt der Befragung lag bei den Freiwilligen, da diese mit einer Rücklaufquote von 34 Prozent (349 verwertbare Fragebögen) die beste Grundlage für qualitativ hochwertige Aussagen lieferten. Wie Abb. 3 zeigt, war die Gesamtbewertung der IG 23 durch die Volunteers mit 87 Prozent sehr guter und eher guter Einschätzung äußerst positiv. Hinsichtlich der Haupteinflussfaktoren aus Sicht der Volunteers wurden 13 mögliche Einflussfaktoren aus 40 Einzelmerkmalen gebildet, bei deren Formulierung die Indikatoren der Nationalen Strategie

Sportgroßveranstaltungen Deutschlands berücksichtigt wurden. Mithilfe einer Regressionsanalyse konnten vier Haupteinflussfaktoren ermittelt werden, welche die Gesamtbewertung signifikant beeinflussen:

1. Identifikation mit dem Sport und den Wettkämpferinnen/Wettkämpfern,
2. das Ausmaß der realisierten Teilhabe,
3. die Organisation der Veranstaltung und
4. das eigene Alltagserleben während der Veranstaltung.

Als zentrale Motivatoren für die Freiwilligentätigkeit ergeben sich aufgrund einer Faktorenanalyse vier Faktoren aus 15 Einzelmerkmalen:

1. Verstehen und Lernen,
2. persönliches Wachstum,
3. soziale Aspekte (Freunde, Umfeld) und
4. eigene Karriereorientierung / sich ausprobieren.

Mit den Ergebnissen der wissenschaftlichen Analyse unterstützte das ZMSBw die, für die IG 23 verantwortliche, Projektorganisation bei der Erstellung einer Gesamtevaluation der Spiele.

Auch in Zukunft ist mit weiteren Forschungsergebnissen zum Themenfeld Sport und Militär aus dem ZMSBw zu rechnen.

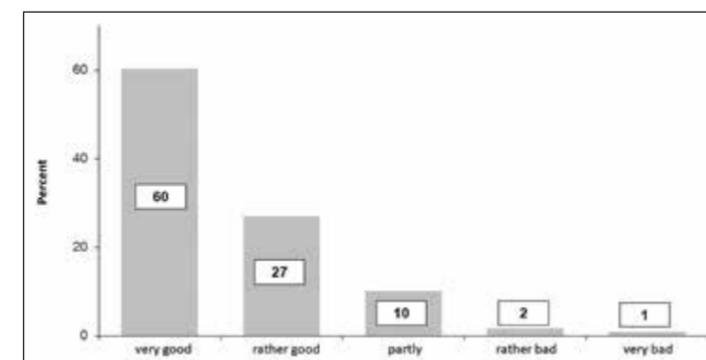


Abb. 3: Gesamtbewertung der IG 23 durch die Volunteers

Dr. Dennis Werberg
Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften
der Bundeswehr (ZMSBw)
Potsdam

ZMSBwMilitaergeschichtebis1945@bundeswehr.org

Der Stahlhelm – Bund der Frontsoldaten

Zwischen 1914 und 1918 erlebten rund 13,4 Millionen Deutsche den Ersten Weltkrieg als Soldaten. Der größte Teil dieser Veteranen legte die Uniform nach Kriegsende ab – eine Minderheit jedoch schloss sich Soldatenverbänden an. Diese prägten die Weimarer Republik teils als politische Akteure, teils als paramilitärische Kampforganisationen. Zu einem der größten und bedeutendsten dieser Verbände zählte „Der Stahlhelm – Bund der Frontsoldaten“.

Der bereits 1918 gegründete Stahlhelm entwickelte sich im Laufe der 1920er Jahre zu einer der größten Massenorganisationen des nationalen Lagers und zu einer der mitgliederstärksten Veteranenorganisationen in der Weimarer Republik. Gleichzeitig trat er immer stärker als rechtsgerichtete Sammlungsbewegung in Erscheinung. Sein Ziel war es, die Demokratie von Weimar in einen autoritär geführten Machtstaat umzuwandeln. Das nationale Lager war jedoch gespalten. Die Konfliktlinien zwischen den verschiedenen Strömungen von Nationalliberalen über Nationalkonservative bis hin zu völkischen Rechtsextremen liefen auch durch den Stahlhelm selbst. Dies erschwerte die Festlegung auf einen politischen Kurs.

Spätestens seit Ende der 1920er Jahre musste sich der Stahlhelm mit dem aufstrebenden Nationalsozialismus auseinandersetzen, mit dem er in einem überaus ambivalenten Verhältnis stand. Dieses Verhältnis bildet den roten Faden der Studie, das auf den Ebenen der geistigen Grundlagen, der sozialen Zusammensetzung der Mitgliederbasis und des politischen Wirkens untersucht wird. Aus überlieferungstechnischen Gründen



Abb. 1: Buch Cover „Der Stahlhelm – Bund der Frontsoldaten“, erschienen bei De Gruyter/ Oldenburg



Abb. 2: Harzburg (Robert Sennecke, Internationaler Illustrations-Verlag Berlin SW 11 (Quelle: Jednostka – Szukaj w Archiwach))

liegt der Schwerpunkt hierbei auf dem bayerischen Landesverband, zu dem ein großer, bislang kaum genutzter Aktenbestand erhalten geblieben ist.

In der Anwendung eines Ansatzes aus der vergleichenden Faschismusforschung stellt der Verfasser den Stahlhelm und dessen Ideenwelt als Ausdruck eines Neuen Nationalismus dar. Zwar wies der oft beschworene „Stahlhelmgeist“ inhaltlich große Schnittmengen mit dem Faschismus und der Konservativen Revolution auf, wich jedoch in einigen zentralen Punkten von diesen ab. Besonders hervorzuheben ist der fehlende Wille zur revolutionären und gewaltsamen Überwindung der vorherrschenden Ordnung und das Festhalten an einer konservativen Vorstellung vom Staat. Zwar barg die Gesamtorganisation starke faschistische Potenziale in sich, doch kamen diese nie zur vollen Entfaltung. Dies hatte Auswirkungen auf den politischen Stil der Organisation, aber auch auf die soziale Zusammensetzung des Führungskorps und der Mitgliederbasis.

Die Zugehörigkeit zur gesellschaftlichen Oberschicht war für die Stahlhelmführer der mittleren Ebene typisch. Doch waren Angehörige der oberen sozialen Schichten auf Ebene der einfachen Mitglieder regelmäßig überrepräsentiert. Insgesamt stellten die Stahlhelmer damit das Gegenstück zum Typus der „jungen Kämpfer“ dar, welche die NS-Bewegung bis 1930 dominierten. Stahlhelm und Nationalsozialismus konkurrierten als selbsternannte Sammlungsbewegungen insbesondere um Zustimmungspunkte und Mitglieder, andererseits versuchte der Stahlhelm, die Nationalsozialisten in eine durch ihn koordinierte, antirepublikanische Front zu integrieren. Diese Bestrebungen verhinderte eine eindeutige Distanzierung der Bundesführung.



Abb. 3: Reichsfrontsoldatentag 1932 (Quelle: Bundesarchiv, Bild 102-02441)

Trotz der teilweise heftigen Auseinandersetzungen wurde der Gründer und erste Bundesführer des Stahlhelm Franz Seldte 1933 Minister in der unter Adolf Hitler gebildeten Reichsregierung. Es folgte die schrittweise Eingliederung eines Großteils der Bundesmitglieder in die SA. Gleichzeitig sah sich der Bund immer heftigeren Repressalien ausgesetzt. Im November 1935 löste er sich auf Anordnung Hitlers auf.

Ein Alleinstellungsmerkmal der Studie ist, dass sie den Untersuchungszeitraum ausweitet und die kaum bekannte Neugründung des Stahlhelms 1951 und die Aktivitäten des Bundes in der Bundesrepublik in den Blick nimmt. Dabei konnte auf bislang klassifiziertes Aktenmaterial des Bundesamtes für Verfassungsschutz (BfV) zurückgegriffen werden. Dem Stahlhelm gelang es nach seiner Neugründung nicht, an seine früheren Erfolge anzuknüpfen. Interne Streitigkeiten über die politische Ausrichtung und Spaltungen beschleunigten den Niedergang der Organisation. Doch erst im Jahr 2000 löste sich die Bundesführung offiziell auf.

4

Geowissenschaftliche Forschung

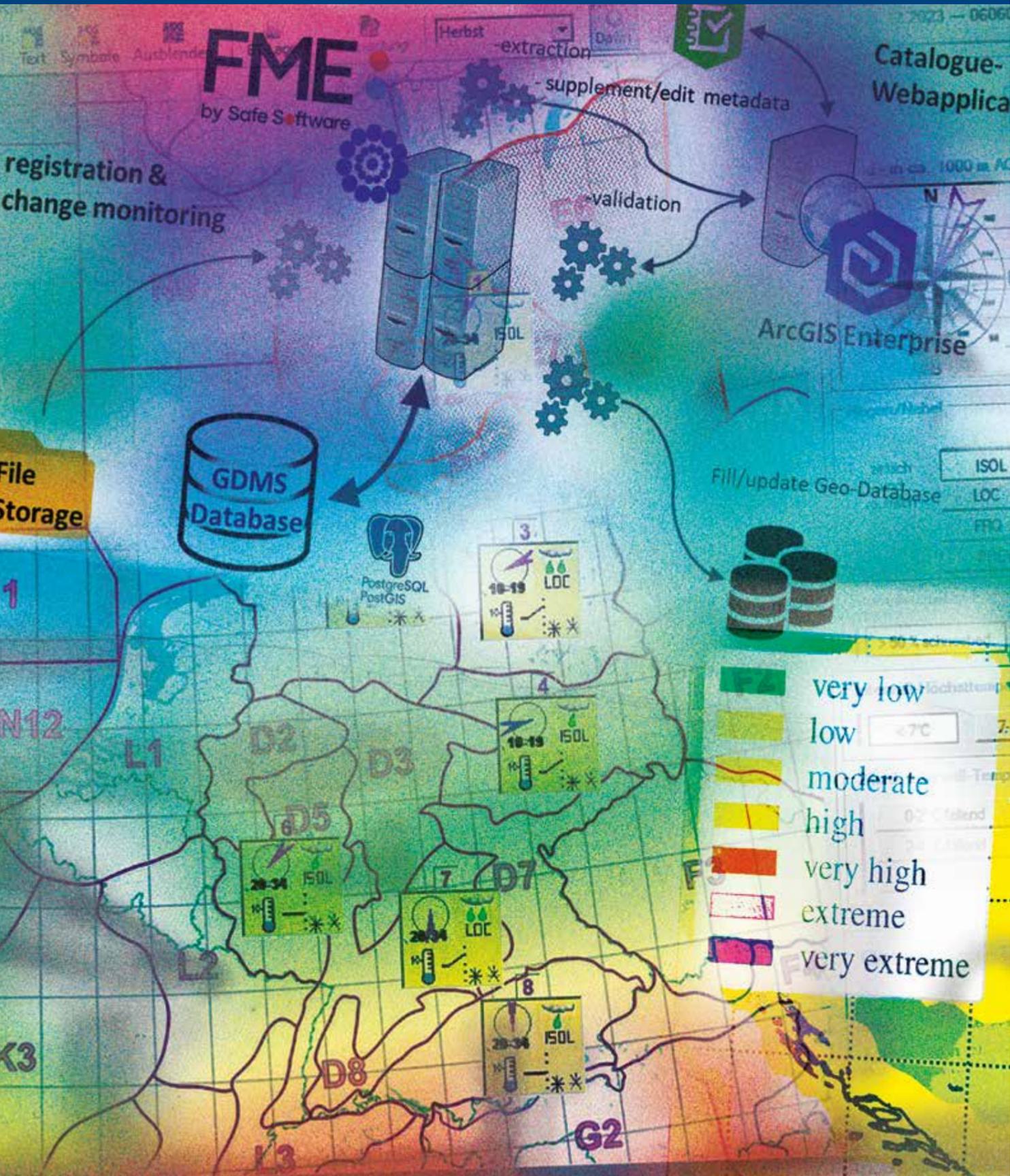
Auftrag des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr ist es, wissenschaftliche Erkenntnisse in den Geowissenschaften zu bewerten, für die Nutzung zu erschließen sowie eigene Vorhaben und Projekte voranzutreiben, mit dem Ziel die Streitkräfte und die Bundeswehr insgesamt in ihrer Auftragserfüllung zu unterstützen und Schaden von Material oder Personal abzuwenden.

Mit den in diesem Jahr vorgestellten Projekten wird die Bandbreite der angewandten geowissenschaftlichen Forschung sichtbar. Sie reicht diesmal von einer Untersuchung zur europaweiten Anwendbarkeit von Waldbrandindizes in Verbindung mit Wetter- und Klimaparametern bis zum Bericht über die Entwicklung eines GeoInfo-Datenmanagementsystems, welches sich mittlerweile in der Überführungsphase in den operationellen Betrieb befindet. Denn die besten Informationen und Erkenntnisse nutzen nichts, wenn der Anwender sie nicht findet oder nicht in seine Systeme einbinden kann.

Dies unterstreicht die Notwendigkeit angesichts der weit fortgeschrittenen Digitalisierung in den Geowissenschaften und im Besonderen bei der Bereitstellung von Geoinformationen die Entwicklungen in der Informatik, dem IT-technischen Umfeld und angrenzenden Gebieten stets mit zu betrachten.

Bereits in den vergangenen Jahren wurden einzelne Projekte, auch im Teil „Geowissenschaftliche Forschung“ dieser Publikation, vorgestellt, die sich der Methoden der Künstlichen Intelligenz, wie z. B. dem Maschinellen Lernen, bedient haben.

Dies wird auch eindeutig die Tendenz der kommenden Jahre in den geowissenschaftlichen Disziplinen sein, sei es bei der automatisierten Ableitung von Vektordaten aus Fernerkundungsdaten, intelligenten (GeoInfo-) Auskunftssystemen sowohl in der Weiterentwicklung des GeoInfo-Datenmanagementsystems als auch in der Unterstützung des GeoInfo-Beratungsprozesses in der Truppe oder bei der Ableitung von Entscheidungshilfen mit Hilfe von Large Language Models aus den Ergebnissen der Numerischen Wettervorhersage.



Das GeoInfo-Datenmanagementsystem im ZGeoBw

Um die Vielzahl an vorliegenden digitalen Geoinformationen im Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr (ZGeoBw) den Nutzenden in der Bundeswehr verfügbar zu machen, wurde ein zentrales GeoInfo-Datenmanagementsystem (GDMS) entwickelt. Ziel ist es möglichst einfach und intuitiv digitale Geoinformationen in einer Katalog- und Suchanwendung bereitzustellen. Eine qualitätsgesicherte und aktuelle Datenhaltung bildet das Rückgrat des GDMS.

Eine wesentliche Grundlage zur Erstellung eines klaren militärischen Lagebildes ist die Verfügbarkeit von Geoinformationen. Der Bestand verfügbarer Geoinformationen und die Möglichkeiten der digitalen Bereitstellung wachsen ständig – und damit wachsen auch die technischen Anforderungen an das Datenmanagement der digitalen Geoinformationen. Das Datenmanagement der digitalen Geoinformationen hat eine zentrale Bedeutung im militärischen Kontext. Dies gilt für die eigene Facharbeit des Geoinformationsdienstes im Inneren gleichermaßen wie für die Bedarfsträger der Geoinformationen in der Bundeswehr und bei multinationalen militärischen Operationen im Bündnis.

Als technische Grundlage wurde Ende 2023 das GeoInfo-Datenmanagementsystem (GDMS) im ZGeoBw in die Nutzung gebracht. Digitale Geoinformationen werden hierbei an zentraler Stelle automatisch registriert, dateibasiert gespeichert und mittels eines Prüfsummenverfahrens auf Änderungen überwacht. Metadaten zu den Geoinformationen können für viele gängige Datenformate automatisiert gewonnen und überprüft werden. Damit können die digitalen Geoinformatio-

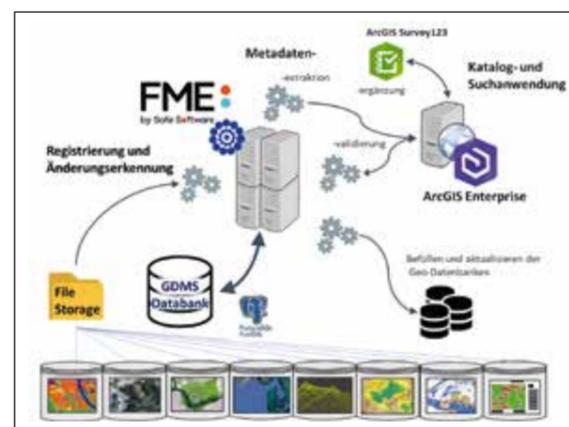


Abb. 1: Systemarchitektur

nen zuverlässig an einem zentralen Zugangspunkt im Intranet der Bundeswehr recherchierbar und zugänglich gemacht werden (s. Abb. 1).

Zurzeit sind im GDMS über eine Million Dateien mit mehr als 500 verschiedenen Dateitypen registriert. Das System ist in der Lage Veränderungen in der zentralen Ablage zu erkennen. Es werden die vier Zustände „neu“, „gelöscht“, „umbenannt“ und „modifiziert“ erkannt. Eine Neuerfassung der Metadaten bei Umbenennung oder Verschiebung der Daten ist somit nicht notwendig und eine Manipulation der Daten wird erkannt. In einem nutzerfreundlichen Dashboard werden den verantwortlichen Dezernaten Änderungen angezeigt, um anschließend weitere Arbeitsschritte einleiten zu können.

Metadaten von Geoinformationen werden auf Grundlage der sog. GeoInfo-Metadatenprofile erfasst. Das komplexe Datenmodell wurde vereinfacht, damit eine Erfassung, Editierung oder Ausgabe von Metadaten mittels der Webapplikation ArcGIS Survey123 möglich ist. Die Webapplikation ermöglicht es Metadaten in einem standardisierten, intelligenten Formular zu erfassen und über einen Webservice (Feature-Service) in eine Geodatenbank zu speichern (s. Abb. 2). Bei der Registrierung der Geoinformationen werden bereits für viele Datenarten und Produkte große Anteile der Metadaten automatisch aus dem Datenbestand abgeleitet und befüllt. Aus der Namenskonvention ergeben sich weitere Informationen wie beispielsweise: Kartenserie, Blattnummer, Ausgabe/Edition und ISO-3 Ländercode. Darüber hinaus können aus Dateiformaten weitere produktbezogene Metadaten abgeleitet werden. Bei Bedarf können Ergänzungen an den Metadaten manuell mittels ArcGIS Survey123 vorgenommen werden.



Abb. 2: Survey123

Die Katalog-Suchanwendung wird als intuitive Webanwendung im GIS-Portal bereitgestellt (s. Abb.3). Dort haben die Nutzenden die Möglichkeit Geoinformationen nach verschiedenen Kategorien zu suchen. Zusätzlich ist für eingeführte GeoInfo-Produkte eine Suche über den Produktkatalog möglich. Für externe Dienststellen ist eine Bestellfunktion zu den verfügbaren Geoinformationen geplant, die mit Freigabe der Katalog- und Suchanwendung für alle Bundeswehrangehörigen funktionsfähig sein soll.

Die Entwicklungsarbeit der GDMS Grundfunktionalitäten ist vollzogen. Im Jahr 2024 findet der Übergang in die Nutzungsphase statt und im GIS-Portal wurde die Katalog- und Suchanwendung, zunächst für den internen ZGeoBw Gebrauch, online gestellt. Alle Arbeitsplätze haben lesenden Zugriff auf alle in der Registrierung befindlichen Geoinformationen und Dokumente. Externe Nutzende können durch die Kataloganwendung den Bestand der verfügbaren Geoinformationen einsehen, Bestellanforderungen und Downloads durchführen oder Webservices nutzen.



Abb. 3: Katalog-Suchanwendung

Test BISTRIFO RF – Präzisierung der Vogelschlagrisikovorhersage mittels Wetterdaten

2023 hat das Dezernat Biologie/Ökologie des Zentrums für Geoinformationswesen der Bundeswehr (ZGeoBw) ein mit Künstlicher Intelligenz generiertes (Random Forest) Vogelzugvorhersage – Modell (BISTRIFO RF) für den Frühjahrs- und Herbstzug in Deutschland erstmalig getestet. Dies ermöglicht eine stundengenaue 3-Tage Vorhersage anstatt lediglich für den Folgetag. In Abstimmung mit den fliegenden Verbänden soll entschieden werden, ob BISTRIFO RF das bisherige Vorhersagesystem ablösen kann.

Die Vogelschlagrisikovorhersage (BIRDSTRIKE RISK FORECAST – BiStRiFo) ermittelt die räumlich und zeitlich zu erwartende Gefährdung des Flugbetriebs durch Vogelzug und gibt für die geophysikalischen Beratungsräume D0 – D9 (Abb. 1 – Programmoberfläche) das mittlere Vogelschlagrisiko des Folgetages aus. Das Programm wird in einem ersten Verarbeitungsschritt zunächst mit Wettervorhersagedaten versorgt. Diese beinhalten, in Abhängigkeit des jahreszeitlichen Modells, für die Beratungs- und Zeiträume aus ICON-EU-Daten generierte, meteorologische Parameter wie Windrichtung, -geschwindigkeit, Temperatur, -änderungen, Thermik, Niederschlagsart und -dauer, die als „first guess“ vom Meteorologen vom Dienst auf Plausibilität überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Das Verfahren bestimmt daraus aufgrund einer Parameterbewertung zunächst das Vogelschlaggrundrisiko für die jahreszeitabhängigen Aufbruch- und Beratungsgebiete und führt anschließend Bilanzierungen hinsichtlich des Vogelzugverlaufs der Vortage durch. Die Algorithmen sind dabei den saisonalen ornithologischen Verhältnissen angepasst, so dass zum Beispiel

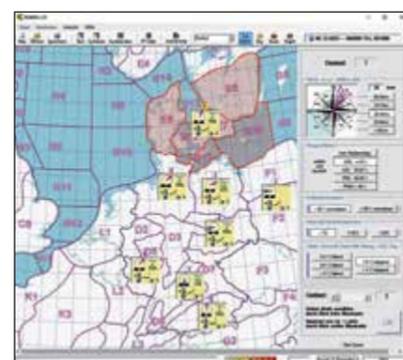


Abb. 1: Programmoberfläche der Software BiStRiFo mit den geophysikalischen Beratungsräumen

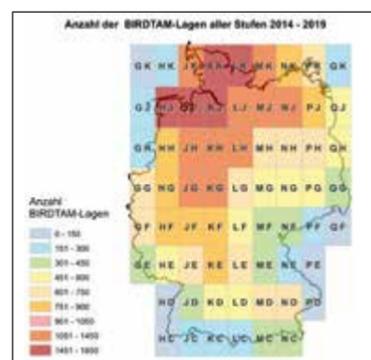


Abb. 2: BIRDAM-Lagen

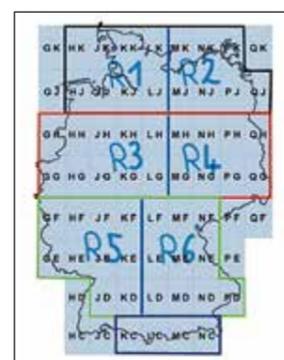


Abb. 3: Untersuchungs-räume BISTRIFO RF

im Sommer das Vogelschlagrisiko in hohem Maße auf die Thermikvorhersage reagiert, anstatt auf Windrichtungen wie im Frühjahr und Herbst. Dem tageszeitlichen Aktivitätsmuster entsprechend wird die 24-stündige Vorhersage in Nacht, Morgendämmerung, Tag und Abenddämmerung unterteilt.

Mit dem Projekt „BISTRIFO RF“ wurde durch ZGeoBw V (6) Biologie/Ökologie untersucht, ob sich das Zugverhalten für den Heim- und Wegzug anhand von Wetterparametern vorhersagen lässt, da die bisherige Berechnung auf angepassten Literaturdaten basiert. Dazu wurden in einem ersten Schritt Zusammenhänge zwischen meteorologischen Parametern und Vogelzug auf der Basis von realen Vogelschlagwarnungen („BIRDTAMS“) und Wetterdaten des DWD (Deutschen Wetterdienst) für den Zeitraum von 2014 bis 2019 identifiziert.

Die im GeoRef-Koordinatensystem referenzierten BIRDTAM-Lagen weisen im Untersuchungszeitraum ein Maximum im N Deutschlands auf (Abb. 2), wodurch dieser primär betrachtet wurde. Anschließend kam es zu einer Ausweitung auf Gesamtdeutschland (Abb. 3). Für jeden der sechs Räume (R1 – R6) gibt es zwei mal sechs Modelle (Frühjahr, März, April, Herbst, Oktober, November), da es zwei unterschiedliche Modelltypen, die sowohl die Intensität, als auch das alleinige Vogelzuggeschehen quantifizieren, gibt. Grundlage der Modelle ist der Maschine Learning Algorithmus Random Forest (RF), der auf dem Entscheidungsprinzip basiert (Abb. 4). Die wichtigsten Parameter, neben den Eingabevariablen (Vogelzugintensität und meteorologische Parameter) sind für den Algorithmus die Anzahl der Bäume und die Anzahl der zufällig ausgewählten Variablen pro Knotenpunkt. Im Ergebnis nimmt die Modellgenauigkeit von Norden nach Süden ab und der Herbstzug kann oft besser vor-

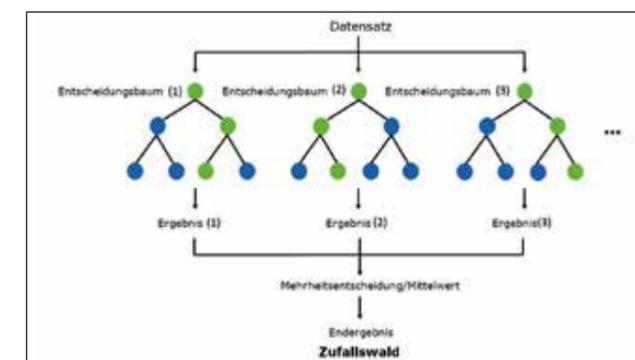


Abb. 4: Random Forest Modell (Quelle: Verändert nach TseKiChun; Wikimedia Commons, zuletzt abgerufen 05.02.2024)

hergesagt werden als der Frühjahrszug. Dies liegt u. a. an der Menge der den Modellen zugrunde liegenden Daten, bzw. der Anzahl der in die Modelle eingepflegten Zugereignisse.

Mit BISTRIFO RF ist eine stundengenaue Vorhersage für einen Gesamtzeitraum von drei Tagen möglich. Die Ergebnisse der Modellvorhersagen wurden in Karten visualisiert (Abb. 5) und den fliegenden Verbänden zur Evaluierung übermittelt.

Optimales Wetter Frühjahrszug: höhere Temperaturen mit positiven Änderungen zu den Vortagen, schwache negative Luftdruckänderungen, höhere Wolkenuntergrenze, Wind aus Südwest bis West.

Optimales Wetter Herbstzug: sinkende Temperaturen, steigender Luftdruck und mäßiger Wind aus Nord/Nordost.

Fazit:

- Es ist möglich, mit Random Forest Modellen eine Zugvorhersage anhand von meteorologischen Parametern und Vogelschlagwarnungen für den Frühjahrs- und Herbstzug zu treffen
- Unterschiede zwischen den Zugzeiten konnten festgestellt werden
- Niederschlag hat keinen Einfluss auf den Vogelzug
- Stundengenaue Vorhersagen sind möglich



Abb. 5: BISTRIFO RF Visualisierung

ORR Dr. Stefan Polanski
Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr (ZGeoBw)
Euskirchen

ZGeoBwChdSt@bundeswehr.org

Irgard Knop, M.Sc.
Goethe Universität Frankfurt am Main
Institut für Atmosphäre und Umwelt
Frankfurt am Main

info@iaue.uni-frankfurt.de

Interannuelle Schwankungen von Vegetationsbränden auf dem Balkan basierend auf einer hoch aufgelösten Reanalyse des kanadischen Forest Fire Weather Index (FWI)

Eine hochaufgelöste, globale Reanalyse des kanadischen Forest Fire Weather Index (FWI) aus dem EU Copernicus Programm wurde im Rahmen einer studentischen Praktikumsarbeit am Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr (ZGeoBw) exemplarisch für die KFOR-Einsatzregion auf dem Balkan statistisch analysiert. Erste Ergebnisse zu zwei Jahren mit besonders hoher und niedriger Vegetationsbrandgefährdung werden hiermit kurz vorgestellt.

Vegetationsbrände gefährden nicht nur die Zivilbevölkerung, sondern beeinflussen auch militärische Aufträge und die sensible Infrastruktur. Seit dem Krieg in der Ukraine und unter dem Schwerpunkt der Landes- und Bündnisverteidigung rücken dabei die Regionen an der Ostflanke der NATO und auf dem Balkan vermehrt in den Fokus. Eine genaue Vorhersage und rechtzeitige Warnung vor einem Brandereignis ist für militärische Entscheider hinsichtlich einer konkreten Einsatzplanung und -durchführung genauso entscheidend wie die Kenntnis der potenziellen Gefährdungslage in den Einsatzgebieten. Die Ergebnisse können u. a. für die klimatologische Einsatzberatung auf taktischer und operativer Ebene zur kurzfristigen GeoInfo-Unterstützung von Krisenvorsorgeteams sowie für die langfristige strategische Geofaktorenanalyse genutzt werden.

Ergebnisse:

Abb. 1a zeigt, dass sich Bereiche mit niedrigen FWI Intensitäten in den vegetationsarmen, kühlen Hochlagen der Gebirgsregionen nachweisen lassen, wo gleichzeitig höhere Niederschlagsmengen im Stau der Gebirge auftreten. Als Folge werden dort die mitt-

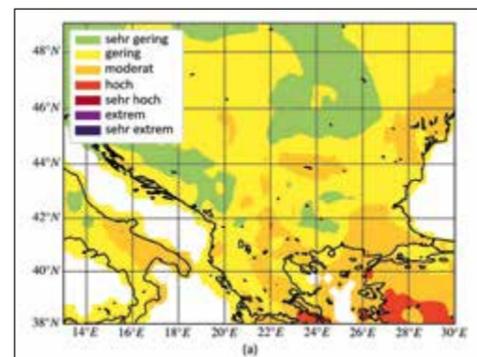


Abb. 1a: Klimatologie der Brandgefahr auf dem Balkan 1980 – 2020 für das saisonale Mittel des FWI März – November

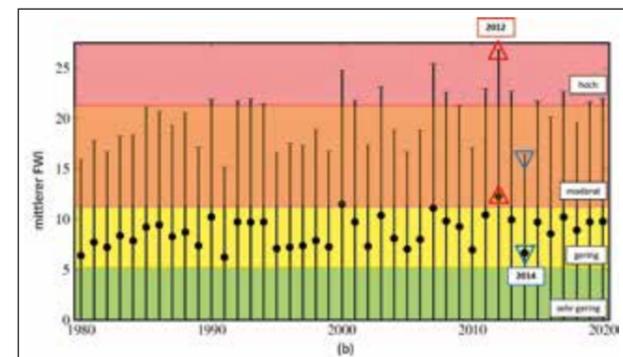


Abb. 1b: Jahresdurchschnittswerte (Punkte) und jährliche Standardabweichungen (Balken) des FWI 1980 – 2020 (dimensionslos) als Gebietsmittel über den Balkan von März – November

lere potenzielle Zündbereitschaft und Brandgefahr herabgesetzt. Die tiefer gelegenen, warmen und trockenen Becken und Küstengebiete sowie die durch überwiegend Waldvegetation geprägten Randzonen im Lee der Gebirge weisen dagegen erhöhte Brandintensitäten auf.

Bei der weiteren Analyse der über den gesamten Balkan räumlich gemittelten Jahresdurchschnittswerte und jährlichen Standardabweichungen des FWI für die individuellen Jahre von 1980 – 2020 fällt auf, dass vor allem die Jahre 2012 (2014) überdurchschnittlich hohe (niedrige) FWI Werte vorweisen (Abb. 1b). Unterstrichen wird diese Aussage durch die Häufigkeitsanalyse der jährlichen Anzahl von Tagen mit bestimmten Intensitätsklassen des FWI im betreffenden Zeitraum (ohne Abb.). Dabei zeigt u. a. die Klasse der hohen Intensität im Jahr 2012 (2014) ein signifikantes Maximum (Minimum). Die dazugehörigen FWI Anomalien für die betreffenden Jahre sind in Abb. 2a und b dargestellt. Hierbei wird die starke positive (negative) Abweichung in 2012 (2014) noch einmal deutlich. Der mittlere saisonale FWI liegt im Jahr 2012 bis zu 12 Punkte (dimensionslos) über dem langjährigen Durchschnitt und im Jahr 2014 ist dieser Wert um bis zu 10 Punkte (dimensionslos) geringer als das langjährige Mittel. Eine Ursache für die hohe Brandgefahr in 2012 ist die starke Dürre in Europa in den Jahren 2011/2012, die auf eine atypische Luftdruckverteilung in den mittleren Breiten zurückgeführt wird und die auf dem Balkan im März 2012 einen ersten Höhepunkt erreichte. Zu dieser Zeit herrschte ein signifikantes Niederschlagsdefizit in ganz Europa. Dadurch reduzierte sich speziell im westlichen und nördlichen Balkan die Bodenfeuchte. Dieser Prozess setzte sich im April und Mai 2012 trotz leichter Entspannung in den Niederschlagsmengen fort und verschärfte sich durch die neu

einsetzende Trockenperiode ab Juni 2012 weiter. Gleichzeitig erhöhte sich damit die Menge brennbarer trockener Biomasse. Letztendlich verstärkte sich dieser Effekt im Zusammenspiel mit hohen Lufttemperaturen und sehr geringen Niederschlagsmengen im Sommer zu dieser markanten Gefahrenlage im Jahr 2012.

Im Jahr 2014 herrschten gegensätzliche Bedingungen auf dem Balkan. Die Brandgefahr war sehr gering. Das lag an der markanten Hochwasserlage auf dem zentralen Balkan im Frühjahr 2014, die durch eine bereits vorhandene hohe Bodenfeuchte und langanhaltende intensive Niederschläge ausgelöst wurde. Die Abweichungen in den Niederschlagsmengen im Vergleich zum langjährigen Mittel betragen im Mai verbreitet über 150 % (ohne Abb.). Verstärkt wurden die Niederschläge zusätzlich durch Hebung an Gebirgen. Durch die damit einhergehende fortschreitende Sättigung der Böden und die Reduzierung brennbarer Biomasse nahm das Brandrisiko signifikant ab.

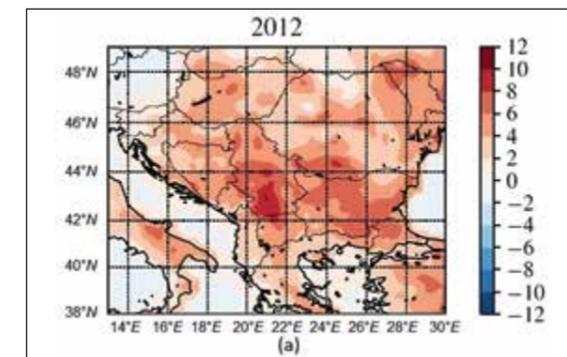


Abb. 2a: Jährliche Abweichung (dimensionslos) des saisonalen FWI (März – November) vom langjährigen Mittel 1980 – 2020 für 2012

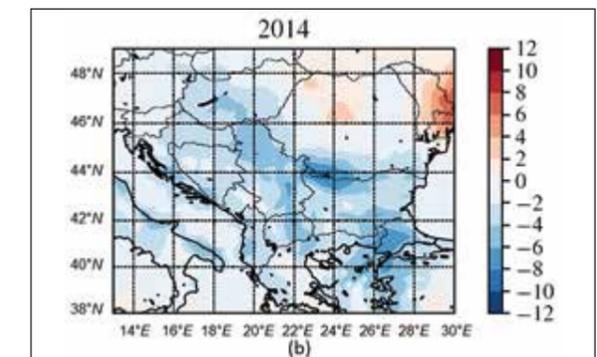


Abb. 2b: Jährliche Abweichung (dimensionslos) des saisonalen FWI (März – November) vom langjährigen Mittel 1980 – 2020 für 2014

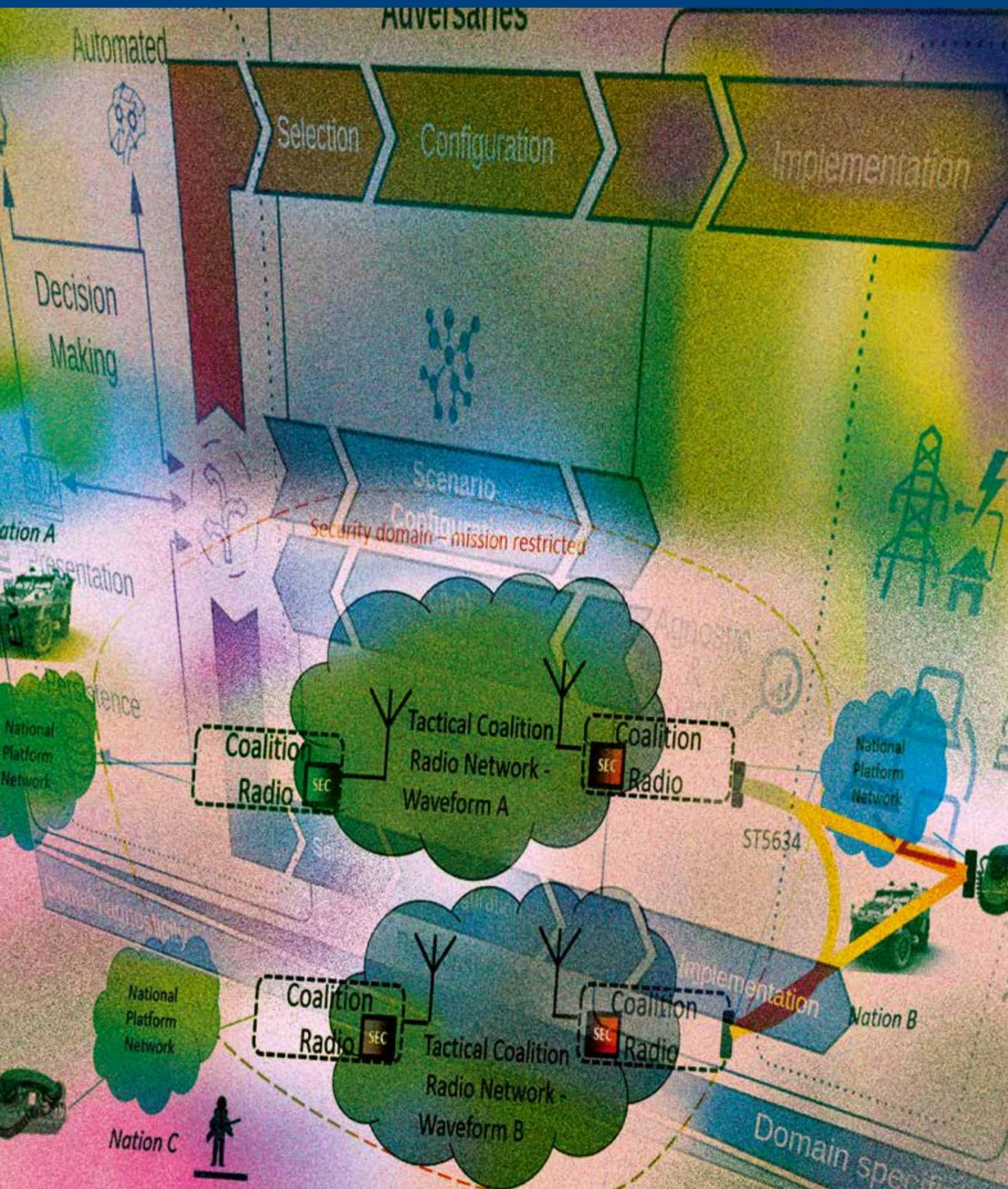
5

Forschung Cyber / Informationstechnik

Wehrtechnische Forschung im Bereich der Cyber- und Informationstechnologien orientiert sich einerseits an zivilen und disruptiven Innovationen wie Künstlicher Intelligenz, andererseits sind die spezifischen Gegebenheiten aktueller und zukünftiger Konflikte zu berücksichtigen, die zunehmend „hybrid“ geführt werden. Sie deckt dabei vor allem die Bereiche Informationssicherheit und Informationsoperationen, militärische Kommunikation und Anwendungen zur Führungsunterstützung ab.

Es werden hier zwei Beispiele aus dem breiten Spektrum an Forschungsaktivitäten vorgestellt. Bei diesen geht es um internationalen Aktivitäten im Bereich der taktischen Kommunikation und um Untersuchungen zur Resilienz gegen elektromagnetische Cyberangriffe.

Dabei soll in möglichst großem Umfang auf zivile Technologie zurückgegriffen werden, die für den späteren militärischen Einsatz wo erforderlich angepasst wird. Eine übergreifende Automatisierung in allen wehrtechnischen Forschungsbereichen wird hierbei sichtbar.



Lennart Bader, M. Sc.
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
 und Ergonomie FKIE
 Bonn

Dr. Martin Serror
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
 und Ergonomie FKIE
 Bonn

info@fkie.fraunhofer.de

info@fkie.fraunhofer.de

CERERE – Resilienz gegen elektromagnetische Cyberangriffe in kritischen Systemen

Digitale Kommunikation ist anfällig für elektromagnetische Angriffe, welche wiederum für Cyberangriffe genutzt werden können. Besonders für militärische Funkkommunikation sowie Kommunikation in kritischen Infrastrukturen wie Stromnetzen ist Resilienz gegen solche Angriffe unabdingbar. Das Vorhaben verfolgt das Ziel, Angriffsvektoren sowie resilienzbildende Maßnahmen systematisch zu identifizieren.

Der Schutz kritischer Systeme gegen verfügbarkeitsstörende Angriffe ist bedeutsamer denn je. Sowohl Cyberangriffe als elektromagnetische Angriffe stellen ein Risiko für solche Systeme dar, sodass angemessene Gegenmaßnahmen unabdingbar sind. Insbesondere militärische Systeme und solche, die – wie z. B. Stromnetze – zur „Kritischen Infrastruktur“ zählen, sind hier zu betrachten, da sie ein attraktives Ziel für versierte Angreifer sind und erfolgreiche Angriffe signifikanten Schaden verursachen können.

Das Ziel von CERERE ist es, mögliche Angriffsvektoren zu analysieren und resilienzbildende Maßnahmen zu identifizieren, um die möglichen Auswirkungen von Angriffen zu reduzieren. Hierbei stehen cyber-physische Systeme (CPS) im Vordergrund, also Systeme, in denen die IT-Infrastruktur direkt einen physischen Prozess unterstützt, überwacht oder sogar steuert.

Im Vorhaben wird ein modularer Ansatz verfolgt, der sicherstellt, dass auch Resilienzen verschiedener Systeme verglichen werden können, um so vielversprechende Gegenmaßnahmen übertragen zu können. Grundlage ist eine synthetische Um-

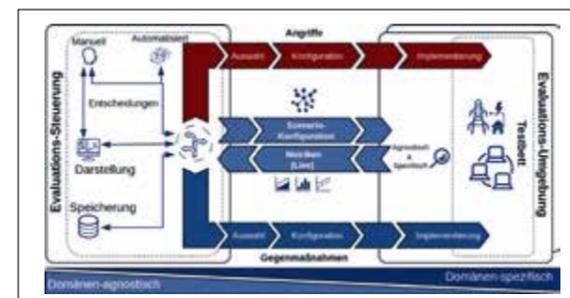
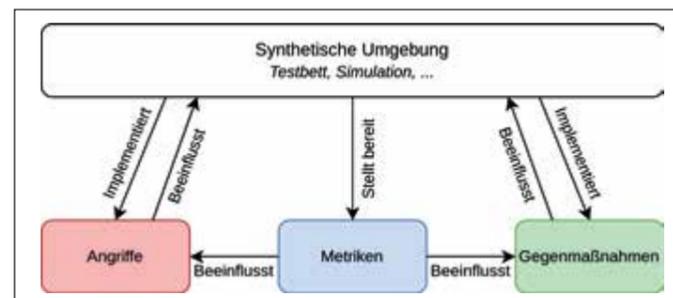


Abb. 1: Die vier Hauptkomponenten in der CERERE-Architektur

Abb. 2: Das domänenübergreifende Evaluationskonzept in CERERE

gebung, welche das Zielsystem, z. B. das Stromnetz, realitätsnah abbildet und somit eine risikolose Erforschung von Angriffsvektoren ermöglicht. Hierbei müssen sowohl die Netzwerkkomponenten als auch die zum physischen Prozess gehörenden Elemente mitsamt aller Interaktionen eingebunden sein. Auf diese synthetische Umgebung bauen anschließend die Module für Angriffe, Gegenmaßnahmen und Resilienzmetriken auf (vgl. Abb. 1).

Durch das Angriffsmodul werden verschiedenste Angriffe konzipiert und in der synthetischen Umgebung ausgeführt. Hierbei werden die ganzheitlichen Auswirkungen eines Angriffs auf das Zielsystem untersucht, um so dessen Resilienz zu bewerten. Analog dazu werden Gegenmaßnahmen präventiver, detektiver und reaktiver Natur eingebunden, um deren Auswirkungen auf die Resilienz gegen die Angriffe zu analysieren. So können sowohl die Wirksamkeit einzelner Gegenmaßnahmen untersucht werden, als auch Schwachstellen, gegen die keine angemessene Gegenmaßnahme existiert, erkannt werden. Durch das iterative Vorgehen, die Erweiterung der Angriffsmöglichkeiten und die Kombination unterschiedlicher Gegenmaßnahmen können wertvolle Einblicke in die Sicherheit der untersuchten Systeme gewonnen werden. Die resultierende Architektur ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Definition domänenspezifischer, übertragbarer und dennoch allgemeingültiger Resilienzmetriken stellt eine besondere Herausforderung dar. Am Beispiel des Stromnetzes und eines auf der speziell für Stromnetze entwickelten Malware „Industroyer“ aufbauenden Angriffs lässt sich dies verdeutlichen. In Abb. 3 werden zwei Metriken verglichen: Die Verfügbarkeit des Kommunikationsnetzes (links) und die Verfügbarkeit des

Stromnetzes, also der physischen Prozesse (rechts). Im Verlauf des Angriffs und der Umsetzung verschiedener Gegenmaßnahmen ändern sich beide Metriken. Hierbei ist zu beobachten, dass diese Metriken nicht zwingend miteinander korrelieren müssen. In der frühen Angriffsphase wird ausschließlich das Stromnetz selbst beeinträchtigt. Später sinkt dann die Verfügbarkeit des Kommunikationsnetzes, was jedoch mit einer verbesserten Stromnetzverfügbarkeit einhergeht. Die Ableitung einer universellen Resilienzmetrik ist daher besonders herausfordernd, weil sie das domänenspezifische Zusammenspiel von Kommunikationsnetz und physischen Prozessen bewerten muss.

Ebenfalls betrachtet das Vorhaben die Kombination von digitalen Cyberangriffen mit elektromagnetischen Angriffen. Da die untersuchten kritischen Systeme teilweise in großem Maße auf Funktechnologie angewiesen sind, können auch Angriffe wie Jamming, also das Stören von Funksignalen, besonders wirkungsvoll sein und nachgelagerte Cyberangriffe ermöglichen oder in ihrer Wirkung maximieren, sodass Resilienz gegen solche Angriffe ebenfalls eine zentrale Rolle spielt.

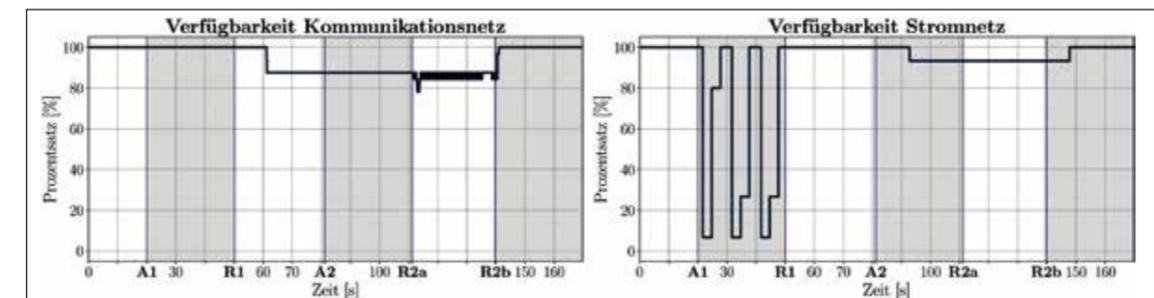


Abb. 3: Vergleich verschiedener Metriken im Angriffsfall zur Ableitung der Resilienz

Christoph Barz
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
 und Ergonomie FKIE
 Bonn

Jonathan Kirchoff
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
 und Ergonomie FKIE
 Bonn

info@fkie.fraunhofer.de

info@fkie.fraunhofer.de

NATO-Standards für interoperable digitale Sprache mit Push to Talk

Gemeinsam mit NATO-Partnern testet das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE) im Rahmen der NATO Coalition Warrior Interoperability Exercise (CWIX) prototypische Lösungsansätze für die technischen Herausforderungen zukünftiger Koalitionseinsätze. Dieses Jahr war insbesondere die interoperable digitale Sprache im Fokus, die mit FMN (Federated Mission Networking) Spiral 5 erstmals für die taktische Ebene spezifiziert wird.

Trotz der wachsenden Bedeutung digitaler Unterstützung durch etwa Führungsinformationssysteme spielt die Sprachkommunikation auch in der Standardisierung auf NATO-Ebene weiterhin eine zentrale Rolle. Gerade in der Kommunikation zwischen Koalitionspartnern stellt die Verbindung von Sprachkreisen eine große Herausforderung dar. Sowohl das Zusammenspiel von Funkgeräten verschiedener Hersteller wie auch die Integration etwa mit VoIP-Diensten, ist derzeit nur bedingt durch Standardisierung gedeckt. Doch im Rahmen zukünftiger Koalitionseinsätze ist eine hochwertige, interoperable Lösung unabdingbar.

Im Rahmen des FMN wurden hinsichtlich der kommenden Spiral 5 große Bemühungen unternommen, den Anteil Kommunikationssysteme und insbesondere den Bereich digitale Sprache, auszubauen. Ein Standard muss sicherstellen, dass der Austausch von Sprache zwischen Nationen stets mit praktikablem Aufwand möglich ist. Bei digitaler Sprache umfasst dies eine IP-Verbindung zum Funkgerät, sowie den Austausch von Sprache und Signalisierungsinformationen nach einem abgestimmten Format. Insbesondere die Verwendung passen-

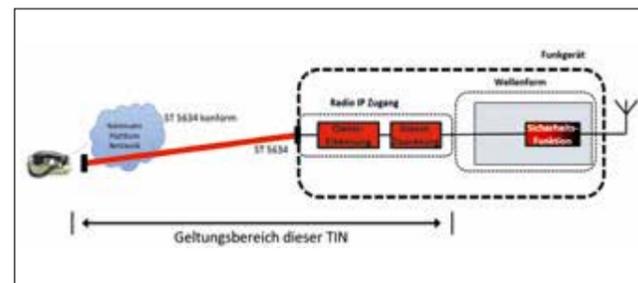


Abb. 1: Kopplung eines nationalen Netzes an ein Funkgerät nach STANAG 5634 (Quelle: FMN SP5 SI for Audio and Video-based Collaboration)

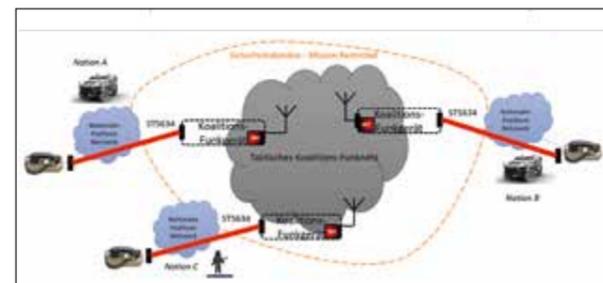


Abb. 2: Multinationales Netz mit PTT-Sprachdiensten (Quelle: FMN SP5 SI for Audio and Video-based Collaboration)

der Codecs (z. B. MELP 2400) sowie die Signalisierung von Push-To-Talk (PTT) Signalen ist für den taktischen Einsatz entscheidend. Unterstützt werden in Spiral 5 hierfür ausschließlich Funkgeräte mit nativer PTT-Sprachunterstützung.

Im Rahmen des NATO Tactical Edge Syndicate wurde unter Mitwirkung des FKIE eine Spezifikation erstellt, die alle erforderlichen Maßnahmen für eine wesentliche Interoperabilität erstmals für die taktische Ebene in FMN sicherstellt. Verschiedene relevante Use-Cases wurden hierfür betrachtet und im Rahmen der entsprechenden Service Instructions beschrieben. Es soll insbesondere sowohl möglich sein, einen VoIP-Dienst (z. B. eines Fahrzeugs) an ein angeschlossenes Funkgerät zu koppeln (siehe Abb. 1 und Abb. 2), als auch eine Kopplung zwischen Sprachkreisen herzustellen (siehe Abb. 3). Es kann sich sowohl um ein nationales Gerät (z.B. mit Koalitionswellenform) als auch um ein „Loaned Radio“ einer anderen Nation (vgl. STANAG 4677 – Loaned Radio) handeln. Eine wichtige Rolle spielt hierbei „STANAG 5634 – IP-Access to Half Duplex Radio Networks“, ein Standardentwurf zur Herstellung einer multinationalen Kopplung unter Berücksichtigung von Daten und Sprache.

Im Rahmen der NATO CWIX wurden bereits im Jahr 2022 unter Beteiligung des Fraunhofer FKIE Tests von möglichen Verfahren durchgeführt. Ein möglicher Ansatz, der in STANAG 5634 beschrieben wird, ist Voice Activated Radio Control (VARC). Hierbei wird zwischen den Partnern ein IP-Sprachstrom ausschließlich mittels Realtime Transfer Protocol (RTP) ausgetauscht – ohne weitere Protokolle wie etwa das bei VoIP übliche Session Initiation Protocol (SIP). Dies dient insbesondere dafür, die Komplexität so gering wie möglich zu halten, um

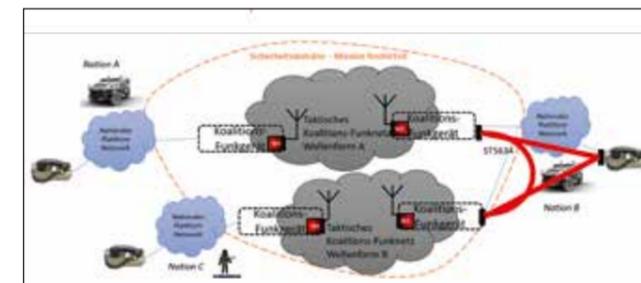


Abb. 3: Multinationales Netz mit PTT-Sprachdiensten inkl. Sprach-Relay (Quelle: FMN SP5 SI for Audio and Video-based Collaboration)

niedrige Hürden für die Realisierung durch Nationen und eine hohe Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Funkgeräte mit Unterstützung für VARC können einen eingehenden RTP-Sprachstrom auf einen internen Funkkreis bidirektional koppeln. Die PTT-Signalisierung erfolgt hierbei implizit durch den anliegenden Datenstrom.

In diesem Jahr wurden während der CWIX erfolgreich Tests mit Implementierungen von VARC zwischen Deutschland (Fraunhofer FKIE) und Norwegen (Kongsberg) durchgeführt (siehe Abb. 4). Sowohl die Anbindung eines einzelnen Funkkreises als auch die Kopplung zwischen zwei Funkkreisen wurde erfolgreich im experimentellen Aufbau nachgewiesen. Es konnte somit bestätigt werden, dass der für Spiral 5 identifizierte Ansatz durch die Partner realisierbar und funktional ist. VARC wird somit als neuer Standard für PTT im taktischen Bereich einfließen. Erweiterte Verfahren, die z. B. explizite Signalisierung von PTT-Informationen ermöglichen, sollen in zukünftigen Spiralen von FMN betrachtet werden.

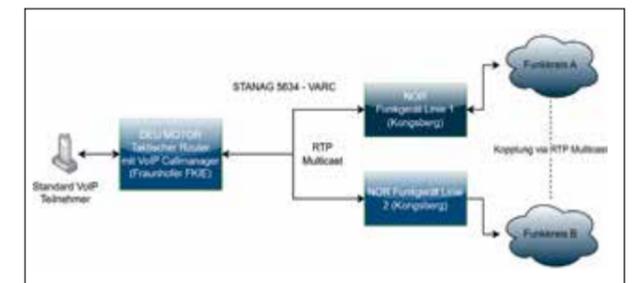


Abb. 4: Testaufbau mit Kopplung zweier Funkkreise via STANAG 5634 VARC mit IPv4-Multicast

6

Forschung mit Bundeswehrbezug an den Universitäten der Bundeswehr

Die wehrwissenschaftliche Forschung an den Universitäten der Bundeswehr (UniBw) in Hamburg und München hat in den letzten Jahren Fahrt aufgenommen. Erstmals stellen deshalb in diesem Bericht die beiden UniBw sich selbst und einige ihrer Projekte mit Bezug zur Bundeswehr gebündelt vor.

Auch wenn an beiden UniBw in und mit einigen Professuren und Instituten (auch) Ressortforschung stattfindet, verstehen sich die Universitäten nicht als Ressortforschungseinrichtungen. Anders als die universitäre Lehre ist die Forschung nicht verbindlich am Bedarf des BMVg orientiert und von diesem gesteuert, sondern ist, wie grundgesetzlich verankert, organisatorisch und thematisch/inhaltlich frei. Das hindert unsere Forschenden aber nicht, sich auch Themen auf dem Gebiet von Sicherheit und Verteidigung und teilweise auch der wehrwissenschaftlichen Forschung im Besonderen zu widmen. Tatsächlich wächst an beiden Universitäten der Anteil der Forschung zu Sicherheit und Verteidigung.

Hierzu trägt auch das 2020 ins Leben gerufene Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr (dtec.bw) bei, welches von beiden UniBw gemeinsam getragen und mit der Aufnahme in den Deutschen Aufbau- und Resilienzplan (DARP) von der Europäischen Union – NextGeneration-EU finanziert wird (<http://www.dtecbw.de>). Das dtec.bw fördert die universitäre Digitalisierungsforschung an beiden Universitäten mit aktuell 68 laufenden Forschungsprojekten (23 in München und 45 in Hamburg, aktuell alle mit Laufzeit bis Ende 2024). Viele haben schon heute einen Mehrwert für die Bundeswehr im Sinne eines breit verstandenen Dual-Use. Aktuell ar-

beiten beide UniBw auf eine Verlängerung und den Fortlauf des Zentrums im Rahmen des DARP bis 2026 und eine mögliche Verstärkung des dtec.bw darüber hinaus hin.

Die modernen, sich wandelnden Bedingungen von Sicherheitsgewähr und Verteidigung lassen solche Forschung im sicheren Umfeld der UniBw auch außerhalb des dtec.bw sinnvoll und geboten erscheinen. Diese Bedingungen sind zum einen durch die seit dem Angriff Russlands auf die Ukraine veränderte Sicherheitslage, zum anderen durch den technologischen Fortschritt insbesondere im Bereich der Digitalisierung geprägt. Gefordert sind technische ebenso wie organisatorische Innovationen. In den Blick der Forschung geraten aber auch die Personen und Organisationen, ohne die eine Implementation, Akzeptanz und Nutzung technischer Innovationen nicht denkbar ist. Neben der Forschung zu Schlüsseltechnologien mit dem Ziel der Stärkung nationaler Souveränität sind deshalb Forschungsarbeiten im Bereich der Sozialwissenschaften und der Psychologie, etwa zu Führung und Entscheidung und dem Umgang mit Stress unter den Erfordernissen der Digitalität, von großem Interesse.



OTL Dr. Steffen Grobert
Planungsamt der Bundeswehr
Berlin

PlgABwII35KDL@bundeswehr.org

Hptm Henrik Seeber
Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

UniBwHamburgForschung@bundeswehr.org

Entwicklung eines Körpermodells und eines Stoßwellengenerators zur Simulation der intrakorporalen Stoßwellenausbreitung nach Explosionen

Im Rahmen des wehrmedizinischen Sonderforschungsvorhabens 29K4 wird der Effekt der primären Explosionswirkung auf Soldaten untersucht. Dazu wird ein Stoßwellengenerator entwickelt, der relevante Überdrucklastfälle mit geringer Rüstzeit und hoher Reproduzierbarkeit erzeugt. Zudem wird ein vereinfachtes Torso-Modell erstellt, um das Verhalten des eingeleiteten Druckstoßes in das Körpermodell zu untersuchen.

Das Ziel des wehrmedizinischen Sonderforschungsvorhabens 29K4 ist die Entwicklung einer multidisziplinären Methode zur Untersuchung von primären Explosionseffekten in verschiedenen Gewebesimulanzien. Die Erkenntnisse dieser bedarfs-trägerorientierten Forschung sollen Beiträge zum Verständnis verletzungsmechanischer Aspekte der primären Explosionswirkung, also der reinen Überdruckbelastung, auf den Soldaten leisten. Kann die Wirkung von Splintern als sekundäre Explosionswirkung durch moderne ballistische Körperschutzsysteme minimiert werden, stellt die Überdruckbelastung nach wie vor eine ernsthafte Bedrohung dar. Diese Überdruckbelastungen können beispielsweise beim Abfeuern von schultergestützten Waffen, Steilfeuerwaffen oder beim sprengtechnischen Schaffen von Zugangsöffnungen auftreten und können zu gesundheitlichen Langzeitfolgen für den Soldaten führen. Es wird zwischen repetitiven, niedrigrschwelligigen Überdruckbelastungen (sog. Low Level Blast (LLB) Exposure) und einmalig hohen Überdruckbelastungen des Personals unterschieden. Diese Forschungsarbeit legt im ersten Schritt die ingenieurtechnischen Grundlagen zur Untersuchung der Problematik. Die anschließende interdisziplinäre Interpretation der Biomechanik soll weiterführende



Abb. 1: Grundlegender Versuchsaufbau. 1.: Stoßwellengenerator; 2.: Vereinfachtes Torso-Modell; 3.: Druckmesstechnik



Abb. 2: Detailansicht des Stoßwellengenerators

Dr. Daniel Krentel
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Berlin

info@bam.de

Erkenntnisse über kurzzeitdynamische Verletzungsmechanismen liefern und die Fähigkeiten zur Risikoanalyse verbessern. Letztlich sollen die Ergebnisse genutzt werden, um klinische Behandlungsmethoden für die akute und langzeitliche Versorgung von Soldaten, die primären Explosionswirkungen ausgesetzt waren, zu verbessern.

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens wird im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Bundeswehrkrankenhaus Berlin und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), sowie in Zusammenarbeit mit der Helmut-Schmidt-Universität durchgeführt. Die experimentellen Anteile werden auf dem Testgelände Technische Sicherheit der BAM (BAM TTS) durchgeführt. Die Ergebnisse werden international, unter anderem in Forschungsgruppen zum militärischen Arbeitsschutz in der NATO geteilt und evaluiert.

Derzeit liegt der Arbeitsschwerpunkt im ingenieurtechnischen Bereich. Es werden zwei Entwicklungswege verfolgt: Erstens die Schaffung eines Gerätes zur Erzeugung von Druckstößen, das im Folgenden als Stoßwellengenerator bezeichnet wird, und zweitens die Erstellung eines vereinfachten Torso-Modells. Der grundlegende Versuchsaufbau mit den beiden Elementen und der Druckmesstechnik ist in Abb. 1 dargestellt. Der Stoßwellengenerator wurde mittels eines Autoklavs gebaut, in dem



Abb. 3: Detailansicht des vereinfachten Torso-Modells. Es sind drei eingegossene Drucksensoren zu erkennen

OFArzt Dr. Thorsten Hauer
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlinKlinik02Chirurgie@bundeswehr.org

ein Acetylen-Sauerstoff-Gemisches detonativ umgesetzt wird (vgl. Abb. 2). Der Stoßwellengenerator ermöglicht es, Versuchsreihen unter möglichst reproduzierbaren Bedingungen mit kurzen Rüst- und Vorbereitungszeiten durchzuführen. Im Vergleich zu Versuchen mit herkömmlichen Explosivstoffen bietet der Stoßwellengenerator die Möglichkeit, die reine Druckwirkung einer Explosion darzustellen und bedarf geringeren Sicherheitsanforderungen, sowie führt zu einer verringerten Belastung der Messtechnik und Proben. Der aktuelle Arbeitsschwerpunkt liegt auf der Optimierung der Reproduzierbarkeit. Das vereinfachte Torso-Modell wird aus für verletzungsmechanische Analysen verwendete Simulanzien gefertigt (vgl. Abb. 3). Als Grundmaterial wird ballistische Gelatine verwendet. Der Arbeitsschwerpunkt liegt auf der Erfassung von Einflüssen von Grenzflächen und Medienübergängen auf das Stoßwellenverhalten. Dazu ist das vereinfachte Torso-Modell mit eingegossenen Druck- sowie Beschleunigungssensoren ausgestattet. Zur Simulation der Medienübergänge werden in das Grundmaterial beispielsweise generische Kunststoffknochen oder Lufteinschlüsse, welche Hohlorgane simulieren, eingebracht. Das vereinfachte Torso-Modell kann auch zur qualitativen Untersuchung von Schutztechnik verwendet werden (vgl. Abb. 4).



Abb. 4: Das vereinfachte Torso-Modell mit einer PE-Körperschutzplatte zur qualitativen Untersuchung

Prof. Dr. Gary Schaal
Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

UniBwHamburgForschung@bundeswehr.org

Dr. Heiko Borchert
Borchert Consulting & Research AG
Luzern

info@borchert.ch

Taktische Innovation durch Multi-Agenten Training in einer Simulationsumwelt

Die Unterdrückung und Bekämpfung feindlicher Flugabwehr ist eine elementare Aufgabe im hochintensiven Gefecht. Gleichzeitig wird die Verteidigung gegen luftbasierte Bedrohungen im Zuge der Verbreitung von unbemannten Flugsystemen immer wichtiger. GhostPlay* adressiert beide Probleme, indem es eine Simulationsumgebung bereitstellt, in der KI-Agenten Taktiken für beide Aufgaben entwickeln und proben.

Technologische Fortschritte in Künstlicher Intelligenz (KI), vor allem hinsichtlich ihrer Kontext- und Konsequenzwahrnehmung, ermöglichen den Einsatz von Algorithmen, um neue Taktiken zu entwickeln. GhostPlay nutzt diese KI der „dritten Welle“ (DARPA-Klassifizierung (US-amerikanische Defense Advanced Research Projects Agency)), um zu untersuchen, ob und wie KI-basierte Entscheidungsunterstützung komplexe operative Ziele in einem suppression/destruction of enemy air defence (SEAD/DEAD)-Szenario selbständig ausführen kann.

Das Projekt hat zwei Ziele: Erstens die Entwicklung von KI-basierten Entscheidungsprozessen (Play), die militärisches Handeln – in Interaktion mit verschiedenen Gegnern unterschiedlicher Leistungsstärke – auf taktischer Ebene unterstützen. Zweitens die Entwicklung und den Einsatz einer synthetischen Umgebung (Ghost), um zu testen, ob die operativen Fähigkeiten individueller und gemeinsamer Systeme durch taktische KI verbessert werden können. Dabei werden ELS-Aspekte (Ethical, Legal, Social) in allen Prozessschritten integriert, um die Anwendbarkeit des IEEE 7000-Standards (Value-Based Design) für militärische und wehrtechnische Zwecke zu testen.

* Das Projekt GhostPlay wird durch dtec.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr – gefördert. dtec.bw wird von der Europäischen Union – NextGenerationEU finanziert.



Abb. 1: UAV im Terrain-nahen Anflug auf ein gegnerisches Tiefflieger-Radar (Quelle: Ghostplay und 21strategies GmbH)

Dr. Christian Brandlhuber
21strategies GmbH
München

pr@hedge21.com

Prof. Yvonne Hofstetter
21strategies GmbH
München

pr@hedge21.com

Bettina Weber
Hensoldt AG
Ulm

info@hensoldt.net

Taktische Entscheidungsfindung, Emergenz und Kooperation durch Mediation bilden in GhostPlays drei Säulen. Taktische Entscheidungsfindung in GhostPlay unterscheidet sich von anderen KI-Systemen durch die Optimierung von Entscheidungssequenzen, nicht von Einzelentscheidungen. Die agierenden KI-Agenten besitzen ein Bewusstsein für sequentielle Abhängigkeiten und ermöglichen so kontextsensitive und folgenbewusste Entscheidungen. Taktische Vorteile werden damit auch durch die Vorwegnahme von eigenen und gegnerischen Aktionen entwickelt.

Emergenz entsteht auf zwei Ebenen in der Simulation: Erstens durch die Fähigkeit mehrerer Akteure, durch Kooperation und Interaktion ad-hoc Probleme zu lösen, die für einen einzelnen Akteur sonst unmöglich wären. Durch Selbstlernen und Selbstorganisation entstehen sowohl auf Seiten der Verteidiger (Flugabwehr), als auch beim Angreifer (Drohnen Schwärme) robuste Lösungen. Zweitens lernen Angreifer und Verteidiger in den Wiederholungen des Szenarios beständig von der simulierten Auseinandersetzung mit dem Gegner (Multi-Agent Learning).

Zuletzt zielt GhostPlay darauf ab, die Abhängigkeit von einer kleinteiligen zentralen Steuerung und Führung zu reduzieren und durch dezentrale Koordination zu ersetzen, um Drohnen in Szenarien mit einem umkämpften elektromagnetischen

Spektrum einsatzfähig zu halten und Flaschenhalse wie Latenz und Bandbreite zu umgehen. Dafür werden Kooperationsprozesse nach dem Prinzip „Observe, Don't Share“ entwickelt. Einzelne Systeme bleiben im Verbund handlungsfähig, indem sie mit eigener Sensorik das Verhalten ihrer Teammitglieder beobachten und entsprechend auf Basis einer gemeinsamen policy-Grundlage agieren.

Erste Simulationsergebnisse für die Verteidigerseite zeigen einen verringerten Munitionsverbrauch für die Flugabwehrsysteme und die Erhöhung der notwendigen Anzahl an Drohnen für Sättigungsangriffe. Die Angreifer (re)produzierten von sich aus menschlich-intuitive Taktiken, wie z. B. Anflüge aus Richtung Sonne, um optische Systeme zu täuschen als auch neue innovative Ansätze.

Zwei Pfade zur Weiterentwicklung zeichnen sich ab: Erstens die Verbesserung der Simulationsumgebung (z. B. die Integration weiterer Waffensysteme). Zweitens die Anwendung auf weitere Domänen sowie die Komplexitätssteigerung hin zur operativen Ebene. Beide werden im Rahmen des Projektes Wild Hornets in Kooperation mit dem Amt für Heeresentwicklung verfolgt.



Abb. 2: Koordiniertes Schwarmverhalten demobilisiert und saturiert gegnerische Flugabwehr mit einem geringeren Ressourceneinsatz (Quelle: Ghostplay und 21strategies GmbH)

Fabio Ibrahim
Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

Philipp Yorck Herzberg
Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

forschungsbuero@hsu-hh.de

forschungsbuero@hsu-hh.de

Tactical Breathing – Stressmanagementtechnik zur Steigerung der Präzision im Schießen

Asymmetrische Konflikte im urbanen Raum erhöhen die Anforderungen an die psychophysiologischen Fähigkeiten von Soldatinnen und Soldaten. Diese randomisierte Kontrollgruppenstudie (N = 100) untersucht den Effekt von Tactical Breathing auf die Schießleistung. Die Ergebnisse zeigen, dass das Tactical Breathing ein wirksames Instrument zur Erhöhung der Selbstregulation und Präzision im Schießen ist.

Die zunehmende Urbanisierung und steigende Anzahl an asymmetrischen Konflikten verlagern militärische Konflikte vermehrt in Städte. Urbane Konflikte weisen eine Vielzahl an besonderen Herausforderungen auf, wie die Konflikte in Gaza, Charkiw und Mariupol verdeutlichen. Städtische Ballungsräume erschweren nachrichtendienstliche Aufklärung, Luftaufklärung und das Ansammeln von Großgerät, außerdem müssen Zivilisten von gegnerischen Kräften schnell, präzise und auf engem Raum unterschieden und entsprechend dem humanitären Völkerrecht behandelt werden. Diese besondere Herausforderung an die taktischen (Deckungsverhalten, Nutzung von Raumgeometrie, Koordinationsleistung) sowie kognitiven Fähigkeiten (Diskrimination, Inhibition, Wahrnehmung, Handlungspräzision) erhöhen die Relevanz einer effektiven performanzpsychologischen Befähigung von Soldatinnen und Soldaten.

Tactical Breathing ist in der kämpfenden Truppe sowie in spezialisierten und Spezialkräften der Bundeswehr eine häufig vermittelte Stressmanagementtechnik. In der Bundeswehr und in Hochrisikoberufen im Allgemeinen wird Tactical Breathing zur Erhöhung der taktischen Leistung und des operativen Fähig-



Abb. 1: Flow-Chart zum experimentellen Ablauf

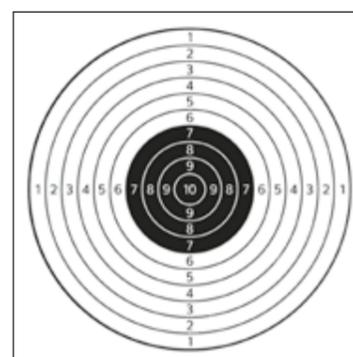


Abb. 2: 10er-Ringscheibe

keitenabrufs in Kampfhandlungen, wie beispielsweise im Feuerkampf, vermittelt. Die verlängerte Ausatmung verlangsamt den Herzschlag durch die respiratorischen Sinusarrhythmie und dadurch das psychophysiologische Stresserleben. Auch wenn es sich beim Tactical Breathing um eine, insbesondere in den Hochrisikoberufen, weltweit genutzte Stressmanagementtechnik handelt, ist die Auswirkung dieser Atemtechnik auf die tatsächliche Performanz im Schießen wenig untersucht. Um die Resilienz und Kampfkraft der Bundeswehr zu erhöhen, ist die empirische und einsatznahe Evaluation von psychologischen Stressmanagementtechniken erforderlich. Deswegen haben wir in dieser Studie primär den Effekt des Tactical Breathing auf die Schießleistung untersucht. Zusätzlich haben wir den Einfluss demografischer Eigenschaften sowie der Persönlichkeit auf die Performanz im Schießen untersucht.

Insgesamt nahmen n = 100 Soldaten (18 % weiblich) an der Untersuchung teil. Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen wurden zufällig der Interventionsgruppe (Tactical Breathing) oder der Kontrollgruppe zugeteilt (Abb. 1). Geschossen wurde mit einer Kurzwaffe (P8; Heckler und Koch) auf eine Distanz von zehn Meter zehn Schuss im AGSHP (realitätsnaher Schießsimulator mit Druckluft) auf eine Zehnerringscheibe (Abb. 2). Zusätzlich wurden vorab mittels Onlinefragebogen demografische Merkmale und psychometrische Fragebögen (Neurotizismus, Versagensangst, Resilienz) zur Untersuchung von psychologischen Einflussfaktoren auf die Schießleistung erhoben.

Insgesamt zeigte sich in der kumulierten Schießleistung ein starker Deckeneffekt, sodass als primäres Leistungskriterium der erste Schuss (entspannter Hahn; höheres Abzugsgewicht, höchste Schwierigkeit) untersucht wurde. Die Ergebnisse zeig-

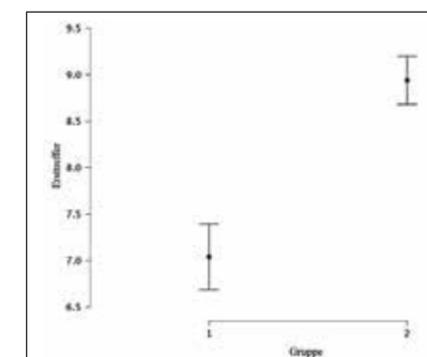


Abb. 3: Vergleich der Präzision im Schießen; Abzisse 1 = Kontrollgruppe; 2 = Tactical Breathing; Ordinate als erreichte Punktzahl beim Erstschiessen

ten, dass keins der untersuchten Persönlichkeitsmerkmale die Präzision beeinflusste. Dennoch zeigte die Experimentalgruppe (mit Tactical Breathing) durchschnittlich eine um 1,9 Punkte höhere Punktzahl bei der ersten Schussabgabe, $t(98) = 8,489$, $p < .001$, $d = 1,698$ (Abb. 3). Keine der demografischen und Persönlichkeitsvariablen erwiesen sich als Prädiktoren der Präzision bei der ersten Schussabgabe.

Bei der Betrachtung der ersten Schussabgabe, welche die höchste Schwierigkeit aufwies, war das Tactical Breathing eine effektive Methode zur Erhöhung der Präzision im Schießen und erweist sich aus den hiesigen Ergebnissen als sinnvolle Stressmanagementtechnik insbesondere für Infanterie, spezialisierte und Spezialkräfte der Bundeswehr.

Aufgrund der zunehmenden Relevanz individueller militärischer Kompetenzen von Soldatinnen und Soldaten innerhalb urbaner Operationen, sollte die militärpsychologische Forschung zunehmend bestehende Stressmanagementtechniken und performanzpsychologische Werkzeuge validieren und im Rahmen des Erkenntnisgewinns neue Techniken auf Grundlage aktueller physiologischer, neurologischer und psychologischer Forschung entwickeln. Ein wissenschaftliches Fundament im Bereich HPO (Human Performance Optimization), sowie ein enger Schluß zwischen der Forschung und der Truppenpsychologie sind Voraussetzung eines Transfers effektiver militärpsychologischer Werkzeuge in die Truppe.

Beschaffungsforschung für die Bundeswehr: Ergebnisse einer internationalen Benchmarking-Studie zum Defence Acquisition Management

Wie soll das Beschaffungssystem der Bundeswehr zukünftig gestaltet werden und was lässt sich aus dem internationalen Vergleich lernen? Dieser Frage geht das Arbeitsgebiet Beschaffung der Universität der Bundeswehr München mit dem Wehrwirtschaftlichen Kompetenzzentrum Defence Acquisition & Supply Management (DASM) nach. Es wurden hierfür 63 Modelle aus 28 Nationen untersucht.

Aktuelle Herausforderungen der Bundeswehr – Stichwort Zeitenwende – sind insbesondere auch Herausforderungen für die Rüstungsprojekte und deren Beschaffung. Angesichts aktueller Bedrohungen veränderten sich die Bedarfe der Streitkräfte in Qualität und Quantität, ebenso veränderten sich auch die finanziellen und prozessualen Rahmenbedingungen. Hier sei nur am Rande auf das Sondervermögen der Bundeswehr oder den „Beschleunigungserlass“ bzw. das Bundeswehrbeschaffungsbeschleunigungsgesetz verwiesen.

Dabei ist zumindest zu prüfen, ob diese Reformen ausreichen und ob neuer Handlungsbedarf zur Weiterentwicklung des Beschaffungswesens der Bundeswehr besteht. Zumal sich viele Nationen auf die neue Situation einstellen mussten. Deshalb lohnt es sich, das eigene System einem internationalen Vergleich zu unterziehen. In einer nicht-technischen Studie an der Universität der Bundeswehr München wurde genau dies in 2023 geleistet.

Dabei wurden 63 Modelle für die Rüstungsbeschaffung (international i. d. R. als „Defence Acquisition Management“

bezeichnet) aus 28 Nationen identifiziert. Methodisch wurden die Modelle mittels Kodierung kategorisiert und in geographischer, zeitlicher und inhaltlicher Form ausgewertet.

Geographisch wurde versucht einen möglichst umfangreichen Blick auf existierende Modelle zu gewinnen. Neben naheliegenden Vergleichen (z. B. Modelle aus den USA, Frankreich, Großbritannien) wurden auch tendenziell wenig rezipierte Modelle mit betrachtet (z. B. aus Südafrika, Chile, Indonesien usw.), (vgl. Abb. 1).

Dabei ist zeitlich zu beobachten, dass sich die Modelle keineswegs annähern, sondern sich national eigenständig weiterentwickeln. Dies führt zu großen nationalen Unterschieden einerseits, aber auch zu besonders hoher Detailliertheit in einzelnen Nationen. Beispielhaft hierfür steht die Entwicklung der Beschaffungsprozessmodelle in den USA. Dort wurden neun Modelle im Zeitraum zwischen 1996 und 2022 untersucht. Man erkennt eine zunehmende Verfeinerung, wobei das letzte Modell digital-interaktiv bedienbar ist und so im Detaillierungsgrad variiert, um die Komplexität des Gesamtsystems überhaupt noch erfassbar zu machen (vgl. Abb. 2).

Darüber hinaus wurden die Modelle auf inhaltliche Schwerpunkte untersucht. Basis bildete das Analyseraster eines strategischen Beschaffungsprozesses (vgl. van Weele / Eßig, 2017, Strategische Beschaffung, Springer). Abb. 3 zeigt die Häufigkeit identifizierter Modellelemente im Analyseraster. Man erkennt nicht nur eine Heterogenität bei Struktur- und Prozesselementen, sondern auch bei deren inhaltlicher Gewichtung. Das Bedarfsmanagement wird in einem hohen Anteil der Modelle adressiert. Positiv lässt dies auf eine hohe Nutzer- bzw.

„Kunden“-orientierung schließen – zeigt aber auch, dass die Aufnahme und Konsolidierung dieser Bedarfe nicht trivial zu sein scheint. Viel weniger stark werden Lieferanten bzw. Beschaffungsmarkt und konkrete, operative Bestellabwicklung beleuchtet. Dieser „blinde Fleck“ sorgt für eine mangelnde Marktorientierung und Unterbetonung der konkreten Versorgung – so steht in einigen Modellen simpel „Contracting“ als Verbindung zwischen Bedarf und Auslieferung.

Zusammenfassend erkennt man eine große Vielfalt an Modellen, was darauf hindeutet, dass noch kein konsolidiertes Wissen besteht. Demgegenüber gibt es nationale Besonderheiten und im Einzelfall sehr unterschiedliche Sichten auf die Rüstungsbeschaffung. Gerade vor dem Hintergrund zunehmend multinationaler und „marktverfügbarer“ Beschaffungswege ergeben sich daraus wichtige Impulse für die Weiterentwicklung des Beschaffungssystems (nicht nur) der Bundeswehr. Das wehrwirtschaftliche Kompetenzzentrum DASM wird diese Benchmark in den nächsten Jahren fortführen und geographisch weiter vervollständigen sowie andererseits inhaltliche Empfehlungen ableiten, die konkrete Anwendung im Beschaffungsmanagement der Bundeswehr finden können.

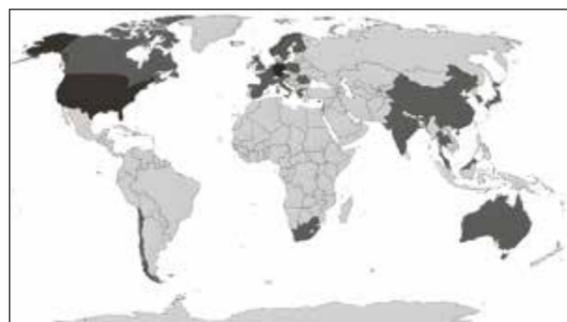


Abb. 1: Modelle aus den betrachteten Nationen im Überblick

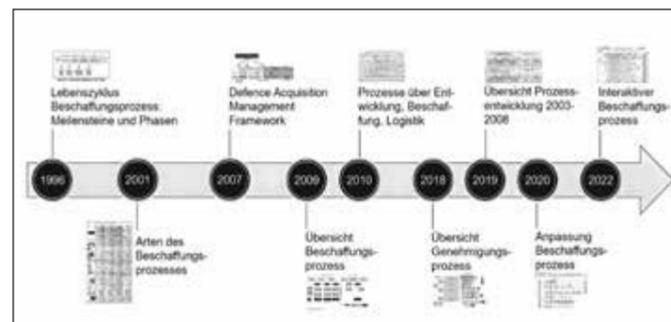


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung von Modellen am Beispiel der USA

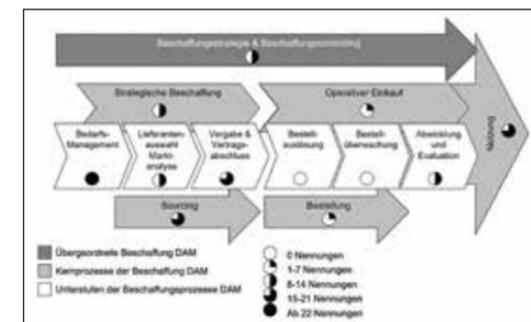


Abb. 3: Analyseraster und Nennungen je Modellinhalt



Abb. 4: Wehrwirtschaftliches Kompetenzzentrum DASM

Identifikation von Desinformationskampagnen in sozialen Medien

Ziel des KIMONO-Projekts ist die Erkennung und Modellierung von Desinformations- und Beeinflussungskampagnen, die über soziale Medien wie X/Twitter verbreitet werden. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf Kampagnen staatlicher Akteure. Als Grundlage für die Entwicklung eines prototypischen Frühwarnsystems werden Best Practices zur Erkennung solcher Kampagnen und Narrative gesammelt.

Desinformationskampagnen können Menschen manipulieren und beeinflussen. Sie führen zu einer massiven Schwächung des Vertrauens in Demokratie, Rechtsstaatlichkeit und Meinungsfreiheit. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass staatliche Akteure Beeinflussungskampagnen in sozialen Medien zur Destabilisierung gegnerischer Staaten einsetzen (hybride Kriegsführung). Die Früherkennung solcher Kampagnen und die Beobachtung ihrer Entwicklung und Verbreitung sind daher wichtig, um geeignete Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Zu Themen wie Kampagnenidentifikation, -monitoring und -klassifikation in sozialen Medien (kurz KIMONO) forschen neben dem Forschungsinstitut CODE auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie sowie der Ben-Gurion-Universität in Israel. Gemeinsam arbeitet das internationale Forschungsteam daran, solche Desinformationskampagnen und Propagandanarrative zu identifizieren und einen Softwareprototypen zur Früherkennung derartiger Aktivitäten zu entwickeln.

Der Fokus von KIMONO liegt auf der Identifizierung von

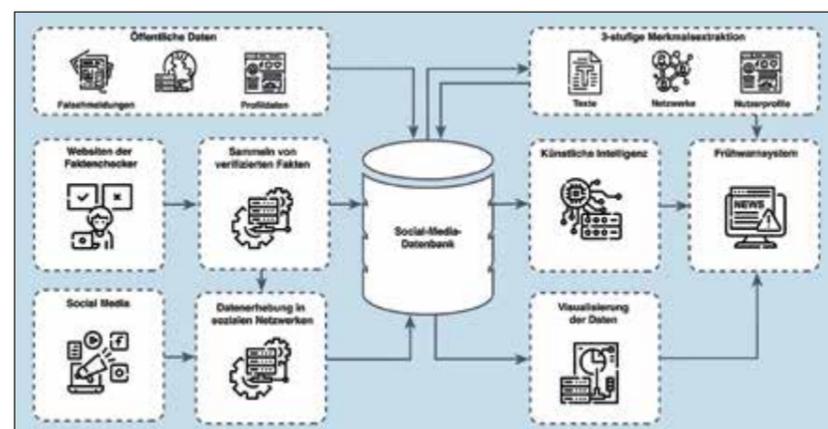


Abb. 1: Erkennung von Falschmeldungen in sozialen Netzwerken

gezielt manipulativen Falschmeldungen. Diese sogenannten Fake News können ihre negative Wirkung vor allem dann entfalten, wenn sie sich mit Hilfe von Social Media rasend schnell verbreiten. Um möglichst viele Menschen zu erreichen, werden solche Meldungen oft sehr provokativ formuliert, um zum Teilen und Liken der Beiträge zu animieren. Beeinflussungskampagnen sind heute multimodal: Text, Bild und Ton können manipuliert werden, um Menschen in die Irre zu führen. KIMONO konzentriert sich jedoch ausschließlich auf die Erkennung von Falschmeldungen in Textform.

Hierfür wird eine künstliche Intelligenz anhand von Meldungen, die Faktenchecker bereits als wahr oder falsch gekennzeichnet haben, trainiert (siehe Abb. 1). Ziel ist das Erkennen von Gesetzmäßigkeiten in den Trainingsdaten, um später in der Lage zu sein, Falschmeldungen in einer Menge neuer Social Media Posts computergestützt aufzuspüren. Ein typisches Muster für eine offensichtliche Desinformationskampagne ist beispielsweise die Diskreditierung von Mitbewerbern: Der Nutznießer erhält (unverdient) nur Lob, während der Konkurrent nur unfaire oder bösartige Kommentare erhält.

Kampagnenbeiträge sind erfahrungsgemäß häufig von starken Meinungsäußerungen, sensationellen oder emotionalen Formulierungen geprägt. Diese und andere sprachliche Auffälligkeiten sind Merkmale, die die Beiträge kennzeichnen. Aufschlussreich sind aber auch die Social Media-Profile der Autorinnen und Autoren der Beiträge. In diesem Zusammenhang wird berücksichtigt, wie lange ein Account schon besteht, wie viele Posts getätigt wurden, wie viele Follower das Profil hat und wie vielen gefolgt wird. Diese Statistiken sind besonders hilfreich, um Social Bots zu erkennen (siehe Abb. 2). Um diese

Programme, die menschliche Verhaltensmuster simulieren, von echten Personen zu unterscheiden, wird auch das Beziehungsnetz der Nutzerinnen und Nutzer analysiert: Wer interagiert wie oft mit wem? Ziel ist es atypisches Verhalten aufzudecken. Der Verdacht, dass ein Social Bot am Werk ist, ergibt sich meist erst aus dem Zusammenspiel aller Indizien. Wenn zum Beispiel in mehreren Ländern nahezu gleichzeitig Nachrichten mit identischem Inhalt in verschiedenen Sprachen verbreitet werden, so ist dies oft auf eine Software zurückzuführen, die durch automatische Übersetzung den ursprünglichen Text in kürzester Zeit in Umlauf bringt.

Bislang fehlt es noch an geeigneter Softwareunterstützung, um Kampagnen zuverlässig zu erkennen und darüber hinaus nachvollziehbare Erklärungen zu liefern, warum bestimmte Beiträge in sozialen Medien als irreführend bewertet wurden. Um letztlich Gegenmaßnahmen einleiten zu können, die zur Eindämmung der Verbreitung von Desinformation beitragen, arbeitet das KIMONO-Team mit Hochdruck daran, Falschmeldungen bei ausreichender Indizienlage automatisiert aufzudecken.

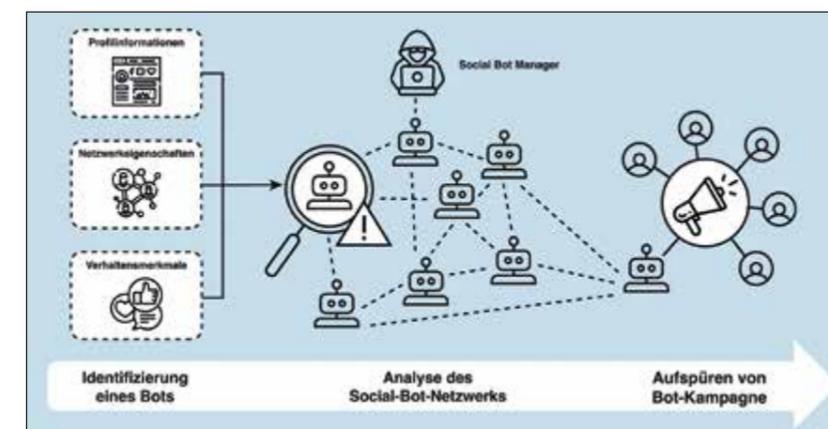


Abb. 2: Identifikation einer Bot-gesteuerten Desinformationskampagne



Bundesministerium
der Verteidigung

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

Abteilung Planung – Plg FIH AB III
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 1 41 80
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 4 41 89
E-Mail: BMVgPlgFIHABIII@bmvg.bund.de

Abteilung Planung – Plg FIH AB IV
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 1 41 66
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 4 41 75
E-Mail: BMVgPlgFIHABIV@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: BMVgCIT12@bmvg.bund.de

Abteilung Einsatzbereitschaft und Unter-
stützung Streitkräfte – EBU I 8
Tel.: +49 (0) 30 / 2004 - 2 48 38
Fax: +49 (0) 30 / 2004 - 18 03 68 13
E-Mail: BMVgEBUI8@bmvg.bund.de

Abteilung Einsatzbereitschaft und Unter-
stützung Streitkräfte – EBU III 1
Tel.: +49 (0) 30 / 20 04 - 2 48 54
Fax: +49 (0) 30 / 20 04 - 8 97 00
E-Mail: BMVgEBUIII1@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 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.bundeswehr.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.bundeswehr.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.bundeswehr.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.bundeswehr.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.bundeswehr.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.bundeswehr.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/cyber-und-informationsraum/kommando-und-organisation-cir/kommando-cyber-und-informationsraum/zentrum-fuer-geoinformationswesen-der-bundeswehr



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: zentrlurmedlwpresse@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



Institut für Präventivmedizin
der Bundeswehr
Aktienstraße 87
56626 Andernach
Dienstorte:
Andernach und Koblenz
Tel.: +49 (0) 261 / 896 - 7 70 00
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>



Planungsamt der Bundeswehr
Oberspreestraße 61L
12439 Berlin
Tel.: +49 (0) 30 / 67 94 - 19 13
Fax: +49 (0) 30 / 67 94 - 29 - 19 07
E-Mail: plgabwldi@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation

 **Fraunhofer**
VVS
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**
EMI
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**
FHR
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**
FKIE
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**
IAF
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**
ICT
Fraunhofer-Institut für
Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal
phone +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**
INT
Fraunhofer-Institut für
Naturwissenschaftlich-
Technische Trendanalysen INT
Postfach 14 91
53864 Euskirchen
Tel.: +49 (0) 22 51 / 18 - 0
Fax: +49 (0) 22 51 / 18 - 277
E-Mail: info@int.fraunhofer.de
Internet: www.int.fraunhofer.de

 **Fraunhofer**
IOF
Fraunhofer-Institut für
Angewandte Optik und
Feinmechanik IOF
Albert-Einstein-Str. 7
07745 Jena
Tel.: +49 (0) 36 41 / 807 - 0
Fax: +49 (0) 36 41 / 807 - 600
E-Mail: info@iof.fraunhofer.de
Internet: www.iof.fraunhofer.de

 **Fraunhofer**
IOSB
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) 72 43 / 992 - 131
Fax: +49 (0) 72 43 / 992 - 299
E-Mail: info@iosb.fraunhofer.de
Internet: www.iosb.fraunhofer.de

 **DLR**
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Programmdirektion Sicherheit und Verteidigung
(PD-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

 **DLR**
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
email info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/as

 **DLR**
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
DLR BT
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711 / 68 62 - 444
Fax: +49 (0) 711 / 68 62 - 227
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/bt

 **DLR**
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugführung DLR FL
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig
Tel.: +49 (0) 531 / 295 - 25 00
Fax: +49 (0) 531 / 295 - 25 50
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/fl

 **DLR**
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

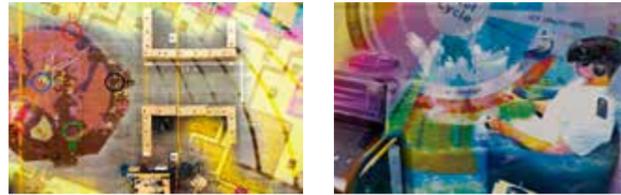
 **DLR**
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Hochfrequenztechnik und
Radarsysteme DLR HR
Oberpfaffenhofen
82234 Weßling
Tel.: +49 (0) 81 53 / 28 23 05
Fax: +49 (0) 81 53 / 28 11 35
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/hr

 **DLR**
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Raumflugbetrieb und Astronautentraining
DLR RB
Münchener Straße 20
82234 Weßling
Tel.: +49 (0) 81 53 / 28 - 27 00
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/rb

 **DLR**
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

 **DLR**
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik
DLR SI
Callinstr. 30b
30167 Hannover
Tel.: +49 (0) 421 / 2 44 20 - 13 70
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/si

 **DLR**
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
DLR SL
Hein-Saß-Weg 22
21129 Hamburg
Tel.: +49 (0) 40 / 24 89 - 64 13 02
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/sl



HERAUSGEBER

Bundesministerium der Verteidigung
 Forschungs- und Innovationshub
 Fontainengraben 150
 53123 Bonn

INHALTLICHE BETREUUNG

Fraunhofer INT, Euskirchen

GESTALTUNG UND REALISATION

Konzeptbüro Schneider, Erfstadt

DRUCK

Warlich Druck Meckenheim GmbH, Meckenheim

STAND

Oktober 2024



FOTOS

Seite

© Bundeswehr / Martin Morkowski; Jana Neumann; Tom Twardy; Carl Schulze	01	Bundesministerium der Verteidigung, Bonn
© Bundeswehr / Jana Neumann	08	Bundeswehrkrankenhaus Berlin
© Bundeswehr / Tobias Nordhausen; Sherifa Kästner	09	Bundeswehrkrankenhaus Hamburg
© Bundeswehr / Marco Dorow	10	Bundeswehrkrankenhaus Ulm
© Bundeswehr / Leon Rodewald; Anna Derr	11	Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
© AdobeStock, 259325121, AleksViking	16 / 17	Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis
© Boevaya mashina, BSdynM at TdBw Brandenburg 2023, CC BY-SA 3.0	29	DLR, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig
© Google Earth	48	DLR, Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie, Stuttgart
© WIS / Wilsenak	59	DLR, Institut für Flugführung, Braunschweig
© WIS GF 220	60 / 61	DLR, Institut für Flugsystemtechnik, Braunschweig
© Bundeswehr / Fuchs	62	DLR, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, Oberpfaffenhofen
© Bundeswehr / Kopa	63	DLR, Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik, Hannover
© WTD 71 GF 440	70	DLR, Kompetenzzentrum für Reaktionsschnelle Satellitenverbringung, Trauen
© Bundeswehr / Michael Schiewe	80	DLR, Raumflugbetrieb und Astronautentraining, Oberpfaffenhofen
© Epidemiologisches Bulletin 09/2022; RKI Berlin	85	Fraunhofer EMI, Freiburg i. Br.
© Bundeswehr / Anne Weinrich	102	Fraunhofer FHR, Wachtberg
© Bundeswehr / Anna Derr	103	Fraunhofer FKIE, Wachtberg
© Jednostka – Szukaj w Archiwach	108	Fraunhofer IAF, Freiburg i. Br.
© Bundesarchiv, Bild 102-02441	109	Fraunhofer ICT, Pfinztal
© Verändert nach TseKiChun; Wikimedia Commons, zuletzt abgerufen 05.02.2024	115	Fraunhofer INT, Euskirchen
© FMN SP5 SI for Audio and Video-based Collaboration	122 / 123	Fraunhofer IOF, Jena
© hostplay und 21strategies GmbH	128 / 129	Fraunhofer IOSB, Karlsruhe, Ettlingen
		Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg
		Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, München
		Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr, München
		Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr, Andernach
		Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München
		Planungsamt der Bundeswehr, Berlin
		Psychotraumazentrum der Bundeswehr, Berlin
		Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
		WIS, Munster
		WIWeB, Erding
		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, Köln
		Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr, Potsdam