



Bundesministerium
der Verteidigung

Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2020

Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte



BUNDESWEHR

Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2020

Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte

20



Surround
cone

Center
cone

cone

bipolar
cell

N52PT
B19600.00

D-U20
B795.00

CCA680
B7225.00 ft ▲

1432
N/A

DLH430
B3850.00 ft ▲

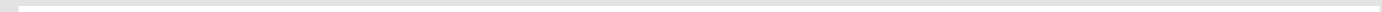
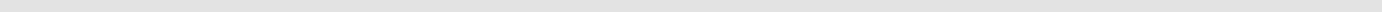
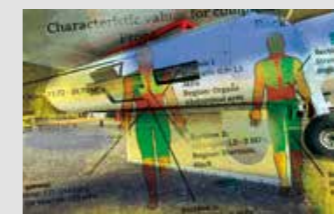
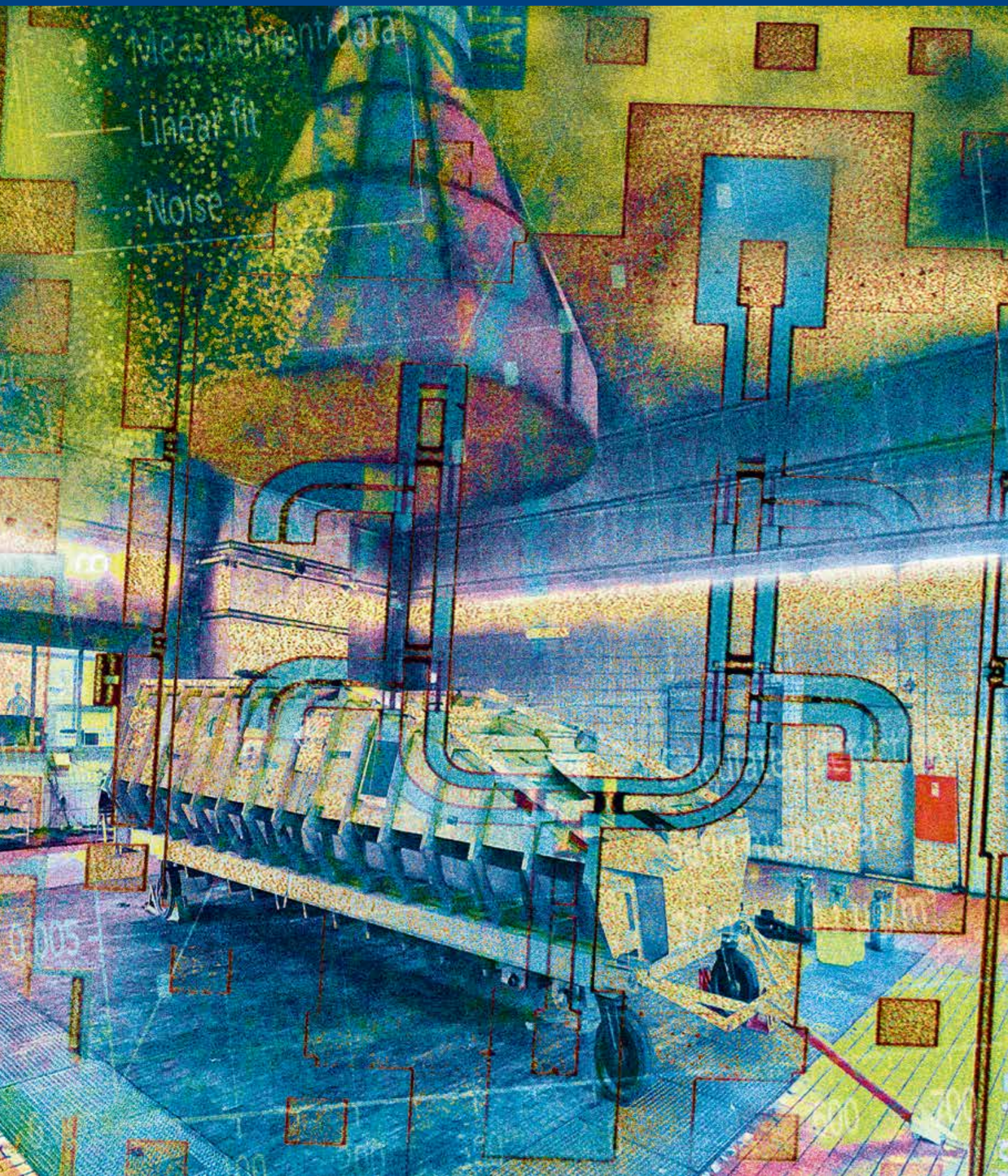
DLH507
N/A

ON-center
OFF-surround
ganglion cell

FLFFF
B499.02

To

21R



Ministerialdirigent Ralf Schnurr

Unterabteilungsleiter A III und Forschungsbeauftragter
Bundesministerium der Verteidigung

Wehrwissenschaftliche Forschung für die Streitkräfte

Die sicherheits- und verteidigungspolitischen Herausforderungen Deutschlands, der EU sowie der NATO sind in den zurückliegenden Jahren größer, volatiler und komplexer geworden.

Fortschritte in der Forschung und der Entwicklung neuer Technologien, wie z. B. in der Digitalisierung, im Bereich der Künstlichen Intelligenz, unbemannter Systeme, der Hyperschalltechnologien, der Biotechnologien und der Cyber-Instrumente werden grundlegende Auswirkungen auf die sicherheits- und verteidigungsrelevanten Systeme der Zukunft haben. Damit sind auch Fragen nach dem möglichen Destabilisierungspotenzial und der Völkerrechtskonformität des Einsatzes neuer Technologien in Waffensystemen verbunden.

Der Weltraum gewinnt als sicherheitspolitischer Raum zunehmend an Bedeutung. Deutschland ist wie viele andere Staaten auf den freien Zugang, die friedliche und nachhaltige Nutzung und den Schutz kritischer Infrastruktur im Weltraum angewiesen. Satelliten sind sowohl im zivilen Bereich für Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft als auch im militärischen Bereich für Aufklärung und Überwachung, Navigation und Kommunikation von entscheidender Bedeutung.

Die Grundaufstellung der Bundeswehr enthält Fähigkeiten, Kräfte und Mittel für folgende Aufgaben:

- Landes- und Bündnisverteidigung im Rahmen der NATO und gemäß den Vorgaben der Europäischen Union
- Cybersicherheit/-verteidigung
- nationales Risiko- und Krisenmanagement
- Heimatschutz und „Host Nation Support“
- Betrieb der Basis Inland.

Diese Aufgaben sind jederzeit und gleichzeitig wahrzunehmen.

Alle Aufgaben der Bundeswehr sind übergreifend durch das Zusammenwirken aller Organisationsbereiche zu erfüllen. Dies kommt auch bei den Forschungsbereichen der

- der Wehrtechnischen Forschung,
- der Wehrmedizinischen und Militärpsychologischen Forschung,
- der Militärgeschichtlichen und Sozialwissenschaftlichen Forschung,
- der Geowissenschaftlichen Forschung und
- der Cyber / Informationstechnischen Forschung zum Ausdruck, die im Folgenden an ausgewählten Beispielen vorgestellt werden.



Ralf Schnurr



Durch Anklicken direkt zum Artikel gelangen

20

Vorwort 06 Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte

Teil 1 13 Wehrtechnische Forschung

- 14 Bioinspirierte Tarnbewertung durch Berechnung der lokalen Auffälligkeit
- 16 Virtual Reality zur effizienten Nutzung von 3D-Daten optronischer Sensoren
- 18 Laserquellenforschung für optronische Gegenmaßnahmen (OGM) und Hochenergielaser (HEL)
- 20 Virtuelle Menschmodelle und biofidele Dummies für die Sicherheit der Soldatinnen und Soldaten
- 22 Potenzial der Digitalisierung für die Gefechtsausbildung auf Truppenübungsplätzen mit scharfem Schuss
- 24 Miniaturisiertes Millimeterwellen SAR auf kleinen Flugplattformen
- 26 UAV-basierte Neutronen- und Gammadetektion unter Verwendung neuartiger Szintillationsmaterialien
- 28 Wehrtechnische Zukunftsanalyse im internationalen Kontext zur Unterstützung langfristiger F&T-Planung
- 30 Diamantbasierte Quantensensorik zur Aufklärung von HF-Signalen
- 32 Auf Galliumnitrid (GaN) basierende integrierte Millimeterwellen-Verstärker mit hoher Effizienz
- 34 Echtzeit-Evaluation von Funkkommunikationssystemen auf unterschiedlichen Protokollschichten
- 36 Munitionsbrandschutzkonzepte zur Verbesserung der Sicherheit
- 38 Mikroreaktoren für die sichere und effiziente Herstellung von Explosivstoffen
- 40 Ein Geländemodell für die IR-Signaturberechnung mit MIRA
- 42 Adaptiver Lufteinlauf für Abwehr-Flugkörper mit Staustrahtriebwerk
- 44 Drohnenschlag auf Hubschrauberscheiben
- 46 Klassifikation von Flugzeugen aus satellitengestützten Radar-Daten
- 48 Forschung für die Abwehr hypersonischer und ballistischer Flugkörper im Rahmen einer territorialen Luftverteidigung
- 50 „Stare-and-Chase“-Verfahren zur Ortung und Katalogisierung orbitaler Objekte
- 52 Bestimmung der aerodynamischen Eigenschaften von Pfeilgeschossen im Windkanal und im Freiflug

- 54 (Hochentwickelte) Opto-pyrotechnische Zündsysteme
- 56 Landmarkenbasierte Verfahren zur Lokalisierung und Navigation autonomer Landfahrzeuge in GNSS-armen Umgebungen
- 58 Pilotprojekt Kompetenzzentrum Krisenfrüherkennung
- 60 Untersuchung der Möglichkeiten zum 3D-Druck von Elastomerbauteilen für militärische Anwendungen
- 62 SOTM Tests in der Bundeswehr
- 64 Defence Acquisition & Supply Management: Wehrwirtschaftlich fundierte Beschaffungsforschung für die Bundeswehr
- 66 Gesundheit erfolgreich und bedarfsgerecht fördern!
- 68 Führen mit IT
- 70 Analyse der Recyclingfähigkeit von thermoplastischen Kunststoffen zur Nutzung bei additiver Fertigung im maritimen Sektor
- 72 Räumliches 3D-Audio zur Verbesserung des Gehörschutzes von Soldaten
- 74 Nutzung von additiver Fertigung zur Herstellung von Surrogaten für die Analyse Nichtletaler Wirkmittel
- 76 Echtzeitdetektion, Lokalisierung und Volumenschätzung von Deflagrationen in militärischen Fahrzeugen
- 78 Der Einfluss von Maßnahmen aus dem Bereich der Betreuung im Einsatz auf die Gesundheit und Motivation der Soldatinnen und Soldaten
- 80 Einfluss der Flugparameter auf das Detektionsverhalten luftgestützter RN-Sensorik
- 82 Hochauflösende und hochsensitive Ionenmobilitätsspektrometer für Unmanned Aircraft Systems
- 84 Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz bei der additiven Fertigung zur vernetzten Produktentwicklung
- 86 Digitalisierung Zerstörungsfreier Prüfverfahren
- 88 Aufbau von Bewertungsfähigkeiten zur Untersuchung von Einflüssen aus der Flugführung auf stark konturierte Einlaufsysteme
- 90 PRS-Demonstrator für Luftfahrtanwendungen mit Einbindung in Air Traffic Management Systeme
- 92 Maritime unbemannte Systeme für die U-Jagd



	94	Auswirkung der Resonanz auf das Zielmaß
	96	Mit Hochgeschwindigkeit gegen hochfesten Beton
	98	Weiterentwicklung Truppenübungsplätze
Teil 2	101	Wehrmedizinische und Militärpsychologische Forschung
	102	Welcome on Board – SARS-CoV-2-Diagnostik auf hoher See
	104	Störung von regenerativ wirkenden Stammzellen durch Schwefelost-Vergiftung als mögliche Ursache für die chronische Wundheilungsstörung
	106	Effiziente und valide Beurteilung körperlicher Leistungsfähigkeit bei der Personalgewinnung und wehrmedizinischen Begutachtungen: Das neue „KI-KLF-Verfahren“
	108	Aufbau und Implementierung zusätzlicher SARS-CoV-2-Testkapazitäten am Institut für Radiobiologie der Bundeswehr
	110	Einfluss von COVID-19 auf Angst, Aggression und Ärger bei Krankenhauspersonal und Betroffenen
	112	Randomisiert kontrollierte Studie zur Wirksamkeit von pferdeunterstützter Intervention und Therapie bei Einsatzfolgestörungen von aktiven und ehemaligen Angehörigen der Bundeswehr
	114	Screeninguntersuchungen zu den funktionellen Konsequenzen repetitiver hypobarer Höhenexpositionen bei Innenbegleitpersonal von Höhensimulationskammern – Eine europäische multinationale Studie
	116	Immunologische Veränderungen durch hyperbaren Sauerstoff – Wie beeinflusst dienstliches Tauchen die Immunantwort?
	118	Einsatz der Online-Videosprechstunde im Sanitätsdienst der Bundeswehr
	120	Entwicklung einer bakterienundurchlässigen Haut-Metall-Konnektion für transkutane osseointegrierte Prothesensysteme (TOPS)
	122	Evaluation modernster Simulationsmodelle in der notfallchirurgischen Ausbildung
	124	Nachweis von Autoantikörpern als Risikofaktor für einen schwerwiegenden Verlauf und bleibende Lungenschäden nach Infektion mit SARS-CoV-2
	126	Evaluation molekularer Diagnostikverfahren für tropische Parasitenerkrankungen
	128	Studie zur klinischen Evaluation und Etablierung einer Hochdurchsatz-Testung zum Nachweis für SARS-CoV-2-Infektionen



Teil 3	131	Militärgeschichtliche und Sozialwissenschaftliche Forschung
	132	Der Afghanistaneinsatz in historischer Perspektive – Ein neues Forschungsprojekt des Zentrums für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr
	134	Tabu und Toleranz – Der Umgang der Bundeswehr mit Homosexualität von 1955 bis zur Jahrtausendwende
Teil 4	137	Geowissenschaftliche Forschung
	138	Simulation: Weiterentwicklung Regionales Ozeanmodell
	140	HEARTS und der Stand der Forschung im Bereich Ausbreitungsmodellierung von Schadstoffen im ZGeoBw
Teil 5	143	Forschung Cyber / Informationstechnik
	144	Erkennung hybrider Bedrohungen für urbane Operationen
	146	Interoperables Cloud Computing (IOCC)
	148	Wetterdatensteuerung
	150	CWIX unter COVID-19 Bedingungen – Die Perspektive der Communications Focus Area
	152	Automatisierung und Künstliche Intelligenz am Beispiel der Forschungsstudie „ErzUntGlas“
	154	Multilateral Interoperability Programme (MIP)
	156	Neue Techniken im Bereich Dekompilierung
	158	Modularer taktischer Router auf Basis offener Standards
	160	IP-Wellenformen
Teil 6	163	Anhang
	164	Adressen und Kontakte
	170	Impressum

1

Wehrtechnische Forschung

Das erforderliche breite Fähigkeitsspektrum der Bundeswehr bedingt eine intensive Beobachtung und Erschließung aller für wehrtechnische Anwendungen relevanten natur- und ingenieurwissenschaftlichen Felder. Für die hierzu erforderliche Analyse- und Bewertungsfähigkeit werden Erkenntnisse der zivilen Forschung aufgegriffen und technologische Entwicklungen hinsichtlich ihrer zukünftigen militärischen Verwendbarkeit bzw. ihres Bedrohungspotenzials analysiert.

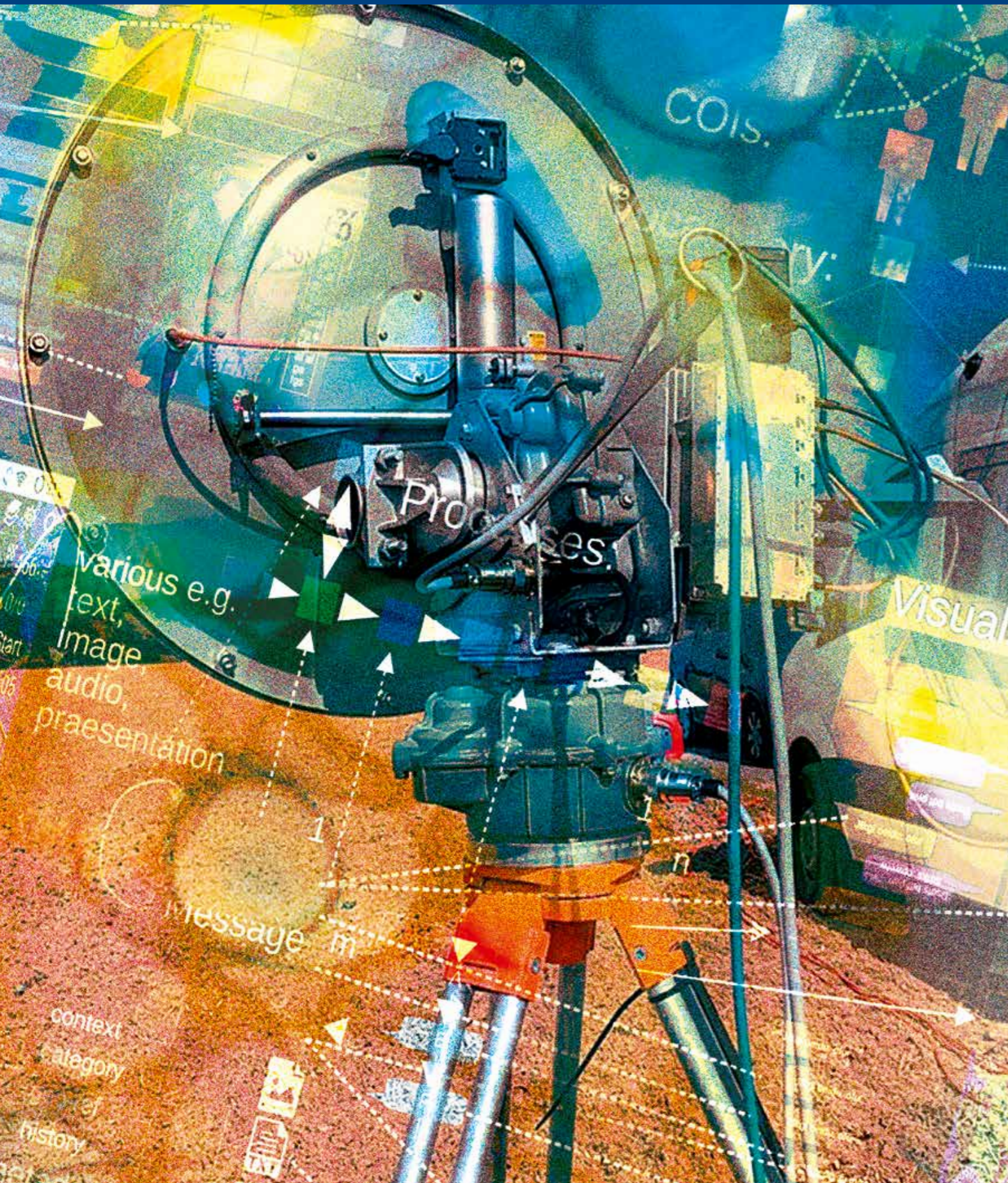
Zur Weiterentwicklung der Fähigkeiten der Bundeswehr werden strategische Interessenfelder identifiziert und relevante Zukunftstechnologien zeitgerecht bis zur Produktnähe vorangetrieben. Dabei ist die eigene technologische Souveränität auf dem Gebiet nationaler Schlüsseltechnologien zu erhalten und auszubauen.

Ziel ist es letztlich, das Handlungs- und Leistungsvermögen der Bundeswehr durch verstärkte Nutzbarmachung neuer Ideen und schnelle Umsetzung von technologischen Innovationen zu sichern und zu verbessern, um zeit- und auftragsgerecht die erforderliche Ausrüstung für die Bundeswehr zur Verfügung zu stellen.

Die Durchführung wehrtechnischer Forschung und Technologie (F&T) in Deutschland erfolgt

- in bundeswehreigenen Wehrwissenschaftlichen und Wehrtechnischen Dienststellen,
- im Rahmen einer 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
- im Rahmen einer 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.

In den nachfolgenden Artikeln werden Beispiele von wehrtechnischen F&T-Aktivitäten des Jahres 2020 aus diesen drei Durchführungsbereichen dargestellt.



Bioinspirierte Tarnbewertung durch Berechnung der lokalen Auffälligkeit

Effizienz von Tarnmaßnahmen vorab zu bewerten ist eine essentielle Aufgabe, wenn es darum geht, einer Einheit größtmöglichen Schutz vor Entdeckung und Erkennung zu ermöglichen. Hierzu werden oft Beobachterversuche oder mathematische Modelle verwendet. In dieser Arbeit werden neurophysiologische Grundlagen herangezogen, um die Modelle durch biologisch inspirierte Signalverarbeitung zu erweitern.

Die Effizienz von Tarnmaßnahmen lässt sich am besten dadurch ausdrücken, wie sehr die Entdeckung, Erkennung oder Identifikation (Detection, Recognition and Identification (DRI)) von Plattformen, die diese Maßnahmen verwenden, im Vergleich zu anders- oder nichtgetarnten Einheiten verzögert und verringert wird. Hierzu werden oft Beobachterversuche eingesetzt, um die Auswirkungen der Tarnmaßnahmen auf menschliche Beobachter direkt zu analysieren. Allerdings sind Beobachterversuche zeit- und personenaufwändig und es gilt menschliche Faktoren zu beachten, um im Anschluss statistisch aussagekräftige Aussagen treffen zu können.

Hier stellt sich die Frage, ob man in der Bildverarbeitung durch mathematische Modelle vorhersagen kann, wie gut sich signaturverändernde Maßnahmen auf die DRI-Werte auswirken. Hierzu gibt es bereits viele Ansätze, wie beispielsweise das Signal-Rauschen-Verhältnis oder die statistische Ähnlichkeit der Textur des Objekts zu der Textur des Hintergrunds.

Obwohl dies ein guter Ansatz ist, ist bei diesen Bewertungen oft der Übergang von Objekt zu Hintergrund, welcher oft eine

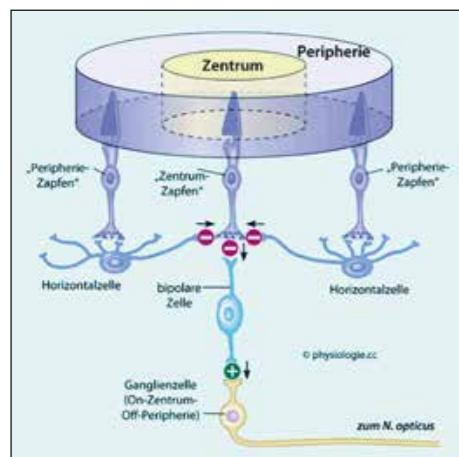


Abb. 1: Schematische Darstellung eines rezeptiven Feldes in der Retina (Quelle: www.physiology.cc)

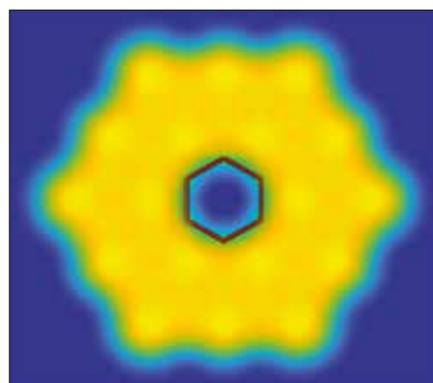


Abb. 2: Visuelle Repräsentation des mathematisch nachgebildeten rezeptiven Feldes als Kernelement des Auffälligkeitsbewertungsmodells



Abb. 3: Anwendung des Modells auf das Bild eines getarnten Schützen. Rot-gelb markierte Bereiche (linke Bildhälfte) entsprechen Bereichen höherer Auffälligkeit (Quelle: Caters News Agency)

disruptive Auffälligkeit ist, die das gut getarnte Objekt dennoch verrät, oft unbeachtet.

In dieser Arbeit wird Fokus auf die neurophysiologische Signalverarbeitung gelegt. Dies ist ein vielversprechender Ansatz, da so die tatsächliche neuronale Verarbeitung des Gesehenen und damit die Prozesse, die die Aufmerksamkeit des Beobachtenden lenken, in den Fokus gerückt werden. Durch diese Erkenntnisse können die Modelle um die Prozesse, die den Blick des Auges auf Bereiche des Bildes lenken, erweitert werden.

Da nur der zentrale Bereich des Gesehenen detailliert gesehen wird (in der Fovea), scannt das Auge das Gesehene durch sakkadische, schnelle Sprünge des Blickfokus und das Gehirn setzt aus diesen Sprüngen das Gesamtbild zusammen. Die Fokuspunkte dieser Sprünge werden vom Gehirn durch Suchmuster sowie durch statistische Diskrepanzen im Gesehenen bestimmt.

Das Suchmuster bestimmt den Bereich, in welchem gesucht wird, und die Reihenfolge in welchem Bereiche abgesucht werden. Wenn sich etwas im Sichtbereich nun durch eine Andersartigkeit auszeichnet, wird es fixiert und von höheren neuronalen Prozessen analysiert und klassifiziert.

Diese Andersartigkeit wird von neuronalen Strukturen, den rezeptiven Feldern, erfasst. Diese leiten ein Nervensignal weiter, wenn zwischen Zentralbereich und Außenbereich (Abb. 1) ein Unterschied im Eingangssignal besteht. Dies reicht von Helligkeitsunterschieden bis hin zu dem Erkennen von Ausrichtungsungleichheiten im visuellen Cortex: Ein Bild hängt schräg und zieht daher die Aufmerksamkeit auf sich.



Abb. 4: Bild eines Straßenabschnittes mit Verkehrsschildern (oben) und zugehöriger Auffälligkeitskarte (unten)

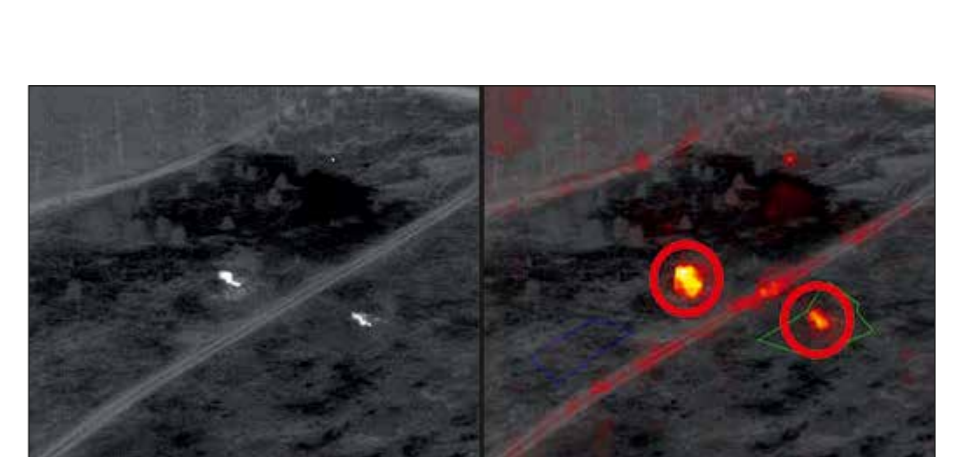


Abb. 5: Wärmebild von getarnten Objekten und der zugehörigen Auffälligkeitskarte, welche Unterschiede und Schwachstellen offenlegt

Unser Modell verwendet, durch die rezeptiven Felder inspiriert (Abb. 2), diese Form der Anomaliedetektion ins Bildmaterial. Hierbei wird ein breites Spektrum biologisch relevanter Parameter, wie Kontrast oder räumliche Frequenzen verwendet. Da nicht bloß das getarnte Objekt mit seinem Hintergrund verglichen wird, sondern das Modell das Bildmaterial vollständig scannt, werden auf diese Weise auch die statistischen Diskrepanzen durch auffällige Übergänge von getarntem Objekt zu Hintergrund erfasst und fließen in die Signaturbewertung mit ein (Abb. 3).

Über die so erhaltene Auffälligkeitskarte (Abb. 4) lassen sich nun Tarnmaße bestimmen, wie die Gesamtauffälligkeit des Objektes oder das Auftreten eines Auffälligkeitsspeaks an dem Objekt, welches dieses trotz sonstiger guter Tarnung verraten könnte. Auf diese Weise lassen sich Problemstellen (Abb. 5) erkennen und eventuell beheben. Parametrisierbar ist auch das Maß an Ablenkung, dass die Umgebung bereitstellt und somit die Suche nach dem Objekt erschwert und verzögert. Es hat sich gezeigt, dass diese Form der Bildverarbeitung ein verlässliches Maß zur Tarnbewertung erbringen kann, welches durch Vergleiche mit tatsächlicher Beobachterleistung weiter verbessert werden kann.

Virtual Reality zur effizienten Nutzung von 3D-Daten optronischer Sensoren

Die Erzeugung von 3D-Modellen aus Daten optronischer Sensoren wird immer schneller und besser, aber die Nutzung dieser Daten ist mit den heute gängigen Darstellungssystemen nur unzureichend möglich. Virtual Reality (VR) bietet durch seine immersive, räumliche Darstellung eine effizientere Nutzung der komplexen Daten, was jedoch eine Integration in die entsprechenden Arbeitsabläufe voraussetzt.

Durch neue und immer bessere Sensorik und entsprechende Nachbearbeitungsmöglichkeiten ist es heute möglich, detaillierte, georeferenzierte 3D-Modelle aus den Daten optronischer Sensoren zu erzeugen. Damit ergeben sich neue Möglichkeiten für die Bereiche Intelligence, Surveillance und Reconnaissance (ISR).

Die dreidimensionale Repräsentation der realen Welt bringt mit den neuen Möglichkeiten und Vorteilen auch neue Herausforderungen mit sich. Zum einen ist die Erzeugung der Daten aufwendig und zumindest für die in manchen Anwendungsfällen notwendigen Detailstufen auffälliger durch die Notwendigkeit von Aufnahmen aus der Nähe. Zum anderen ist der Umgang mit dreidimensionalen Daten nicht trivial und unterscheidet sich deutlich vom heute geläufigen Arbeiten mit fast ausschließlich zweidimensionalen Daten.

In Abbildung 1 ist auf der linken Seite ein nahezu senkrecht aufgenommenes Luftbild und auf der rechten Seite vier verschiedene Schrägansichten auf ein 3D-Modell der gleichen Region dargestellt. Obwohl diese Ansichten nur wenige von



Abb. 1: Links: Orthophoto, Rechts, vier verschiedene Ansichten eines rekonstruierten 3D-Modell der gleichen Region



Abb. 2: Virtuelle Begehung einer Szene in 1:1 Skalierung der Daten

nahezu beliebig vielen möglichen Ansichten darstellen, zeigt sich bereits, dass in dem 3D-Modell erheblich mehr Information enthalten sind, und dabei ist die hier nicht darstellbare Tiefeninformation noch nicht berücksichtigt. Somit können die neuen Potentiale nur erschlossen werden, wenn sowohl für die Darstellung der großen Datenmengen als auch für die Interaktion mit diesen geeignete Lösungen gefunden werden.

Um die größte Diskrepanz zwischen der verfügbaren Datenmenge und deren Darstellung zu beseitigen bietet sich VR als Darstellungsform an. Durch die stereoskopische Darstellung ist es möglich, einen realen Tiefeindruck zu vermitteln und somit dreidimensionale Daten wirklich dreidimensional wahrzunehmen. Durch VR ist es – entsprechende Datenqualität vorausgesetzt – zum Beispiel möglich, die Daten in ihrer Originalgröße darzustellen und somit eine virtuelle Begehung oder sogar Befliegung einer Szene zu ermöglichen (siehe Abbildung 2). Durch eine künstliche Begrenzung und Skalierung des betrachteten 3D-Raumes auf eine bestimmte Region wird eine Übersicht ermöglicht, welche sich besonders für eine gemeinsame Betrachtung der Daten eignet (siehe Abbildung 3). Dabei können auch andere Teilnehmer dargestellt werden und es wird ein intuitiver Austausch zwischen diesen möglich. Anders als in einer realen Umgebung ist es in VR auch möglich, dass Nutzer zwar gleichzeitig an denselben Daten arbeiten, sich jedoch in verschiedenen Darstellungsmodi befinden und über diese austauschen können. Abbildung 4 zeigt einen Teilnehmer am virtuellen Lagetisch, während ein anderer Teilnehmer sich in einer virtuellen Begehung der Daten befindet und mittels virtuellem Laserpointer ein Gebäude hervorhebt. Zudem ist es möglich, Messungen vorzunehmen oder Zusatzinformationen einzublenden (siehe Abbildung 5).



Abb. 3: Zusammenarbeit an skalierten, dreidimensionalen Daten



Abb. 4: Zusammenarbeit in verschiedenen Betrachtungsmodi



Abb. 5: Darstellung von georeferenzierten Zusatzinformationen

Um diese Formen von Darstellung und Interaktion zu ermöglichen, setzt Virtual Reality auf eine Immersion, die vor allem durch räumliches Tracking der Person durch ihr Headset und ihren Controller erreicht wird. Diese stellen dabei eine gänzlich andere Eingabeform dar als die meisten Personen heute von ihrem Alltag mit Maus und Tastatur gewöhnt sind. Da dreidimensionale Daten noch nicht allgegenwärtig sind und auch das Tragen des Headsets noch keine dauerhafte Alternative zu einem herkömmlichen Arbeitsplatz darstellt, ist es wichtig, einen einfachen Übergang zwischen den verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten sicherzustellen. Anders als in VR-Spielen üblich wurde daher die Funktionalität der Maus für die meisten Funktionen mit dem Controller emuliert, sodass in der grundsätzlichen Bedienung kein Umdenken zwischen der Interaktion am Desktop und in Virtual Reality nötig ist. Dies erlaubt einen intuitiven Wechsel in die virtuelle Welt für Fragestellungen, bei denen diese Form der Darstellung einen echten Mehrwert bietet.

Dr. Christelle Kieleck
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik
und Bildauswertung IOSB
Ettlingen

info@iosb.fraunhofer.de

Prof. Dr. Marc Eichhorn
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik
und Bildauswertung IOSB
Ettlingen

info@iosb.fraunhofer.de

Laserquellenforschung für optronische Gegenmaßnahmen (OGM) und Hochenergielaser (HEL)

Lasertechnologie spielt in den Bereichen EloKa und Schutz in Zukunft eine immer größere Rolle, besonders im für Aufklärung und OGM wichtigen kurzen und mittleren Infrarot (SWIR, MWIR) und als Wirklaser im SWIR. Das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung, IOSB erforscht Laserquellen als Bw-relevante nationale Schlüsseltechnologie und fokussiert sich dabei auf kritische Komponenten und Technologien auch zur Sicherung ihrer Verfügbarkeit.

Das IOSB erforscht die gesamte optronische Kette von Lichtquellen (mit Schwerpunkt auf Laser) über Lichttransport, Lichtwandlung und Bildinterpretation bis zur Informationsaufbereitung. Die Erforschung von leistungsgesteigerten Laser-Quellen im SWIR- und MWIR-Bereich für OGM und HEL wurde in den letzten Jahren signifikant erweitert und folgt aktuell vier wichtigen Hauptachsen: (1) Lasermaterialien und kritische Komponenten für Laserquellen, (2) Laser für optronische Gegenmaßnahmen, (3) Hochenergielaser und (4) numerische Modellierung und Simulation. Dabei zielt die erste Achse insbesondere auf die Erforschung kritischer Komponenten und Sicherung der technologischen Verfügbarkeit.

Der Themenbereich der Leistungssteigerung von SWIR Faserlasern und Faserverstärkern spielt eine besondere Rolle für OGM im MWIR durch Pumpen nichtlinearer Konverter sowie als Quelle für kohärent gekoppelte Laserquellen für HEL. Dabei werden insbesondere Thulium (Tm)- oder Holmium (Ho)-dotierte aktive Fasern untersucht und spezifische Komponenten wie Hochleistungs-Faser-Endcaps zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der Fasern und zur Maximierung der



Abb. 1: Gepulster 2 μm -Faserlaser im Betrieb. Das kleine Bild zeigt verschiedene End-cap Designs

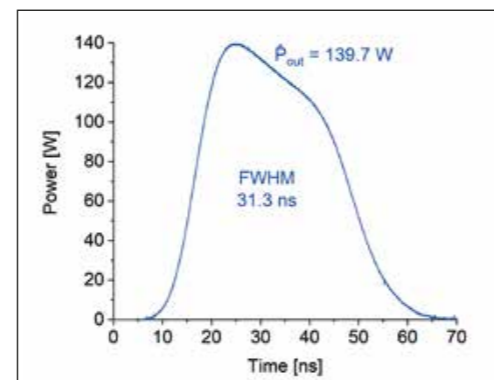


Abb. 2: Pulsleistung über Zeit eines schmalbandigen 2,09 μm Ho³⁺:silica-Faser-Vorverstärkers

Strahlqualität bei hoher Leistung erforscht (Abb. 1). So wurde mit einer Tm:Ho-dotierten Triple-Clad-Faser, welche eine besondere Glasstruktur besitzt, um Begrenzungen üblicher Doppel-Clad-Fasern zu vermeiden, bis zu 187 W im kontinuierlichen Betrieb im 2050 nm – 2090 nm Bereich realisiert, was einen wichtigen Meilenstein für zukünftige OGM und HEL darstellt. Im gepulsten Betrieb wurden bis 0.8 mJ in 40 ns Pulsen erreicht – eine Steigerung um einen Faktor zwei gegenüber dem bisherigen Stand der Technik. Dies ist insbesondere für kompakte MWIR-Quellen für neuartige OGM von Bedeutung.

Zur Leistungssteigerung von HEL-Quellen im 2 μm Wellenlängenbereich ist die kohärente Kopplung von vielen Einzelquellen von besonderer Bedeutung, da sie neben einem resilienten und robusten Aufbau eine Phasenkorrektur atmosphärischer Turbulenz ermöglicht. Dazu erforscht das IOSB schmalbandige einmodige Tm- oder Ho-dotierte Faserverstärker und deren Leistungsgrenzen, welche hier insbesondere durch nichtlineare Effekte begrenzt sind. So konnte in einem Testaufbau mittels Ho-dotierter Faser-Vorverstärker eine Verstärkung von > 1000 x auf 140 W Spitzenleistung ohne signifikante Brillouin-Streuung bei < 20 pm Einzelmoden-Linienbreite realisiert werden (Abb. 2). Daraus lassen sich wichtige Parameter zum Design einer schmalbandigen Faserlaserquelle > 10 kW Pulsspitzenleistung für OGM-Anwendungen und > 1 kW kontinuierlicher Leistung für zukünftige Untersuchungen der kohärenten Kopplung im HEL-Bereich ableiten.

Parallel zu weiteren experimentellen Aktivitäten wie beispielsweise der Untersuchung von nichtplanaren Resonatoren zur Verbesserung von Robustheit und Strahlqualität von Lasern

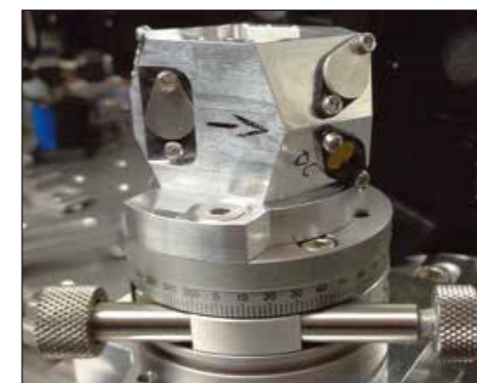


Abb. 3: Miniaturisierter FIRE-Resonator zur Verbesserung der Robustheit und der Strahlqualität eines OPO hergestellt am IOSB

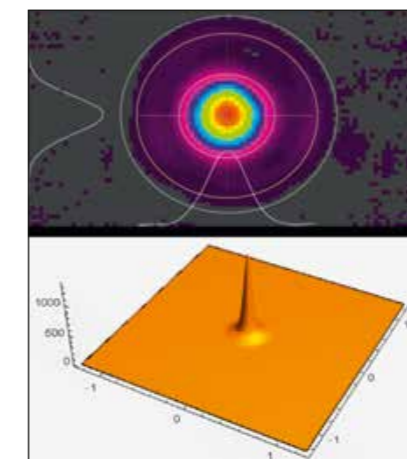


Abb. 4: Gemessenes und simuliertes Strahlprofil eines leistungsgesteigerten 2,09 μm Ho³⁺:YAG Lasers

und optisch-parametrischen Oszillatoren (OPO) (Abb. 3) erforscht das IOSB die numerische Modellierung und Simulation von Faserlasern, Festkörperlaser und nichtlinearen Konvertern für ein verbessertes Verständnis der zugrundeliegenden physikalischen Prozesse und zur Optimierung zukünftiger Designs und Systeme. So wurden neue Rechencodes zur Simulation komplexer Faserlaser- und Faserverstärkertopologien entwickelt. Ebenso wurden wichtige Fortschritte in der Simulation von Laserresonatoren und OPO mittels Feldpropagation erreicht, welche zusätzlich zur Laserdynamik und Laserleistung besonders wichtige Parameter wie beispielsweise die zu erwartende Strahlqualität eines gegebenen Designs berechnen (Abb. 4). Diese neuen Codes und Modelle erlauben eine gezielte Auslegung und Optimierung der Experimente und somit eine kosteneffiziente Erforschung komplexer Laseraufbauten.

Neben der grundlegenden Forschung und der Weiterentwicklung von Lasertechnologie fließen diese Arbeiten direkt in die Analyse- und Bewertungsfähigkeit des IOSB für das BMVg ein.

Dr. Matthias Boljen
Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Freiburg

info@emi.fraunhofer.de

Dr. Matthias Wickert
Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Freiburg

info@emi.fraunhofer.de

Virtuelle Menschmodelle und biofidele Dummies für die Sicherheit der Soldatinnen und Soldaten

Am Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie virtuelle Menschmodelle und biofidele Dummies für Sicherheit und Schutz von Soldatinnen und Soldaten eingesetzt werden können. Für dynamische Belastungen ergeben sich neuartige Möglichkeiten, die biomechanischen Abläufe in Simulation und Experiment zu berücksichtigen, wie exemplarisch am Beispiel der Dimensionierung von Körperschutzwesten illustriert wird.

Überlebenswichtige Schutzausrüstungsgegenstände wie insbesondere Körperschutzwesten können mithilfe numerischer Methoden im Hinblick auf dynamische Phänomene bei Beschuss zusammen mit dem menschlichen Körper als ein Gesamtsystem betrachtet werden. Virtuelle Menschmodelle erlauben derartige Betrachtungen, so dass bereits bei der Auslegung von Körperschutzwesten vorab analysiert werden kann, wie sich hochdynamische Vorgänge und auch Belastungen bei niedrigeren Dehnraten auf den menschlichen Körper auswirken. Hierbei kann ermittelt werden, ob und wenn ja, mit welchen Verletzungen beim Auffangen des Projektils durch die Schutzweste und der damit verbundenen stumpfen Stoßwirkung auf den Körper gerechnet werden muss.

Dazu hat das Institut ein Portfolio modernster Software-Lösungen als auch innovativer Hardware für Analysen aufgebaut, mit der sich derartige Belastungen in entsprechender Detailtiefe untersuchen lassen. Nicht nur wehrtechnische, auch Szenarien aus den Bereichen der Arbeitssicherheit, des Verkehrsunfallgeschehens und der Sportmedizin können hierbei erfasst werden.

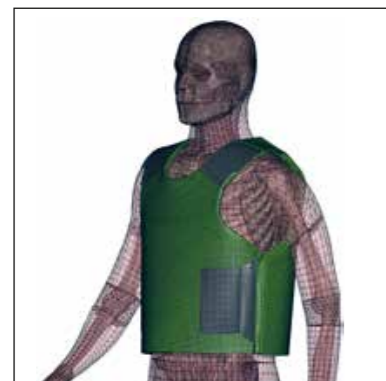


Abb. 1: Virtuelles Menschmodell GHBMC M50 mit angelegtem Modell einer Körperschutzweste

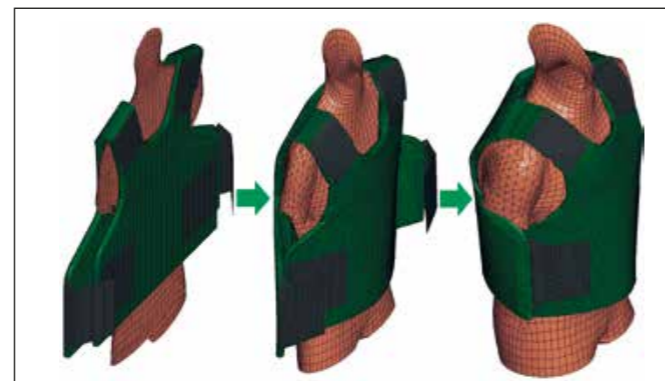


Abb. 2: Formsimulation des FE-Westenmodells aus einem zweidimensionalen Zustand in eine beliebige dreidimensionale Körperkontur für die anschließende Verwendung mit einem virtuellen Menschmodell

In der Vorberechnung kommen virtuelle Menschmodelle zum Einsatz, um die Auswirkungen von Stößen, Kollisionen und der stumpfen Stoßwirkung für aufgefangene Projektile analysieren zu können (Abbildung 1). Derartige Modelle bilden nicht nur die äußere Körperform, sondern auch Knochen, Muskeln, Sehnen sowie innere Organe und das Weichgewebe virtuell ab. Sie unterscheiden sich von den Berechnungsmodellen der aus dem Automobilbereich bekannten Crashtest-Dummies dadurch, dass sie das menschliche Gewebe direkt abbilden und nicht das technische Material des Messgeräts.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass sie universell anwendbar und nicht wie konventionelle Dummies einem genau definierten Crashlastfall vorbehalten sind. Herausfordernd ist aktuell die schnelle, effiziente Positionierung dieser im Umfang durchaus anspruchsvollen Modelle in die für den jeweiligen Zweck gewünschte Körperhaltung. Auch die Steuerung und die Abbildung unterschiedlicher muskulärer Spannungszustände sind Schwerpunkte aktueller Forschung.

Am Fraunhofer EMI wurde im vergangenen Jahr eine Methodik entwickelt, um Schutzkleidung und Ausrüstung in getragener Form direkt an den Körper des Trägers zu modellieren (Abbildung 2). Dadurch wird ermöglicht, Schutzkleidungsartikel wie Körperschutzwesten quasi unter Einsatzbedingungen rechnerisch zu untersuchen. Die am Fraunhofer EMI entwickelte Methode kann dazu beitragen, Schutzkleidung noch besser zu dimensionieren, potenzielle Schwachstellen zu identifizieren und durch die virtuelle Erprobung die Zahl der kostenintensiven Experimente zu reduzieren. Aktueller Arbeitsschwerpunkt am Institut ist die Befähigung der Rechnerinfrastruktur zur automatisierten Durchführung umfangreicher Simulationskampagnen mit

variierenden Eingangsparametern, um Antworten auf genau diese Fragestellungen zu ermitteln.

Experimentelle Unterstützung finden die Arbeiten durch eine neue Generation anthropomorpher Messgeräte, sogenannter „Biofidel-Dummies“ (Abbildung 3). Kennzeichen dieses ursprünglich für die Unfallrekonstruktion konzipierten Fußgänger-Dummies ist sein äußerst flexibles Einsatzspektrum und seine an den Menschen angepasste Versagensgrenze: Wenn die auf ihn einwirkenden strukturellen Belastungen diejenigen Grenzwerte überschreiten, an denen beim Menschen auch mit Verletzungen zu rechnen sind (z. B. Knochenbrüche, Bänderrisse), dann versagen die entsprechenden Bauteile des Hardware-Dummys.

Aktuell untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer EMI Möglichkeiten, Komponenten des Dummys gezielt zu verbessern, um Verletzungen bei Einwirkung stumpfer Gewalt genauer abbilden zu können (Abbildung 4). So eröffnen sich auch im Experiment Möglichkeiten, biomechanische Belastungen sehr spezifisch auf einen konkreten Lastfall hin zu analysieren, um geeignete Maßnahmen für die Sicherheit und den Schutz von Soldatinnen und Soldaten abzuleiten.



Abb. 3: Biofidel-Dummy mit angelegter Körperschutzweste inklusive Unterleib- und Halsschutz



Abb. 4: Numerisches und experimentelles Abbild eines menschlichen Brustkorbs im Vergleich. Links: Computermodell (GHBMC M50, Quelle: Elemance). Rechts: Hardware (Biofidel-Dummy Primus, Quelle: Crashtest-Service.com GmbH)

Sebastian Heß
Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik,
Ernst-Mach-Institut, EMI
Freiburg

info@emi.fraunhofer.de

Potenzial der Digitalisierung für die Gefechtsausbildung auf Truppenübungsplätzen mit scharfem Schuss

Das Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut untersucht, wie ein moderner, effektiver Übungsbetrieb auf Truppenübungsplätzen mit scharfem Schuss unter Nutzung von Sensorik und Methoden der Digitalisierung aussehen kann. Welche Eigenschaften und Potenziale treten hervor? Wie kann in einem digitalisierten Trainingsumfeld die Sicherheit dargestellt werden und im Vergleich zum aktuellen Stand erweiterten Anforderungen genügen?

In der Gefechtsausbildung sollen Soldatinnen und Soldaten möglichst realitätsnah auf Einsätze vorbereitet werden. Dazu üben sie auf Truppenübungsplätzen in vorgegebenen Szenaren im scharfen Schuss. Die Zieldarstellung, häufig durch Klappfallscheiben realisiert, ist bislang jedoch meist statisch und wird oft noch analog gesteuert. Eine dynamische Zielpräsentation, die in ein mögliches digitalisiertes Gefechtsübungssystem eingebunden ist, verspricht komplexere Szenare für eine intensivere Ausbildung.

Eine wesentliche Fragestellung lautet dabei: Welche Methoden können die Sicherheit von Übungsteilnehmenden und Unbeteiligten gewährleisten, wenn moderne Technologien wie ortsveränderliche, selbstbewegliche oder virtuell dargestellte Ziele für ein effektives Training genutzt werden?

Um die Gefährdung von Personen innerhalb oder außerhalb des Truppenübungsplatzes während einer Gefechtsübung möglichst gering zu halten, wird für jede Übung unter Berücksichtigung der eingesetzten Waffen und Munitionen sowie dem geplanten Übungsverlauf ein übungsspezifischer

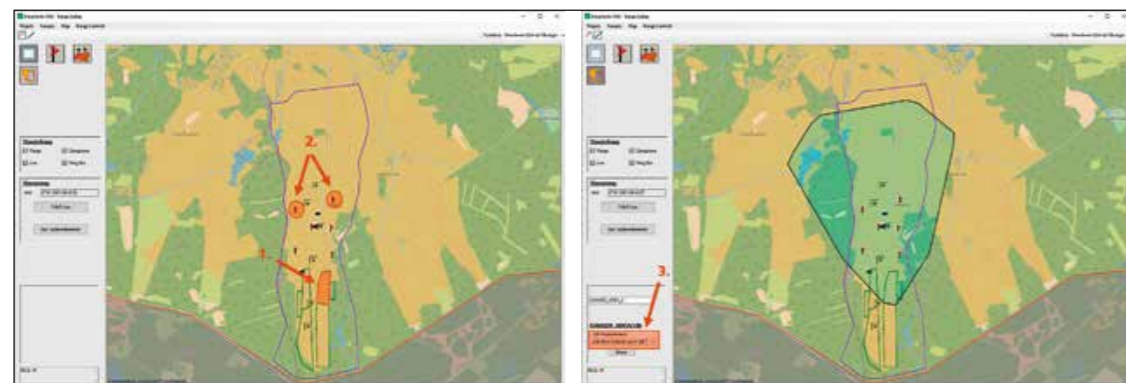


Abb. 1: Illustration des Ablaufs einer interaktiven Gefahrenbereichsberechnung mit dem EMI-Softwaretool zur Schießsicherheitsplanung am Beispiel eines Schießens aus einem vordefinierten Schießübungsraum mit G36 und Gefechtsmunition. Für die Berechnung ist lediglich die Auswahl eines Schießübungsraums, zweier Zielsektorkennzeichen (linkes Bild) sowie die Festlegung von Waffe und Munition (rechtes Bild) erforderlich, um den Gesamtgefahrenbereich (türkisfarbener Bereich im rechten Bild) automatisch zu ermitteln

Gefahrenbereich festgelegt. Die Gefahrenbereichsermittlung erfolgt meist noch händisch, ist zeitintensiv und daher wenig flexibel für Anpassungen.

Computerbasierte Methoden, wie das vom Fraunhofer EMI erarbeitete Softwaretool zur digitalen, vorschriftenkonformen Schießsicherheitsplanung, können diesen Prozess erheblich vereinfachen und flexibilisieren. Die schnelle, teilautomatisierte Berechnung von Gefahrenbereichen, die auch auf der Schießbahn mittels Tablet-Rechner durchgeführt werden kann, ermöglicht die rasche Variation der Eingangsparameter und ermöglicht die Planung auch komplexerer Übungsszenare. Die Einbeziehung von autonom manövrierenden Roboterzielen gestaltet die Zieldarstellung dynamisch und somit im Hinblick auf die Sicherheitsbetrachtung unübersichtlicher. Vor Ort einsetzbare Tools, wie die digitale Schießsicherheitsplanung und simulierte Übungsabläufe, können einen erheblichen Beitrag zur Gewährleistung der Schießsicherheit leisten.

Übende dürfen während eines Gefechtsschießens nur Schüsse in einen Bereich abgeben, der mit Hilfe von Zielsektorkennzeichen markiert wurde. Die Einhaltung dieser Vorgabe wird vor Ort durch Schießsicherheitspersonal überwacht, das den Übenden individuell zugeordnet ist. Dieser Überwachungsprozess könnte drastisch erleichtert werden, wenn die Position und Orientierung jeder beteiligten Handwaffe während des gesamten Übungszeitraums in Echtzeit erfasst und automatisch überwacht werden könnte.

Am Fraunhofer EMI wurden erste Konzepte für eine entsprechende Sensorik erarbeitet und als Funktionsillustrator aufgebaut. Als Grundlage wurde das modulare G36-Griffstück



Abb. 2: Erster Funktionsillustrator einer Handgriff-Sensorik zur Erfassung der räumlichen Orientierung einer Handwaffe am Beispiel des modularen G36-Griffstücks

benutzt, das an der persönlichen Ausrüstung der Soldaten für die Übung nachgerüstet werden könnte. Für diese Handgriffsensorik wurde bereits bei einer Übung demonstriert, wie „live“ Position und Orientierung der Waffe an ein übergeordnetes Command-and-Control-System übertragen wird. Die Erhöhung der technologischen Reife des Funktionsillustrators unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Forderungen ist Gegenstand aktueller Arbeiten.

Obige Aspekte sind Teile eines Konzepts für ein zukunftsfähiges Gefechtsübungssystem, welches Schießsicherheit, Übungsplanung, Übungssteuerung und -auswertung in einem ganzheitlichen Ansatz vereint. Die Erfassung und Analyse relevanter Übungsdaten, z. B. die Position von Übenden und Zielen, ist dafür ebenso von zentraler Bedeutung wie das Rückspiegeln dieser Information in den Übungsverlauf, um die Übung lageangepasst und interaktiv zu gestalten. Erste praktische Erfahrungen mit einem am Fraunhofer EMI entwickelten Gefechtsübungssystem zur grundlegenden Konzeptillustration sowie den Herausforderungen des Übungsalltags konnten im Rahmen eines Übungsdurchlaufs zusammen mit den Partnern vom Wachtbataillon und dem Fraunhofer IOSB in Wildflecken gesammelt werden.



Abb. 3: Am 01. 10. 2020 fand auf dem Truppenübungsplatz Wildflecken eine Testkampagne mit Gefechtsschießen statt, bei dem autonom manövrierenden Roboterziele und ein am Fraunhofer EMI entwickelter Konzeptillustrator eines digitalisierten Gefechtsübungssystems zum Einsatz kamen. Im Anschluss an den erfolgreiche Übungsdurchlauf stehen Experten aus dem Themenkomplex „Digitalisierung von Truppenübungsplätzen“ v. l. n. r. Dr. Siegfried Nau (Fraunhofer EMI), Frank Jaspers (WTD 91) und Brigadegeneral Andreas Henne (Kommando TA, Projektleiter Weiterentwicklung der Übungsplätze und Schießanlagen der Bundeswehr), dem Inspekteur der Streitkräftebasis, Generalleutnant Martin Schelleis, und dem interessierten Fachpublikum Rede und Antwort

Dr. Michael Caris
Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

Miniaturisiertes Millimeterwellen SAR auf kleinen Flugplattformen

MIRANDA35 ist ein am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR entwickeltes hochauflösendes Radar für die luftgestützte Aufklärung. Das System wurde für den Einsatz auf kleinen Flugplattformen miniaturisiert und die Leistungsfähigkeit deutlich erhöht. In einer Flugmesskampagne mit einem Ultraleichtflugzeug wurde die geänderte Konfiguration evaluiert und SAR-Daten in verschiedenen Messmodi gewonnen.

Der Einsatz von kleinen UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) zur Nahbereichsüberwachung und -aufklärung wird für die Bundeswehr voraussichtlich an Bedeutung gewinnen. Ein erhebliches Problem stellen jedoch die für solche Plattformen aktuell verfügbaren Sensoren (EO/IR) dar, die stark tageszeit- bzw. witterungsabhängig sind.

Mit fortschreitender Miniaturisierung und Leistungssteigerungen von Radarsensoren im Millimeterwellenbereich ist künftig auch der Einsatz bildgebender Radare (Synthetisches Apertur Radar/SAR) auf kleinen und kleinsten Flugplattformen realisierbar. Sie unterliegen nicht den o.g. Einschränkungen und können als Ergänzung oder alleiniger Sensor auf solchen Plattformen eingesetzt werden. Am Fraunhofer FHR wird bereits seit vielen Jahren der Einsatz von SAR-Systemen im Millimeterwellenbereich untersucht und kontinuierlich der Aufbau und die Weiterentwicklung der MIRANDA-Demonstratorfamilie vorangetrieben.

Das SAR-System MIRANDA35-4Rx wurde für den Einsatz in der luftgestützten Aufklärung auf bemannten Flugplattformen



Abb. 1: MIRANDA35-4Rx System im Wingpod des Ultraleichtflugzeugs „Delphin“. Zu erkennen sind die vier Empfangsantennen (links) und die Sendeantenne (rechts) des Radar-Frontends



Abb. 2: Start des FHR-eigenen Ultraleichtflugzeugs „Delphin“ auf dem Flugplatz Mönchsheide mit MIRANDA35-4Rx integriert in den neuen Wingpod



Abb. 3: Bodenstation (GCS) mit Telemetrie-antenne auf einem Feld südlich von Bad Breisig bei der 2020 Messkampagne mit dem Ultraleichtflugzeug „Delphin“

oder UAVs konzipiert. Der 35 GHz Sensor verfügt über eine Ausgangsleistung von 10 W und eignet sich für Flughöhen bis 3000 m über Grund. Für interferometrische und polarimetrische Messmodi wurde das Radarsystem mit vier Empfangskanälen ausgestattet und ermöglicht z. B. „Ground Moving Target Indication“ (GMTI). Die Bandbreite von 1,5 GHz erlaubt eine entfernungsunabhängige Auflösung von bis zu 10 cm und ermöglicht die Erfassung auch von sehr kleinen Strukturen. Das Radar-Frontend, das zugehörige Backend und die erforderliche Software wurden im Rahmen einer Kooperation mit der Armasuisse am Fraunhofer FHR entworfen, gebaut und kontinuierlich über mehrere Jahre weiterentwickelt. Das Sensorsystem wurde erfolgreich auf der schweizerischen Flugplattform Centaur, einer modifizierten DA-42, integriert und mehrfach im Rahmen von Flugmesskampagnen getestet.

Eine Besonderheit der MIRANDA-Systeme ist die Echtzeit-Prozessierung an Bord der Plattform, die auf einem schnellen, am Fraunhofer FHR entwickelten SAR-Algorithmus beruht. Über einen bidirektionalen Datenlink werden die prozessierten SAR-Bilder (Quicklook) sowie die wichtigsten Systemparameter live zur Bodenstation übertragen.

Im Jahr 2020 wurden Bauraum und Gewicht des vierkanaligen Sensorsystems erheblich reduziert und somit die Integration des Systems auf der kleinen Trägerplattform „Delphin“ (FHR-eigenes Ultraleichtflugzeug/UL) ermöglicht. Dies gelang durch einen neuen, sehr kompakten Aufbau des Systems, bei dem insbesondere Kabel- und Hohlleiterlängen verkürzt wurden. Das führte auch zu einer Reduzierung der Leistungsverluste und des Rauschens, so dass das System insgesamt performanter wurde. Eine besondere Herausforderung beim Wechsel auf

kleine (instabilere) Flugplattformen stellen die steigenden Anforderungen an die Bewegungskompensation dar. Diesem Umstand wurde durch eine optimierte Post-Prozessierung der IMU-Bewegungsdaten (Inertial Measurement Unit) und deren Einbindung in die offline SAR-Prozessierung Rechnung getragen.

Die Abb. 1 zeigt MIRANDA35-4Rx im Wingpod unter der Tragfläche des UL, mit den vier Empfangsantennen (links) und dem Sendehorn (rechts).

Im Herbst 2020 wurde mit dem überarbeiteten System eine Flugmesskampagne durchgeführt; die Abb. 2 zeigt das UL auf dem Flugplatz Mönchsheide. Im Mittelpunkt der SAR-Messungen standen die Forschungsschwerpunkte: Change Detection, GMTI, 3D-Abbildung, städtische Infrastruktur und polarimetrisches SAR. Es wurden insgesamt 75 Flugtracks mit unterschiedlichen Messmodi an verschiedenen Orten erflogen. In der Abb. 3 ist die Bodenstation abgebildet, aus der die Flugmessungen gesteuert und geleitet wurden. Die gewonnenen Messdaten werden derzeit prozessiert und zur Weiterentwicklung von System und Algorithmik ausgewertet. Die Abb. 4 zeigt ein polarimetrisches SAR-Bild der Mönchsheide bei einer Kalibrationsmessung.



Abb. 4: Polarimetrisches SAR-Bild (Rot: co-polar, Grün: cross-polar) des Flugplatzes Mönchsheide

Marie Charlotte Bornhöft
Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische
Trendanalysen INT
Euskirchen

detektion@int.fraunhofer.de

Thomas Lehmacher
Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien
– ABC-Schutz (WIS)
Munster

WISPosteingang@bundeswehr.org

UAV-basierte Neutronen- und Gammadetektion unter Verwendung neuartiger Szintillationsmaterialien

Die Detektion ionisierender Strahlung ist zum Schutz von Einsatzpersonal und zur Erstellung von Lagebildern von großer Bedeutung. Forschung im Bereich der Detektormaterialien und die Entwicklung neuartiger Szintillatoren ermöglichen durch eine gleichzeitige Detektion von Neutronen- und Gammastrahlung eine effizientere Detektion bei der luftgestützten Strahlungsüberwachung.

Zunehmende Unsicherheiten in der Welt führen in vielen Ländern dazu, dass diese militärisch wieder vermehrt aufrüsten und ihre Arsenale modernisieren. Dies gilt auch für Staaten, welche Kernwaffen besitzen, oder von denen vermutet wird, dass sie einen Besitz anstreben. Durch diese weltweite Entwicklung nimmt auch die Bedrohung durch den Gebrauch von Kernwaffen wieder zu, weshalb eine Vorbereitung auf entsprechende Einsatzszenarien unerlässlich ist.

Doch auch die Entwicklung im Bereich des Schutzes von Einsatzpersonal und Zivilbevölkerung schreitet voran, inklusive der Entwicklung von Detektoren für ionisierende Strahlung. Durch diesen Fortschritt kann vermehrt auf Technologien zurückgegriffen werden, welche den Menschen während der Erkundung und Erstellung von Lagebildern unterstützt, wie etwa durch die Verwendung von Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Diese ermöglichen nicht nur eine luftgestützte visuelle Lagebildererkennung, sondern können auch, ausgerüstet mit den entsprechenden Messgeräten, für eine Einschätzung von radiologischen Bedrohungen eingesetzt werden.



Abb. 1: UAV ermöglichen eine großflächige, luftbasierte Strahlungsüberwachung (Quelle: Pixabay.com)

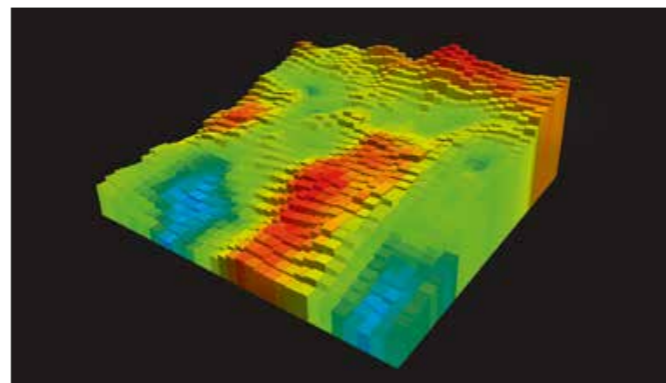


Abb. 2: Beispiel einer Heatmap, welche durch die per UAV gesammelten Strahlungswerte erstellt werden kann (Quelle: Shutterstock.com)

Bei der Auswahl von Messgeräten für die Montage unter UAV ist allerdings die Last- und Größenbeschränkung der UAV ein limitierender Faktor. Das Detektionsvermögen eines Detektors für ionisierende Strahlung hängt wesentlich von seiner intrinsischen Effizienz und dem Detektionsvolumen ab. Je höher die intrinsische Effizienz und je größer das Detektionsvolumen, desto genauer ist das Messergebnis und desto geringer ist die Schwelle, über der erhöhte Radioaktivität festgestellt werden kann.

Im Besonderen gibt es zwei Strahlungsarten, die für die radiologische Lageeinschätzung relevant sind: die Neutronenstrahlung und die Gammastrahlung. Diese zwei Strahlungsarten führen bei herkömmlichen Detektormaterialien dazu, dass die Lastbeschränkung des UAV auf zwei Detektoren – je einer pro Strahlungsart – aufgeteilt werden muss. Bereits jetzt gibt es kommerzielle Detektionssysteme, die für eine Verwendung unter einem UAV konzipiert sind. Durch die Lastbeschränkung werden hierbei allerdings in der Regel sehr kleine Detektionsvolumen genutzt, mit einem entsprechend geringerem Detektionsvermögen.

Entwicklungen im Bereich neuer Detektormaterialien ermöglichen nun die zeitgleiche Detektion von Neutronen- und Gammastrahlung unter Verwendung nur eines Detektormaterials. Der Einsatz dieser neuen Materialien ist gerade in Anwendungsbereichen, in denen die Größe oder das Gewicht von Detektoren limitiert ist, von Vorteil.

In einem aktuellen Forschungsvorhaben des Wehrwissenschaftlichen Institutes für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für

Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT wird ein Demonstrator eines Detektorsystems für die luftgestützte Überwachung unter Verwendung eines CLYC:Ce ($\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6:\text{Ce}$) Szintillationsmaterials entwickelt. Der CLYC:Ce Szintillator ermöglicht, sowohl Neutronenstrahlung als auch Gammastrahlung zu detektieren und erlaubt eine Separierung der Signale über eine Pulsformanalyse. Mit Hinblick auf die Verwendung an einem UAV werden bei diesem Vorhaben auch die Signalgewinnung und -auswertung betrachtet und hinsichtlich des Gewichtes optimiert. Exemplarisch hierfür ist die Verwendung eines Silizium-Photomultipliers zur Umwandlung der Szintillationsphotonen in ein elektrisches Signal, anstelle der weiter verbreiteten Photomultiplier-Röhre.

Aufgrund neuer Szintillationsmaterialien können in der UAV-basierten Strahlungsüberwachung neue Entwicklungen vorgebracht werden. Diese basieren auf einer Reduktion der Detektorkomponenten durch die zeitgleiche Detektion von Neutronen- und Gammastrahlung in nur einem Detektormaterial. Aufgrund der daraus folgenden Verringerung der Detektoreinheiten kann in Zukunft bei gleichem Gewicht ein verbessertes Detektionsvermögen durch eine Maximierung des Detektionsvolumens erreicht werden.



Abb. 3: Testaufbau der Silizium-Photomultiplier-Elektronik auf einem NE102A Szintillator

Dr. Ulrik Neupert
Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische
Trendanalysen INT
Euskirchen

info@int.fraunhofer.de

Hans-Martin Pastuszka
Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische
Trendanalysen INT
Euskirchen

info@int.fraunhofer.de

Wehrtechnische Zukunftsanalyse im internationalen Kontext zur Unterstützung langfristiger F&T-Planung

Das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT betreibt Technologievorausschau zu langfristigen technologischen Entwicklungen für die Bundeswehr und trägt damit zur langfristigen Planung der wehrtechnischen Forschung und Technologie (F&T) bei. Durch das Einbringen von Ergebnissen in den internationalen Austausch zu Zukunftstechnologien im Kontext militärischer Fähigkeiten werden eigene Arbeiten evaluiert und Erkenntnisse anderer Nationen für die nationale F&T erschlossen.

Am Fraunhofer INT widmet sich das Geschäftsfeld „Wehrtechnische Zukunftsanalyse“ der technologieorientierten Zukunftsforschung für den Geschäftsbereich (GB) des BMVg. Das zentrale Produkt ist die Wehrtechnische Vorausschau (WTV), die mit ihren vierteljährlich erstellten Technologie- und Zukunftskonzeptanalysen Beiträge zur Analyse- und Bewertungsfähigkeit des GB BMVg zu Zukunftstechnologien leistet (siehe ausführlich hierzu der Artikel „Technologievorausschau zur Unterstützung langfristiger F&T-Planung“ im Jahresbericht 2018).

Im Kontext der Entscheidungsunterstützung für die langfristige Planung wehrtechnischer F&T gibt es eine Vielzahl an internationalen Akteuren in der EU und der NATO, die in ihrer Zielrichtung Aspekte der F&T-Zukunftsanalyse abdecken und zu deren Weiterentwicklung beitragen. In dieser Community hat sich das Fraunhofer INT zu einem etablierten, gut vernetzten und gefragten Akteur für Technologievorausschau entwickelt.

So nimmt das INT regelmäßig am „Technology Watch & Foresight Network“ der European Defence Agency (EDA) und dessen



Abb. 1: Technologievorausschau im F&T-Planungsprozess der EDA (Abkürzungen: CapTech: EDA Capability Technology groups, SRA: Strategic Research Agenda(s), OSRA: Overarching Strategic Research Agenda, KSA: Key Strategic Activities, CARD: Coordinated Annual Review on Defence, CDP: Capability Development Plan, pMS: participating Member States; Quelle: EDA)

Workshops teil und trägt dort zum Austausch von methodischen „Best Practices“ und der Frage, wie Technologievorausschau Beiträge zur F&T-Planung der Mitgliedstaaten der EDA leisten kann, bei (Abb. 1). Darüber hinaus unterstützt das INT gelegentlich im Auftrag des BMVg in der EDA-AG zur Identifikation kritischer Verteidigungstechnologien. Schließlich leistet das INT, zusammen mit seinem spanischen Kooperationspartner Isdefe, seit 2015 auch kontinuierlich Beiträge zur Implementierung von Technologievorausschau-Aktivitäten in der EDA selbst, finanziert durch das Budget der EDA, mit der Durchführung von Foresight-Workshops zu ausgewählten Technologiethematen.

Im Jahr 2020 erschien der neue NATO-Report „Science & Technology Trends: 2020 – 2040“, der die aktuellen sog. „Emerging and Disruptive Technologies“ wie z. B. Künstliche Intelligenz, Robotik oder Hypersonische Waffen adressiert und ihre zu erwartende Entwicklung prognostiziert. Auch hier war das INT im Vorfeld in vorbereitende Workshops einbezogen (Abb. 2). Weiterhin hat sich das INT im Rahmen der Vorausschau-Methodenentwicklung seit 2016 in der NATO-STO-Research Task Group SAS-123 „Futures Assessed alongside Socio-Technical Evolutions“ (FATE) engagiert sowie beim Allied Command Transformation (ACT) in Workshops zur „Strategic Foresight Analysis“ (SFA) der NATO.

Ebenfalls seit 2016 sind zwei Wissenschaftler des INT Mitglieder der „Independent Scientific Evaluation Group“ (ISEG) der NATO-Forschungsprogramms „Science for Peace and Security“. In diesem Programm werden die wissenschaftliche Forschung, technologische Innovation und Wissensaustausch zwischen NATO-Mitgliedsstaaten und Partnernationen geför-

dert. Die Hauptaufgabe der ISEG besteht in der Bewertung von Forschungsanträgen sowie gutachterlichen Begleitung der geförderten Forschungsaktivitäten. Durch diese Berufung hat das INT vertieften Einblick in diese technologiegetriebenen NATO-Aktivitäten erhalten, was auch zur Vervollständigung des Zukunftslagebilds und des Wissens über relevante internationale Forschungsakteure am INT in der Unterstützung der nationalen F&T-Planung beiträgt.

Es hat sich gezeigt, dass diese internationale Vernetzung und Bewertung der Relevanz von technologischen Entwicklungen und Trends für Streitkräfte dem INT und damit der Bundeswehr eine externe Qualitätssicherung durch Abgleich und Ergänzung von Methoden und Ergebnissen der Vorausschau ermöglicht. Das INT hat so erfolgreich die Schnittstelle zwischen nationalen und internationalen Vorausschauaktivitäten im Verteidigungsbereich etabliert, und über die Mitwirkung in diesen Gremien zunehmend Kompetenz aufgebaut, die internationale Forschungslandschaft für die Bundeswehr zu analysieren und auch Anknüpfungspunkte an nicht-technische Aspekte (ethische, rechtliche und gesellschaftliche Implikationen neuer Technologien) zu benennen.



Abb. 2: NATO-STO-Report „Science & Technology Trends 2020 – 2040“ (Quelle: NATO)

Dr. Michael Kunzer
Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF
Freiburg

info@iaf.fraunhofer.de

Diamantbasierte Quantensensorik zur Aufklärung von HF-Signalen

Aufgrund des raschen Fortschritts der Quantentechnologie zeichnen sich schon jetzt eine Reihe zukünftiger militärischer Anwendungen ab. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von Stickstoff-Vakanz-Zentren in Diamant zur Erfassung und Aufklärung komplexer und agiler Hochfrequenz-Signale (HF) in Echtzeit. Derartige Sensoren sind für die Ortung und Kategorisierung von Radarquellen im Rahmen der elektronischen Aufklärung (ELINT) von zentraler Bedeutung.

Die passive Erfassung, Ortung und Verfolgung schnell veränderlicher HF-Signale bzw. -quellen, wie sie in modernen Kommunikations- und Radarsysteme verwendet werden, erfordert Echtzeitbandbreiten im Bereich von mehreren GHz in Verbindung mit sub-ms-Zeitauflösung. Dies ist notwendig, damit das Zeit-Frequenz-Verhalten der Signale analysiert und kategorisiert werden kann. Als Beispiel für eine ELINT-Plattform der Bundeswehr ist in Abbildung 1 ein Flottendienstboot der Oste-Klasse dargestellt. Ein weiteres Beispiel sind Radarwarner (RWR/ESM) in Flugzeugen, die aus der Signatur der aufgenommenen Radarpulse auf Distanz, Richtung, Geschwindigkeit und den Typ der Bedrohung schließen.

Die übliche Signalanalyse mittels digitaler Fast-Fourier-Transformation ist aufgrund des hohen Rechenaufwandes auf eine Echtzeitbandbreite von ca. 100 MHz begrenzt. Als ergänzende Technik ermöglicht die heterodyne Abwärtskonversion eine breite spektrale Abdeckung. Bei der Detektion kurzer Pulssequenzen nimmt jedoch die Nachweiswahrscheinlichkeit ab, weshalb dieses Verfahren nicht Echtzeitfähig ist. Daher sind beide Techniken für die Anforderungen der elektronischen



Abb. 1: Flottendienstboot der Oste-Klasse mit ELINT-Fähigkeiten (Quelle: Bundeswehr/Björn Wilke)

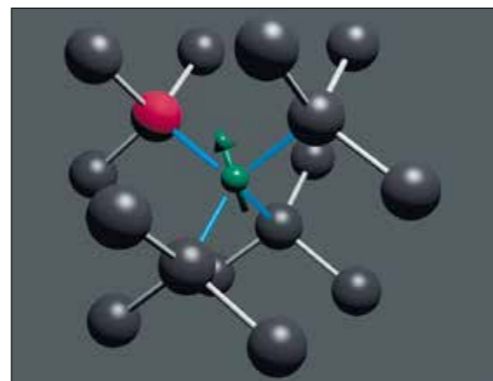


Abb. 2: Stickstoff-Vakanz-Zentrum (NV) im Diamant mit S=1 Elektronenspin (Quelle: FhG IAF)

Aufklärung nur bedingt ausreichend. Insbesondere für die Erfassung und Aufklärung von aktiv phasengesteuerten Radaren (AESA) und frequenzmodulierten Dauerstrichradaren (FMCW) gelangen die herkömmlichen Verfahren an ihre Grenzen.

Für militärische Anwendungen ist bei den Quantentechnologien besonders die Quantensensorik (QS) von hohem Interesse, deren Ziel die Messung physikalischer Größen mit hoher Empfindlichkeit, Dynamik und geringem Rauschen ist. Aufgrund des hohen technologischen Potentials, der Integrationsfähigkeit, der Robustheit sowie der Fähigkeit zum Betrieb bei Raumtemperatur beschäftigt sich das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF intensiv mit Quantensensoren auf Basis von Stickstoff-Vakanz-Zentren in Diamant (siehe Abb. 2). Im Bereich der Magnetometrie erlauben diese bereits die Vermessung statischer Magnetfelder mit Empfindlichkeiten im $\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ -Bereich bei Raumtemperatur und bieten gleichzeitig eine hohe räumliche Ortsauflösung. Die Messung des Magnetfeldes erfolgt dabei durch optisch-detektierte magnetische Resonanzspektroskopie (ODMR).

Bei bekanntem statischen Magnetfeld kann in Umkehrung dieses Verfahrens auch die Frequenz und Amplitude eines unbekanntes HF-Signals bestimmt werden. Damit erlaubt die ODMR-Technik den Nachweis und die Analyse der spektralen Komponenten von HF-Signalen im optischen Spektralbereich, wodurch das Auslesen der Sensorchips mit handelsüblichen, leistungsfähigen Zeilenkameras erfolgen kann. Dieses Verfahren eignet sich daher hervorragend zur Analyse komplexer, schnell veränderlicher Radar- oder Kommunikations-Signale.

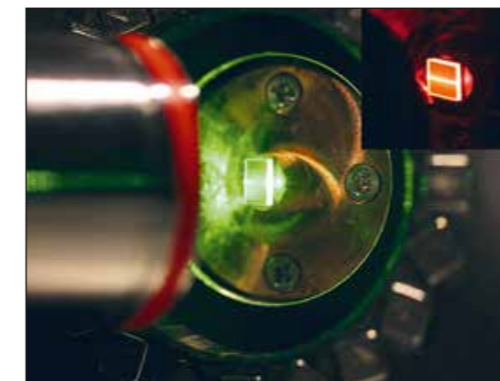


Abb. 3: Optisch gepumpter HF-Sensor-Chip aus Diamant und rote NV-Photolumineszenz (Einsatz, oben rechts) (Quelle: FhG IAF)

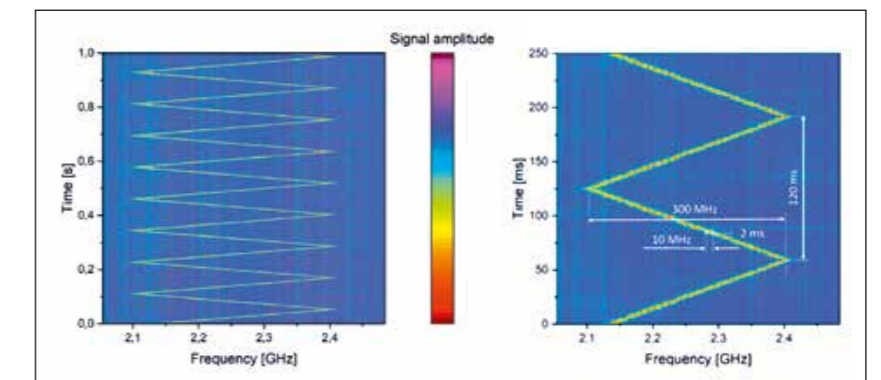


Abb. 4: Spektrogramm eines FMCW-artigen HF-Signals (links). Der Zeitausschnitt (rechts) zeigt die 300 MHz Modulation und die Zerlegung des Signals in 2 ms lange Pulse mit einem Frequenzabstand von 10 MHz

Aufgrund der hohen Ortsauflösung liegt der große Vorteil der Quantensensorik mit Diamant in der fast unbegrenzten Parallelisierung. So können auf einem einzelnen Diamant-Sensorchip ausgedehnte NV-Ensemble zur Detektion von hunderten voneinander getrennten Frequenzkanälen realisiert werden. Diese werden flächig mit einem grünen Laser angeregt (siehe Abb. 3). Aus der räumlichen Verteilung der entstehenden roten Photolumineszenz (Einsatz Abb. 3) kann ohne weitere Signalverarbeitung direkt optisch das Frequenzspektrum erfasst werden. Dabei konnte am Fraunhofer IAF bereits eine Echtzeitbandbreite von über 1 GHz demonstriert werden, während die Zentralfrequenz des zu analysierenden Frequenzbandes im Bereich von 0,7 – 6 GHz eingestellt werden kann.

Um das Frequenz-Zeit-Verhalten agiler, breitbandiger HF-Signale in Echtzeit zu erfassen, ist eine hohe Ausleserate des Sensorchips erforderlich. Dynamische Kameras erlauben dies parallelisiert mit einer Zeitauflösung unter 100 μs . In Abb. 4 ist im oberen Teil das Spektrogramm eines FMCW-artigen Signals im S-Band dargestellt. Aus dem Spektrogramm lassen sich direkt die technischen Parameter und damit die Signatur entnehmen. Ein Ausschnitt der Zeitachse (Abb. 4, unten) zeigt einzelne Pulse mit einem Abstand von 10 MHz und einer Dauer von 2 ms. Diese Parameter sind Ausgangspunkt für die Kategorisierung der Radarquelle, können aber auch zur Erstellung spezifischer elektronischer Gegenmaßnahmen genutzt werden.

Auf Galliumnitrid (GaN) basierende integrierte Millimeterwellen-Verstärker mit hoher Effizienz

Integrierte Schaltungen mit hoher Leistungseffizienz sind wesentliche Bausteine für Millimeter-Wellen-Transceiver-Systeme der nächsten Generation. Die Funktionalität der monolithisch integrierten Millimeterwellen-Schaltungen (MMICs) kann durch Integration von Leistungsverstärkern, rauscharmen Verstärkern sowie Schaltern für den Frequenzbereich oberhalb 20 GHz signifikant gesteigert werden.

In militärischen Funksystemen für die digitale Nachrichtenübertragung werden Sendefrequenzen im Millimeter-Wellen-Bereich oberhalb von 20 GHz zunehmend interessant, um dem steigenden Bedarf an Bandbreite und Übertragungskapazität Rechnung zu tragen. Ebenso sind hohe Sendeleistungen und eine zunehmende Funktionalität bei geringer Leistungsaufnahme essentiell, um vorteilhafte Systemlösungen zu erhalten. Diese Anforderungen können durch die Verwendung von GaN-basierten MMICs in besonderem Maße erfüllt werden.

Durch die hohe Komplexität der Signalformen (z. B. bei LTE-Signalen) in der modernen drahtlosen Nachrichtenübertragung ist es nicht länger ausreichend, lediglich bei maximaler Sendeleistung eine hohe Effizienz des Leistungsverstärkers zu erreichen. Stattdessen ist es in realen Übertragungs-Szenarien vorteilhaft, auch im „back-off“ Betrieb des Verstärkers bei niedrigeren Leistungspegeln eine sehr hohe Leistungseffizienz zu erzielen, um die Effizienz des Gesamtsystems zu maximieren. Für diese optimierten Betriebsbedingungen ist die Entwicklung von komplexen Verstärker-Architekturen, wie z. B. Doherty-Verstärkern, notwendig. Im Vergleich zu kon-

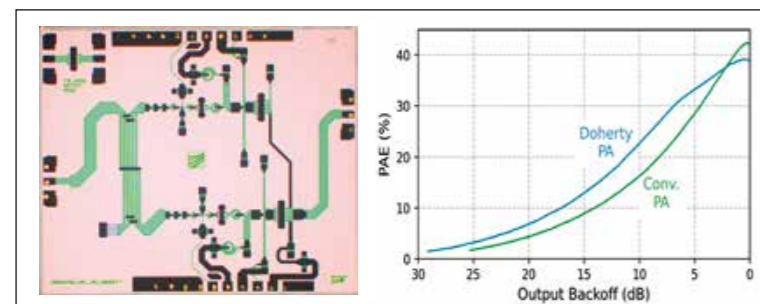


Abb. 1: 26-GHz GaN Doherty Verstärker (links) und die entsprechende Leistungseffizienz in Abhängigkeit des „back-offs“ in dB (blaue Kurve im rechten Diagramm). Im Vergleich dazu ist die Effizienz eines konventionellen Verstärkers unter gleichen Betriebs-Bedingungen dargestellt (grüne Kurve)

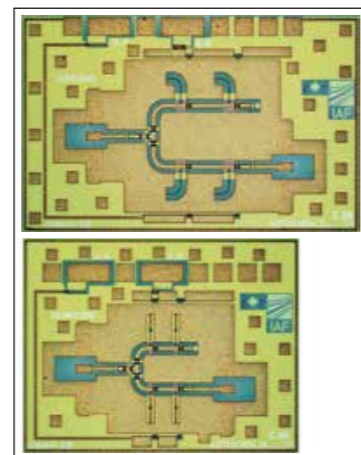


Abb. 2: D-Band (oben) und H-Band (unten) GaN Schalter-MMICs

ventionellen Verstärkern ermöglicht der Doherty-Ansatz, aufgrund der variablen Lastbedingungen der Verstärker, eine Optimierung der Leistungseffizienz (Power-Added-Efficiency, PAE) unter „back-off“ Bedingungen. Das Fraunhofer-Institut für angewandte Festkörperphysik IAF verfügt über ausgewiesene Kompetenzen, um solche effizienz-optimierten Millimeter-Wellen-Verstärker in Doherty-Architektur zu entwerfen und in Form von monolithisch integrierten Schaltungen zu demonstrieren. Wie in Abbildung 1 dargestellt, konnten mit einem GaN-Doherty-Verstärker bei einer Frequenz von 26 GHz eine PAE von mehr als 35 % bei einer Ausgangsleistung von 3 W und einem „back-off“-Betrieb von 4 dB erzielt werden. Die gemessenen PAE-Werte zeigen dabei eine bis zu 10 % höhere Effizienz als konventionelle Klasse-AB-Verstärker vergleichbarer Größe. Die Chipgröße solcher Schaltungen beträgt typisch 3 mm x 3 mm. In Abbildung 2 sind als weitere Beispiel-MMICs hochfrequente Schalter dargestellt, die für Frequenzen im D-Band (170 GHz) bzw. im H-Band (220 GHz) entworfen und in der Fraunhofer IAF GaN-Technologie hergestellt wurden.

Die Leistungsfähigkeit der MMICs hinsichtlich des Energieverbrauchs und der benötigten Chipfläche ist wesentlich durch die Möglichkeit der Integration verschiedener Komponenten auf einem Chip bestimmt. Wichtige Beispiele von integrierten Millimeter-Wellen-Schaltungen sind analoge Frontends, die aus Leistungsverstärkern, rauscharmen Verstärkern und Hochfrequenz-Schaltern bestehen, und damit die bidirektionale Übertragung von Nachrichtensignalen in einem Send- und einem Empfangspfad in einem Chip kombinieren. Dank der Entwicklungen in den letzten Jahren beginnen die GaN-Technologien den Vorsprung konventioneller Silizium-Technologien hinsichtlich des Integrationsgrades in analogen Front-Ends

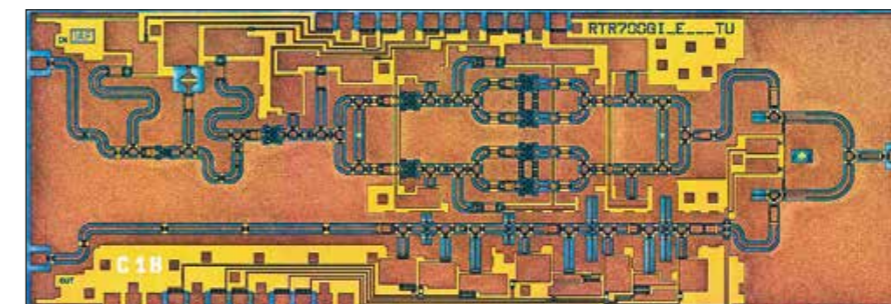


Abb. 3: Chip-Foto des ersten analogen integrierten E-Band Front-End GaN-MMICs

zu verringern, bei gleichzeitig besseren Leistungsdaten aufgrund des verwendeten Halbleitermaterials GaN.

Das Fraunhofer IAF ist mittlerweile in der Lage, vollständig integrierte Front-End-Schaltungen für drahtlose Übertragungssysteme mit hoher Datenrate herzustellen. In Abbildung 3 ist ein analoger GaN Front-End MMIC für das E-band (71 – 86 GHz) zu sehen, in dem GaN-Leistungsverstärker, Schalter und rauscharme GaN-Verstärker auf einem Halbleiterchip kombiniert sind, um leistungsfähige Module für Millimeter-Wellen-Transceiver Systeme der nächsten Generation zu realisieren.

Basierend auf den durchgeführten Simulationen während des Schaltungsentwurfs wird eine Ausgangsleistung von mehr als 500 mW und eine Rauschzahl von weniger als 4 dB erwartet. Hervorzuheben ist die geringe Baugröße des MMICs mit einer Breite von unter 1,5 mm, welche die Verwendung von Frontend Schaltungen in phasengesteuerte Gruppenantennen für die elektronische Strahlformung ermöglicht, da mehrere Bausteine in solch einer parallelen Systemarchitektur integriert werden können. Abbildung 4 zeigt eine potentielle Plattform für die am IAF entwickelten GaN-MMICs für militärische Kommunikationsanwendungen.



Abb. 4: Mögliches Einsatzszenario für die am IAF entwickelten GaN-MMICs für Kommunikationsanwendungen (Quelle: FHS Förder- und Hebesysteme GmbH)

Echtzeit-Evaluation von Funkkommunikationssystemen auf unterschiedlichen Protokollschichten

Für eine zukunftsfähige mobile taktische Kommunikation benötigt die Bundeswehr moderne, netzwerkfähige Funkkommunikationssysteme. Um die fundierte Evaluation dieser Systeme durch eine realitätsnahe Nachbildung der Funkkanäle im Labor zu unterstützen, wurde in Zusammenarbeit mit der WTD 81 der Multi-Layer Simulator entwickelt.

Für die Einheiten der Bundeswehr ist ein übergreifender und interoperabler Kommunikationsverbund auf der mobilen taktischen Ebene lebenswichtig. Die eingeführten Systeme sind jedoch nicht für eine durchgängig IP-basierte Kommunikation (Internet Protocol) ausgelegt und lassen sich bestenfalls nur mit erheblichen Aufwand in einen solchen Verbund integrieren. Das Programm „Digitalisierung Landbasierte Operationen (D-LBO)“ soll hier Abhilfe schaffen und die Fähigkeitslücke durch die Beschaffung moderner, netzwerkfähiger Funkkommunikationssysteme schließen. Bei der begleitenden Bewertung unterschiedlicher Systeme ist neben Feldtests die Untersuchung im Labor ein essentieller Bestandteil. Dabei ist es wichtig, die Bedingungen der späteren Anwendung möglichst realitätsnah nachzubilden. Doch speziell bei MANET-fähigen Systemen (Mobile Ad-Hoc Netzwerke), wie sie im V/UHF-Bereich heute Stand der Technik sind, ist das mit einem größeren Aufwand verbunden. Ein MANET verfügt typischerweise über eine Vielzahl von Verbindungen zwischen den einzelnen Teilnehmern, deren Korrelationen ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Hinzu kommt, dass sich die Funkkanaleigenschaften in einem mobilen Netzwerk kontinuierlich ändern.

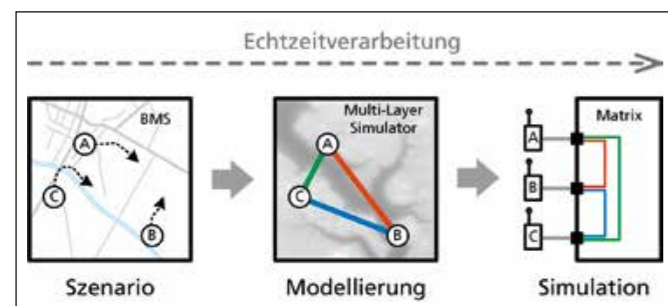


Abb. 1: In einem Szenario werden die Positionsdaten der Teilnehmer über die Zeit festgelegt (z. B. mittels eines Battle Management Systems – BMS), der Multi-Layer Simulator berechnet daraus in Echtzeit die Kanaleigenschaften zwischen den Teilnehmern, eine Verbindungsmatrix stellt die Verbindungen zwischen den Geräten im Labor entsprechend dieser Vorgaben ein

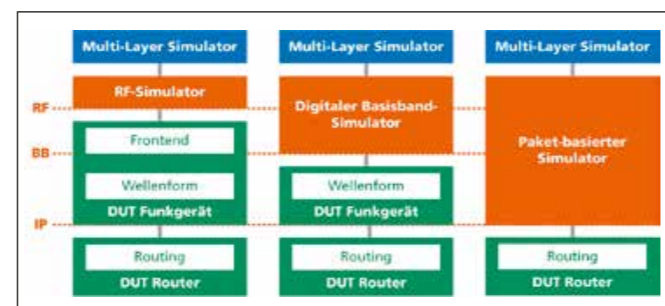


Abb. 2: In Abhängigkeit der verwendeten Verbindungsmatrix können konsistente Tests auf unterschiedlichen Ebenen (RF – Radio Frequency, BB – Basisband, IP – Internet Protocol) durchgeführt werden. Die Kanaleigenschaften kommen in allen drei Fällen aus dem Multi-Layer Simulator

Am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS wurde daher in Zusammenarbeit mit der WTD 81 der Multi-Layer Simulator (MLS) entwickelt, der die Kanaleigenschaften der MANET-Verbindungen basierend auf den Positionsdaten der Teilnehmer sowie den gewünschten Simulationsbedingungen in Echtzeit berechnet. Dies ermöglicht die Verwendung des MLS in einem Testaufbau mit dynamischer Positionsdaten-Erzeugung (z. B. mittels eines Battle Management Systems – BMS oder per Skript definiert).

Die Aufgabe des MLS in einer Simulationskette ist in Abbildung 1 dargestellt. Der MLS erhält die Positionsdaten der Teilnehmer aus dem Szenario, übernimmt die Modellierung der Funkkanäle zwischen den Teilnehmern und gibt diese an eine Verbindungsmatrix weiter. Diese stellt wiederum die Verbindungen zwischen den zu testenden Geräten wie beispielsweise Funkgeräten, entsprechend der Vorgaben durch den MLS, ein.

In Abbildung 2 sind die unterschiedlichen Anwendungen für dieses Konzept dargestellt. Die linke Spalte zeigt eine Konfiguration für Tests, bei denen Funkgeräte über einen RF-Simulator (Radio Frequency) verbunden sind. Die Untersuchung erfolgt hier auf der analogen Hochfrequenz-Ebene. In der mittleren Spalte ist ein Test mit Funkgeräten ohne analoges Frontend

zu sehen. Ein Beispiel hierfür sind die SVFuA-Grundgeräte (SVFuA: Streitkräftegemeinsame verbundfähige Funkgeräteausrüstung), die hier über einen digitalen Basisband-Simulator verbunden sind. Die Untersuchung des Prüflings, in diesem Fall die Verarbeitungseinheit mit der Wellenform, erfolgt dabei auf der Basisband-Ebene. In der rechten Spalte wird die Übertragungsstrecke inklusive Frontend und Wellenform in einem Paket-basierten Simulator nachgebildet. Dadurch sind Untersuchungen von Routing-Protokollen für eine sehr große Anzahl von Teilnehmern möglich, die auf der IP-Ebene durchgeführt werden können. Dieses Konzept ermöglicht es, dass sich in Abhängigkeit der verwendeten Verbindungsmatrix (analoger RF-Simulator, digitaler Basisband-Simulator oder Paket-basierter Simulator) konsistente Tests auf verschiedenen Ebenen (RF, Basisband oder IP) durchführen lassen. In allen Fällen werden die Kanaleigenschaften durch den Multi-Layer Simulator berechnet, daher auch die Bezeichnung Multi-Layer.

Abbildung 3 zeigt den MLS in einem typischen Testaufbau zusammen mit Positionsdaten-Erzeugung und unterschiedlichen Verbindungsmatrizen zur Evaluation von Funksystemen.



Abb. 3: Testaufbau zur Echtzeit-Evaluation von Funkgeräten mit den Prüflingen, dem Multi-Layer Simulator mit Verbindungsmatrizen und der Positionsdatenerzeugung (von links nach rechts – Quelle: Fraunhofer IIS/Paul Pulkert)

Dr. Volker Gettwert
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

Dr. Michael Weinert
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

Munitionsbrandschutzkonzepte zur Verbesserung der Sicherheit

Munitionsverpackungen bieten nur einen begrenzten Schutz vor Brand- und Hitzeentwicklung. Nach kurzer Zeit erreichen die Innentemperaturen kritische Werte und es kommt zur Reaktion der verpackten Treib- und Explosivstoffe. Zur Verbesserung des Munitionsbrandschutzes wird in Bonfire-Tests die Schutzwirkung von dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen in unterschiedlichen Konzepten untersucht.

Bei der Lagerung und dem Transport von Munition gilt es Gefahren zu minimieren. Während man bei der Lagerung einen Schutz durch bauliche Maßnahmen herstellen kann, ist dies beim Transport auf Schiffen, LKWs und Flugzeugen kaum möglich. Brände können durch technische Defekte, Unfälle oder Anschläge entstehen. Insbesondere letzterem sind die Soldatinnen und Soldaten in asymmetrischen Konflikten bei Auslandseinsätzen ausgesetzt, die mit einfachen Mitteln wie IEDs oder Autobomben ausgeführt werden können.

Während im zivilen Bereich der Brandschutz in Normen geregelt ist, sind analoge Vorschriften für den Brandschutz von Munition im militärischen Bereich nicht vorhanden. Hier erfolgt lediglich eine Klassifizierung der Munition aus dem Verhalten in Cook-Off Tests. Eine Bewertung der Zeit bis zur Auslösung oder der Schutzwirkung der Verpackung findet nicht statt.

Intumeszierende Brandschutzbeschichtungen, auch Dämmschichtbildner genannt, finden im Baubereich eine breite Anwendung. Bei Hitzeentwicklung bildet sich ein isolierender



Abb. 1:
Bonfire-
Test



Abb. 2:
Brennende
KIMU aus Holz



Abb. 3: KIMU
mit Umverpackung
(unbeschichtet)

Schaum aus und schützt das Substrat vor der Hitzeentwicklung eines Brandes. Solche Beschichtungen wurden am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT speziell für die Anwendung auf Holz weiterentwickelt und zum thermischen Schutz von Munition eingesetzt. Dabei wurden zwei Schutzkonzepte untersucht: zum einen die direkte Beschichtung von Munitionskisten (KIMU) aus Holz und Metall und zum anderen der Einsatz einer beschichteten Holzumverpackung, die die eigentliche KIMU enthält.

Zum Vergleich der unterschiedlichen Schutzkonzepte wurden in den letzten Jahren als Brandszenarien Bonfire-Tests (Abb. 1) an beschichteten und umverpackten KIMUs aus Holz und Metall durchgeführt. Als Vergleich dienten dabei die unbeschichteten Kisten (Abb. 2). Die Umverpackung (Abb. 3) besteht aus einer einfachen Holzkiste, die analog zu den Munitionskisten mit einer Brandschutzbeschichtung beschichtet wurde.

Bei der unbeschichteten Metallkiste steigt die Innentemperatur erwartungsgemäß schnell an (Abb. 4) und erreicht nach wenigen Minuten nach Anzündung des Holzstapels die für eine Munitionsauslösung angenommene 200 °C Grenze. Ähnlich verhält sich anfänglich die beschichtete Metallkiste. Bis zur Ausbildung des isolierenden Schutzschaumes (Abb. 5, 6) steigt die Innentemperatur kurzzeitig bis knapp unter den Schwellenwert und fällt dann auf 120 – 150 °C ab, bis nach ca. 30 Minuten die Schutzschicht versagt. Eine vergleichbare Schutzzeit bei deutlich niedrigeren Temperaturverlauf am Ort der Munition wird mit der Umverpackung erreicht.

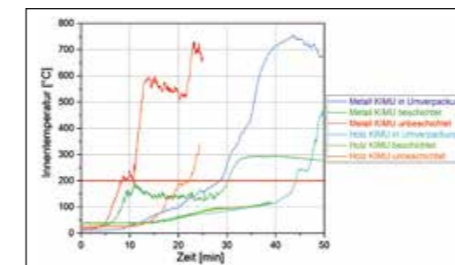


Abb. 4:
Verlauf der Temperaturen
im Inneren der KIMUs



Abb. 5:
Schutzschaumbildung
auf Munitionskiste



Abb. 6:
KIMU aus Metall
nach Bonfire-Test

Der Temperaturanstieg (Abb. 4) in der KIMU aus Holz verläuft ähnlich wie in der Metallkiste, tritt aber mit einer zeitlichen Verzögerung auf. Sehr niedrige Innentemperaturen zeigen die beschichtete und umverpackte KIMU, bei denen der Inhalt etwa 35 Minuten lang einer Temperatur von unter 100 °C ausgesetzt ist und damit in einem für die meisten Munitionstypen unkritischen Temperaturbereich liegt. Erst nach 40 – 50 Minuten werden Temperaturen von 200 °C erreicht.

Anstelle einer einfachen Umverpackung könnten universell einsetzbare, modular aufgebaute Umverpackungen für Europaletten Anwendung finden. Konzeptentwürfe hierfür wurden entwickelt. Die Vorteile eines solchen Systems sind die Wiederverwendbarkeit und keine Gewichtszunahme der KIMU.

Durch die Anwendung von Brandschutzbeschichtungen in unterschiedlichen Konzepten zum Schutz von Munitionskisten lässt sich die Sicherheit im Falle einer Brand- oder Temperatureinwirkung erhöhen, indem die Zeiten, bis ein Ereignis eintritt, verlängert werden oder bei begrenzten Brandszenarien eine Reaktion der Munition verhindert wird. Die Arbeiten haben gezeigt, dass bei KIMUs aus Holz vergleichbare Schutzwirkungen durch eine direkte Beschichtung oder eine Umverpackung erzielt werden, wobei bei einer Metallkiste die Umverpackung deutliche Vorteile gegenüber einer Beschichtung aufweist.

Dr. Dusan Boskovic
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

Dr. Stefan Löbbecke
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Pfinztal

info@ict.fraunhofer.de

Mikroreaktoren für die sichere und effiziente Herstellung von Explosivstoffen

Der Einsatz der kontinuierlichen Mikroverfahrenstechnik in der chemischen Prozesstechnik bietet eine einzigartige Kontrolle der wichtigsten Prozessparameter, eine erhöhte Sicherheit und potenziell Zugang zu neuen Prozessfenstern. Trotz geringer Reaktionsmasse kann bei Synthesen energetischer Materialien ein hoher und insbesondere skalierbarer Durchsatz erzielt werden.

Hohe Leistung und gleichzeitig niedrige thermische und mechanische Empfindlichkeit sind seit jeher substantielle Anforderungen an energetische Materialien wie Explosivstoffe aber auch energetische Binder und Weichmacher. Entscheidende Verbesserungen dieser Eigenschaften können meist durch die Entwicklung und den Einsatz neuer chemischer Komponenten erreicht werden. Zudem erfordern nationale und internationale Regularien zunehmend den Ersatz umwelt- und gesundheitsschädlicher Substanzen. Die Herstellung und Evaluierung neuer Komponenten sind daher unverändert wichtige Bestandteile der Explosivstoffforschung, bei denen innovative Methoden der chemischen Prozesstechnik viel Potenzial im Hinblick auf Prozessintensivierung und Sicherheit bieten.

Am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT werden kontinuierliche Prozesstechniken auf Basis von Mikroverfahrenstechnik entwickelt, in denen mikrostrukturierte Reaktoren zum Einsatz kommen. Diese bestehen entweder aus einem oder einer Vielzahl von parallelen Strömungskanälen mit lateralen Abmessungen im Bereich von einigen hundert



Abb. 1: Mikroreaktor aus Glas mit passiven Mischstrukturen



Abb. 2: Laboraufbau für das Reaktionsscreening mit spektroskopischer Prozessverfolgung mittels Lichtleitertechnik

Mikrometern bis wenigen Millimetern (Abb. 1). Die kleinen Querschnitte gekoppelt mit der resultierenden großen spezifischen Oberfläche erlauben es, stark exotherme Reaktionen unter thermisch kontrollierten Bedingungen sowie Mischungssensitive Reaktionen bei stark verbessertem Stofftransport durchzuführen. Die Vorteile der Mikroverfahrenstechnik lassen sich besonders für Prozesse mit hohem Gefährdungspotenzial wie der Explosivstoffsynthese nutzen – sei es, um sehr starke Wärmetönungen abzufangen, Neben- und Zersetzungsreaktionen zu unterdrücken oder um toxische, explosive und anderweitig labile Produkte und Intermediate in kleinen Reaktorvolumina und bei kurzen Standzeiten sicher zu prozessieren.

Der Einsatz von Mikroreaktoren beginnt bereits im Labormaßstab, wodurch insbesondere in Kombination mit spektroskopischen und kalorimetrischen Prozessanalysetechniken ein effektives und sicheres Reaktions- und Prozessscreening möglich ist. Die Prozesse werden dazu in unterschiedlichsten Spektralbereichen (UV, Vis, NIR, IR, Raman) mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung verfolgt (Abb. 2). Innerhalb kurzer Zeit können auf diese Weise unterschiedliche Prozessbedingungen untersucht und im Hinblick auf verschiedene Zielgrößen wie Ausbeute, Selektivität oder Produktivität optimiert werden.

Basierend auf Laboruntersuchungen erlaubt die Mikroverfahrenstechnik eine schnelle Skalierung der Produktionskapazitäten. Dies kann in einem gewissen Maß durch Maßstabsvergrößerung oder durch Parallelisierung von Reaktionskanälen erreicht werden, wodurch Hindernisse, die beim Scale-up in der klassischen Reaktionstechnik



Abb. 3: Mikroreaktor-Anlage für die kontinuierliche Synthese und Produktaufbereitung von flüssigen Explosivstoffen im Kilogramm-Maßstab

üblicherweise auftreten, minimiert werden. Am Fraunhofer ICT wurde beispielsweise ein Mikroreaktorprozess entwickelt, der seit einigen Jahren routinemäßig für die Herstellung von flüssigen Explosivstoffen im Kilogramm-Maßstab eingesetzt wird (Abb. 3). Die Anlage verfügt über umfangreiche Sicherheitsvorrichtungen und wird vollständig ferngesteuert und überwacht. Eine modulare Bauweise erlaubt die kontinuierliche Synthese als auch die nachfolgende Aufarbeitung energetischer Materialien, beispielsweise unterschiedlicher Nitratester, die für die Entwicklung neuer Explosiv- und Treibstoffformulierungen bereitgestellt werden können.

Trotz sehr kleiner fluidischer Strukturen wird die Mikrofluidik am Fraunhofer ICT auch für die Herstellung von Mikropartikeln und Mikrokapseln eingesetzt. Diese werden auf Basis von Emulsionen gebildet, wobei die exakte Kontrolle über die Tropfengröße und anschließende Kristallisation oder Polymerisation die Herstellung monomodaler sphärischer Partikel erlaubt (Abb. 4). Dies kann sowohl für die Formgebung als auch die Herstellung oder Verkapselung von Explosivstoffpartikeln angewendet werden.

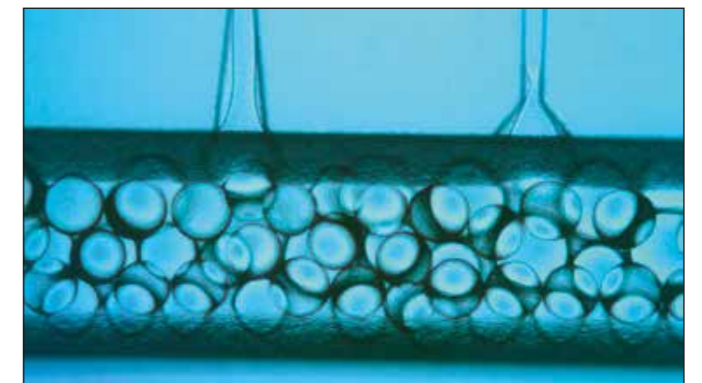


Abb. 4: Hochdurchsatz-Herstellung von Emulsionen, Polymerpartikeln und Mikrokapseln in einem Mikrokanal (Mikroskop-Aufnahme)

Dr.-Ing. Erwin Lindermeir
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Methodik der Fernerkundung
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

Thomas Krauß
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Methodik der Fernerkundung
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

Ein Geländemodell für die IR-Signaturberechnung mit MIRA

MIRA (Model for InfraRed scene Analysis) ist ein Infrarot (IR) Signaturmodell für Flugzeuge. Es wurde am DLR Institut für Methodik der Fernerkundung im Rahmen mehrerer DLR-interner Projekte entwickelt, die sich mit dem Entwurf und der Bewertung von Kampfflugzeug-Konfigurationen beschäftigen. Im letzten Jahr wurde dieses Modell um ein Geländemodell zur Darstellung des Hintergrundes erweitert.

Für die Bewertung von IR-Signaturen kommt es vor allem auf den Unterschied zwischen der von einem Objekt emittierten Strahlung und der Strahlung des Hintergrundes an. Es ist also der Kontrast zwischen Hintergrund und Ziel, der sowohl die Detektion als auch die Verfolgung eines Ziels ermöglicht oder verhindert. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Struktur des Hintergrundes. Die Erfassung eines Objektes vor einem homogenen Hintergrund, sei es der kalte, klare Himmel oder gleichförmiger und gleichmäßig warmer Boden, ist eine sehr einfache Aufgabe. Ist der Hintergrund aber strukturiert, sind also z.B. die Temperaturen am Boden sehr variabel, so wird die Detektionsaufgabe schon schwieriger.

Um realistische Aussagen über die Detektion zu erhalten, muss ein IR-Signaturmodell daher nicht nur die Emission des Flugzeugs, sondern auch den Einfluss des Hintergrundes berücksichtigen. Dabei sollte der Hintergrund möglichst realistisch modelliert werden. In Bezug auf den Boden lassen sich heutzutage sowohl digitale Höhenmodelle als auch Bodenbedeckungskarten mit Hilfe von Satellitendaten gewinnen. Zudem ist es mit entsprechenden Daten auch möglich, Gebäude



Abb. 1: Erstellung des Oberflächenmodells für einen Teil Hamburgs (c) aus Geländemodell (a), Gebäudemodellen (b) und Baumkataster (nicht dargestellt)



Abb. 2: Materialinformation abgeleitet aus einem Satellitenbild Hamburgs. Farbkodierte Materialkarte zu Abb. 1 (c): Rot: Ziegeldächer, Blau: Wasser, Hellgrün: Gras, Dunkelgrün: Bäume, Hellgrau: Beton, Dunkelgrau: Straße

bis hin zu ganzen Städten in das Modell aufzunehmen. Im Folgenden wird anhand eines Ausschnitts der Stadt Hamburg eine Übersicht über das dazu nötige Vorgehen gegeben.

Die IR-Simulation benötigt neben der Geländeform auch die Kenntnis der Materialien und der Temperaturverteilung. Um diese Daten zu erhalten, wird zuerst ein Oberflächenmodell aus einem Geländemodell, Gebäudedaten und einem Baumkataster erzeugt (Abb. 1). Damit können die Schatten und die Sonneneinstrahlung für beliebige Tage und Uhrzeiten berechnet werden. Die Materialinformation wird aus einem Satellitenbild, hier des WorldView-4-Satelliten, abgeleitet (Abb. 2).

Basierend darauf erfolgt die thermische Simulation. Dabei werden die Absorption von direkter und diffuser Sonneneinstrahlung, die thermische Abstrahlung sowie Wärmeleitungsprozesse berücksichtigt. Absorption und Emission sind hierbei abhängig von der Neigung der Oberflächen und dem Schattenfall. Abb. 3 zeigt Ergebnisse einer solchen Simulation in Form von Temperaturprofilen in der Luft über Tonziegeln (Dächer) bzw. im Material (Ziegel) darunter.

Mit diesem Hintergrundmodell wird dann die Berechnung der IR-Signatur bzw. des Kontrastes durchgeführt. Dabei ist der Einfluss der Atmosphäre zu berücksichtigen. Diese dämpft die Strahlung vom Boden sowie die vom Flugzeug zum Sensor. Die Atmosphäre emittiert aber auch selbst IR-Strahlung. Beide Effekte werden in MIRA unter Verwendung des Atmosphärenmodells MODTRAN berücksichtigt.

In gleicher Weise wirken die Gase im Abgasstrahl. Allerdings ist deren Einfluss wegen der höheren Temperaturen stärker.

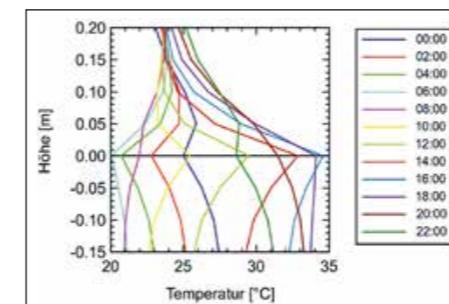


Abb. 3: Thermische Simulation: Vertikale Temperaturprofile am 15.06. (alle 2 Stunden). Tonziegel (Dächer) auf Höhe 0, darüber Luft, darunter Ziegel

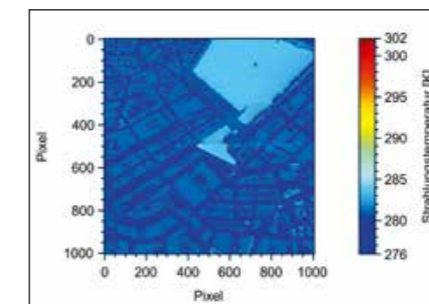


Abb. 4: Flugzeug über der Stadt Hamburg. Flughöhe 1 km, Geschwindigkeit Mach 0,5, Simulationszeit: 05.10., 04:00 UTC (Hamburg Zentrum, Binnentalster)

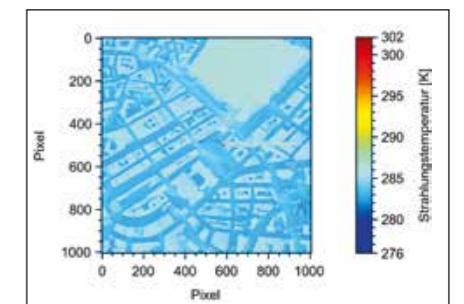


Abb. 5: Flugzeug über der Stadt Hamburg. Flughöhe 1 km, Geschwindigkeit Mach 0,5, Simulationszeit: 05.10., 11:00 UTC

MIRA berücksichtigt auch diesen Effekt mit einem spektralen Bandenmodell, das speziell für hohe Temperaturen entwickelt wurde.

Die Abb. 4 und 5 zeigen zwei mit MIRA berechnete IR-Signaturen eines „Nurflüglers“, der im DLR Projekt „Diabolo“ entwickelt wurde. Die Oberflächentemperaturen des Flugzeugs und die Zusammensetzung des Abgasstrahls wurden vom DLR Institut für Antriebstechnik zusammen mit dem Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik bestimmt. In der IR-Simulation fliegt der Nurflügler 1 km über der Stadt mit einer Geschwindigkeit von Mach 0,5. Die Kamera mit einem Gesichtsfeld von $3,6^\circ \times 3,6^\circ$ ist 1 km vom Flugzeug entfernt und misst im Spektralbereich $3,3 \mu\text{m} - 5,0 \mu\text{m}$.

Die Kontraste zu den Abb. 4 und 5 unterscheiden sich fast um den Faktor 2. Um 04:00 UTC, wenn der Hintergrund noch kalt ist, beträgt der Strahlstärkekontrast $9,4 \text{ W/sr}$. Um 11:00 UTC hat die Sonne die Stadt erwärmt. Der Kontrast beträgt nun nur noch $5,0 \text{ W/sr}$. Eine Detektion ist daher schwieriger.

Diese Arbeiten erlauben es nun, wesentlich realistischere Bewertungen von IR-Signaturen durchzuführen. Somit wurde das DLR IR-Signaturmodell MIRA wesentlich verbessert.

Dipl.-Ing. Sergej Blem
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Köln

info-pks@dlr.de

Dr.-Ing. Patrick Gruhn
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Köln

info-pks@dlr.de

Adaptiver Lufteinlauf für Abwehr-Flugkörper mit Staustrahltriebwerk

Flugkörper mit luftatmenden Antrieben werden meist mit feststehenden Antriebskomponenten, wie z. B. dem Lufteinlauf, ausgestattet. Solche erzielen ihre maximale Effizienz nur im Auslegungspunkt. Ein adaptiver Lufteinlauf hingegen kann sich an die aktuell vorhandene Flugbedingung anpassen und somit eine hohe Effizienz über einen deutlich größeren Flugbereich realisieren.

Eine vielversprechende Antriebstechnologie für zukünftige moderne Abwehrflugkörper ist die Nutzung von Staustrahlantrieben (Ramjets). Diese Antriebsart ermöglicht zum einen höhere Reichweiten als herkömmliche Feststoffantriebe, zum anderen bietet der durchgehend angetriebene Flug eine höhere Einsatzflexibilität im Falle einer notwendigen Anpassung des Abfangpunktes. Einen wichtigen Einfluss auf die Antriebsleistung des Staustrahltriebwerks hat der Lufteinlauf. Dieser fängt die für die Verbrennung erforderliche Luft auf und komprimiert diese aerodynamisch auf den notwendigen Druck. Jedoch arbeitet ein geometrisch feststehender Einlauf nur unter Auslegungsbedingungen im optimalen Betriebspunkt. Eine Abweichung von den Auslegungsbedingungen, z. B. infolge von Flugmanövern, führt zur Leistungsabnahme des Einlaufs und unweigerlich auch zur Verschlechterung der Antriebsleistung des Staustrahltriebwerks.

Ein adaptiver Einlauf hingegen bietet eine größere Unabhängigkeit der Antriebsleistung von während des Flugs auftretenden unterschiedlichen Flugbedingungen bzw. Betriebszuständen. Solch ein Einlauf kann kontinuierlich seine Geometrie an die



Abb. 1: Vollrotationssymmetrisches Einlaufmodell mit ausgefahrenem (oben) und eingefahrenem (unten) Zentralkörper

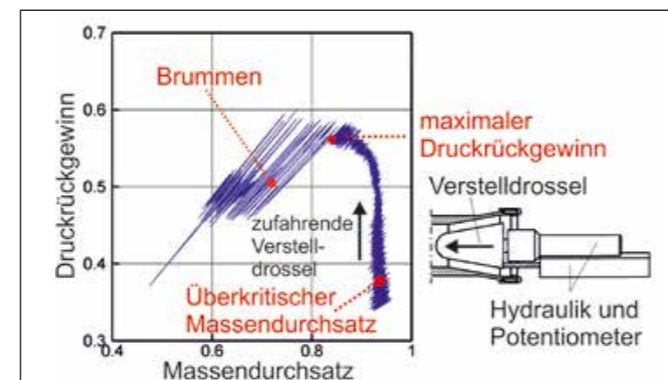


Abb. 2: Typische Leistungskennlinie eines Lufteinlaufs

Anströmbedingungen anpassen, um einen möglichst optimalen und vor allem stabilen Betrieb des Staustrahltriebwerks zu gewährleisten.

Das DLR untersucht das Potential solcher adaptiven Einläufe im Rahmen seiner grundfinanzierten Aktivitäten zu Flugkörpertechnologien. Aktuell steht ein vollrotationssymmetrischer Lufteinlauf für einen (generischen) Abwehrflugkörper, welcher im hohen Überschall bis in den Hyperschall hinein operiert, im Vordergrund. In Abb. 1 ist das am Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik untersuchte Windkanalmodell eines Lufteinlaufs, der über einen transversal verstellbaren Zentralkörper verfügt, dargestellt. Von diesem Lufteinlauf wurden Leistungskennlinien, auch Drosselkurven genannt, über einen Machzahlbereich von 2,5 bis 6,0 und bei verschiedenen Anstellwinkeln ($\alpha = 0^\circ$ und $\alpha = 3^\circ$) ermittelt. Der Gegendruck der Brennkammer wird dabei über eine verstellbare Drossel stromab des Einlaufs simuliert. Eine typische Leistungskennlinie als Funktion des erzielten Druckrückgewinns über das Massendurchsatzverhältnis der aufgefundenen Luft ist in Abb. 2 dargestellt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Betriebsverhaltens eines Lufteinlaufs ist sein Startverhalten. Dieses bestimmt zum einen die Transitions-machzahl, d.h. die Machzahl ab welcher der Staustrahltriebwerk operieren kann, und zum anderen die Fähigkeit zum erneuten Starten des Antriebes im Falle eines Aussetzens („blockieren“). Daher wurde das Startverhalten ebenfalls experimentell analysiert. Hierbei wurde der Zentralkörper bei oben genannten Machzahlen stromabwärts verfahren, bis die Innenverdichtung so groß wird, dass sich ein Stoß vor dem Einlauf bildet, der der Einlauf blockiert. Durch das anschließende

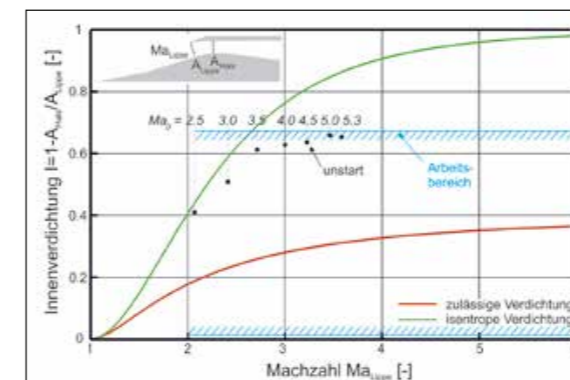


Abb. 3: Betriebsverhalten des Einlaufs bei steigender Innenverdichtung

Bewegen des Zentralkörpers stromaufwärts konnte der Betriebspunkt bestimmt werden, in dem die Durchströmung des Einlaufs wieder aufbaut. In Abb. 3 sind die so ermittelten maximal erzielbaren Innenverdichtungen des Einlaufs über die Anströmmachzahl dargestellt.

Ferner konnte durch das Verfahren des Zentralkörpers experimentell gezeigt werden, dass dem Eintreten von Druckschwankungen, auch als „Brummen“ bekannt (s. Schlierensequenz des Brummens in Abb. 4), mittels eines adaptiven Einlaufs entgegengewirkt werden kann. Einlaufbrummen gehört zu den Phänomenen, welche aufgrund der mit ihnen einhergehenden dynamischen Belastung zu strukturellem Versagen führen können und daher zu vermeiden sind.

Die Erkenntnis dieser und auch früherer Untersuchungen an 2D-Einläufen können auch auf andere Einlauf-typen, wie z. B. halbro-tationssymmetrische Einläufe, übertragen werden und können insgesamt dazu dienen, die Leistungen zukünftiger mit Staustrahlantrieben versehener Abwehrflugkörper zu verbessern und deren Einsatzflexibilität noch weiter zu erhöhen.

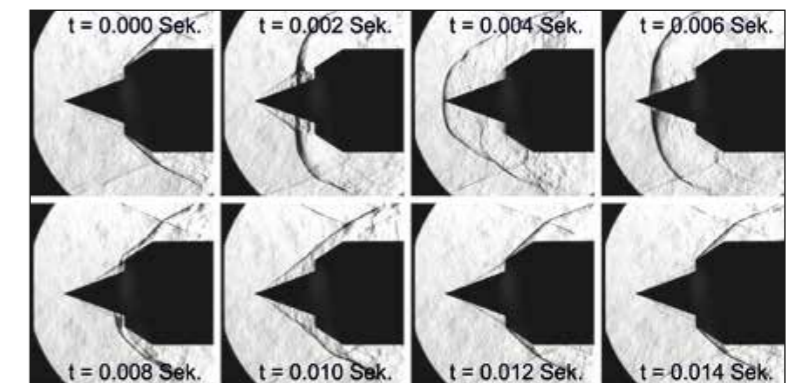


Abb. 4: Schlierensequenz des vollrotationssymmetrischen Einlaufs im Brummzustand

Stefan Andreas Ritt
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
Stuttgart

info-pks@dlr.de

Florian Höfer
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
Stuttgart

info-pks@dlr.de

Drohenschlag auf Hubschrauberscheiben

Zunehmend werden Drohnen in der Nähe von Hubschraubern gesichtet. Für Hubschrauber im Einsatz stellt auch die absichtlich herbeigeführte Kollision mit einer Drohne eine mögliche Gefahr dar. Ziel ist es, die Gefährdung von Piloten durch Drohnenschlag im Vergleich zum Vogelschlag zu bewerten. Dazu werden überprüfte Computermodelle sowohl der Struktur als auch der Drohne und des Vogels eingesetzt.

Die Randbedingungen dieses Forschungsgebiets werden durch zulassungsrechtliche Anforderungen und kommerzielle Entwicklungen gesetzt. Die Vogelschlagsicherheit ist seit vielen Jahren eine „harte Forderung“ für mittlere und schwere Hubschrauber im Rahmen der Lufttüchtigkeitsanforderungen der EASA CS-29. Der Nachweis muss dabei mittels eines 1 kg schweren Vogels bei der maximalen Fluggeschwindigkeit geführt werden, wobei unkritische Beschädigungen jedoch erlaubt sind. Ein mögliches Drohnenschlag-Szenario resultiert daraus, dass neuerdings Kleindrohnen sehr stark im gleichen Luftraum wie Hubschrauber und Vögel vertreten sind.

Für die Bewertung eines Drohnenschlags wurde eine parametrische Modellierung von Multicoptern aufgebaut. Abgeleitet und dann validiert wurde das Modell mit dem am weitest verbreiteten Quadcopter (vier Arme/Rotoren) inklusive seiner Komponenten Akkumulator (Abb. 1) und Motoren (Abb. 2). Auch im Bereich des Vogelschlags wurden Modelle parametrisch erzeugt, um damit künstliche Vögel unterschiedlicher Massen und Formen zu generieren. Die Form ist zwar von echten Vögeln abgeleitet, sie ist aber bislang nicht standardi-

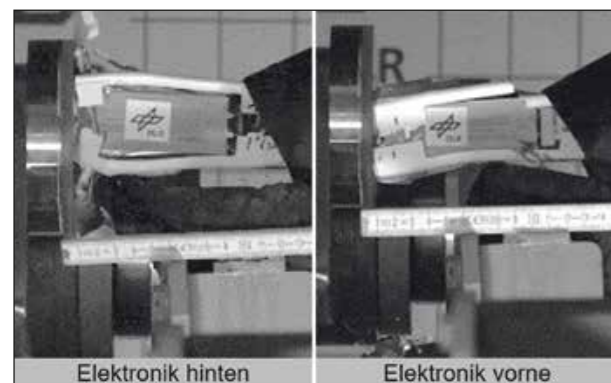


Abb. 1: Aufprallmessung eines Akkumulators einer Kleindrohne bei etwa 110 km/h mit unterschiedlicher Orientierung

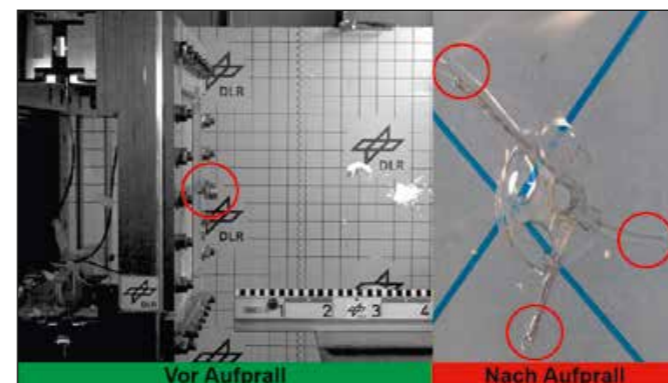


Abb. 2: Aufprall des Motors einer Kleindrohne bei etwa 580 km/h auf eine Polycarbonatscheibe von 6 mm Dicke mit Perforation und Rissen

siert. Die Normierung ist eines der Themen in der vom DLR initiierten internationalen Arbeitsgruppe SAE G-28. Dort wird auch die DLR eigene Forschung zu einem verstärkten Kunstvogel (reinforced artificial bird, RAB) eingebracht, der auf die in der Industrie und Forschung übliche Formen übertragbar ist (Abb. 3). Der Kunstvogel vereinfacht die Versuche und ermöglicht darüber hinaus Ergebnisse, die im Vergleich zum Echtvogel eine höhere Reproduzierbarkeit aufweisen.

Neben der Modellierung der Impactoren in der numerischen Simulation konzentriert sich die Forschung auch auf die Berechnung von realistischen Impact-Szenarien auf Strukturen. Dafür sind besonders effiziente Ansätze notwendig, um eine Vielzahl von möglichen Lastfällen berechnen zu können. Die Validierung erfolgt dabei über Bauteilversuche, die zunehmend durch numerische Simulationen vor- und nachbereitet werden (Abb. 4).

Grundlage der Forschungsarbeiten ist die mechanische Charakterisierung, die bei Details beginnt und über Komponenten bis zum Vollmaßstab geht. Dabei wird die Energiedissipation sowohl der fliegenden Struktur als auch des auftreffenden Fremdkörpers betrachtet, da beide für die Schädigung verantwortlich sind. Trotz der vergleichbaren Masse von Kleindrohne und Vogel ist die Materialbeschaffenheit dieser beiden Impactoren sehr unterschiedlich.

Die Forschung am DLR konzentriert sich auf die häufig von Vogelschlag betroffene Frontscheibe. Beim Werkstoff liegt der Fokus insbesondere auf Polycarbonat. Dieses Material weist sehr gute mechanische Eigenschaften auf, muss zur Erreichung von Härte und UV-Beständigkeit jedoch beschichtet werden.

Die erste industrielle Anwendung zielte auf den schnellen Hubschrauber RACER ab, für den das DLR einen Scheibendemonstrator entwickelte.

Dieser Demonstrator – bestehend aus Scheibe, Beschichtungen, Klebung und Kanzelrahmen – wurde als Validierungsobjekt bei vergleichbaren Aufprallbedingungen von Drohne und Vogel herangezogen. Daran wurde bewertet, unter welchen Aufprallszenarien die Sicherheit von Piloten und Passagieren gegeben ist. Die Tests an dieser fast 10 mm dicken Scheibe zeigten, dass ein direkter Durchschlag durch die Scheibe bei beiden Szenarien nicht auftritt (Abb. 5).

Inwieweit ein möglicher Drohnenschlag auch die Struktur von bereits im Einsatz befindlichen Hubschraubern mit weit dünneren Scheiben gefährdet, ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Über die Scheibe hinaus werden die Belastungen an Klebung und Kanzelrahmen untersucht.

Aufbauend auf den Quadcopter-Drohnen werden die Untersuchungen zur Simulation des Aufpralls von Drohnen mit starrem Flügel fortgesetzt. Dies konzentriert sich auf die EASA Kategorie C2 der kommerziell sehr erfolgreichen Kleindrohnen mit bis zu 4 kg Abfluggewicht.

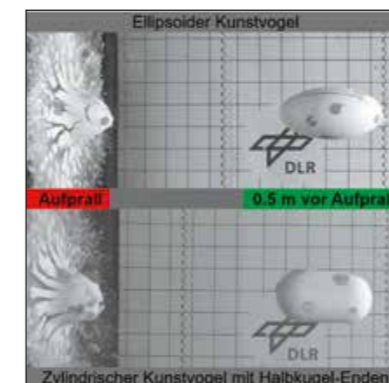


Abb. 3: Vergleichender Aufpralltest mit zwei Kunstvogelformen (verstärkter DLR-Kunstvogel RAB mit 1.0 kg) bei über 410 km/h auf eine Messvorrichtung

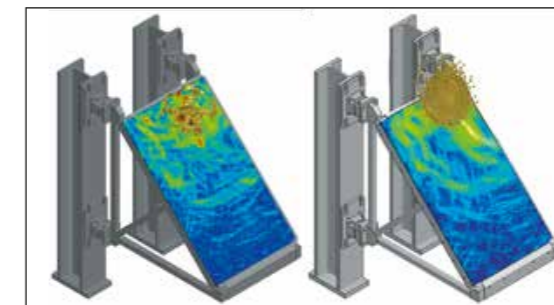


Abb. 4: Numerische Simulation von Drohnenschlag (links) und Vogelschlag (rechts) bei 410 km/h auf einen Demonstrator einer Hubschrauberkanzel bestehend aus Scheibe und Rahmen, der auf ein Versuchsgestell montiert ist

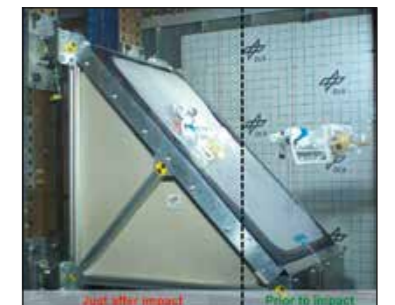


Abb. 5: Aufpralltest mit einer Quadcopter-Kleindrohne mit 1.2 kg Masse bei über 410 km/h auf einen Demonstrator einer Hubschrauberkanzel

Dr. Harald Anglberger
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

Dr. Rainer Speck
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

Klassifikation von Flugzeugen aus satellitengestützten Radar-Daten

Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) haben sich im Bereich der optischen Sensorik bereits in der Anwendung durchgesetzt. Im Radarbereich besteht hingegen noch Forschungsbedarf. Für die traditionelle Anwendung der Klassifikation zeigt dieser Artikel vielversprechende Untersuchungen, indem Software-Werkzeuge von DLR und Airbus kombiniert auf hoch aufgelöstes TerraSAR-X Bildmaterial angewendet wurden.

Einhergehend mit zahlreichen geplanten Satelliten-Missionen in der Erdbeobachtung zeigt sich eine rasant steigende Bildanzahl. Dieses Datenmaterial muss auch ausgewertet werden, wodurch der Automatisierung eine hohe Priorität zukommt. In diesem Zusammenhang sind die bahnbrechenden Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich der KI von höchstem Interesse. Fortschritte in der klassischen Disziplin der Objekterkennung sind hier vor allem im optischen Sensorbereich zu beobachten.

Eine direkte Übertragung dieser Verfahrensweisen auf die Radar-Welt ist jedoch meist nicht zielführend. Zusätzliche Herausforderungen ergeben sich zum einen aus dem wesentlich geringeren Datenumfang und zum anderen aus spezifischen Charakteristika der Bildgebung. Dazu gehören insbesondere ein starkes Rauschverhalten, eine meist unzusammenhängende und punktförmige Signatur der Zielobjekte sowie deren starke Veränderung gegenüber leichten Blickwinkelveränderungen. Ein positiver Aspekt liegt hingegen in der aktiven Sensorik im Radarfrequenzbereich, welche nicht nur tageszeit- und wetter-unabhängige Aufnahmen, sondern auch eine gleichbleibende Beleuchtung der Szene

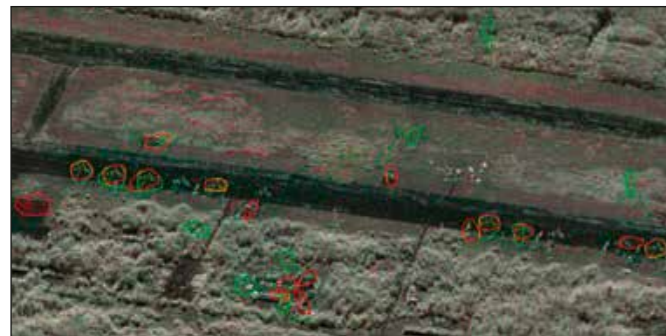


Abb. 1: Automatische Detektion von potentiellen Zielobjekten mit RADIAN: Verarbeitung von zwei TerraSAR-X Aufnahmen mit segmentierten Änderungen in Rot (erscheint) und Grün (verschwindet). Nicht bewegte Flugzeuge werden nicht detektiert. Fehlalarme durch Vegetation können großteils vermieden werden

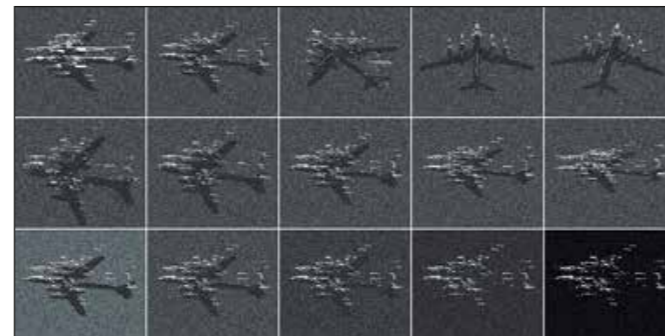


Abb. 2: Mit SAREF simulierte Signaturen für einen Flugzeugtyp: Winkelvariation der Ausrichtung (oben); Winkelvariation des Einfalls (mitte); Intensitätsvariation des Untergrundes (unten)

TRAR Jörg Neundter
Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung
der Bundeswehr (BAAINBw)
Koblenz

BAAINBwPosteingang@bundeswehr.org

über einen langen Zeitraum gewährleistet. Dies bietet ideale Bedingungen für eine robuste Änderungsdetektion. Die vom DLR entwickelte Software RADIAN stellt bereits operationelle Werkzeuge zur Verfügung, um veränderte Bereiche automatisch aus Bildserien zu extrahieren (siehe Abbildung 1). Es ist naheliegend, die daraus gewonnene Information in der Klassifikation zu nutzen. Eine Detektion von potentiellen Zielobjekten grenzt das Suchgebiet innerhalb der Szene stark ein, womit einerseits die Anzahl an Falschalarmen reduziert und andererseits die Effizienz gesteigert werden kann.

CeMore Deep von Airbus ist ein Werkzeug, welches Merkmalsvektoren mittels eines vortrainierten künstlichen neuronalen Netzes extrahiert. Die darauf aufbauende Klassifikation wird durch eine Support Vector Maschine erzielt, welche mit Signaturen eines zu erkennenden Objekttyps trainiert wird (hier aus TerraSAR-X Daten manuell klassifizierte Flugzeuge). Abbildung 3 zeigt die damit extrahierten Flugzeuge für einen Testdatensatz. Im Rahmen einer laufenden Studie wurde dieser Klassifikator mit einem rein auf synthetisch generierte Signaturen trainierten Gegenstück verglichen. Für die dafür notwendigen Simulationen wurde der vom DLR entwickelte Simulator SAREF eingesetzt. Abbildung 2 zeigt synthetische Signaturen des gefragten Flugzeugtyps für variierende Aufnahmeparameter, wodurch die starke Veränderung der Signatur über verschiedene Blickwinkel verdeutlicht wird. Diese Variation bedingt einen

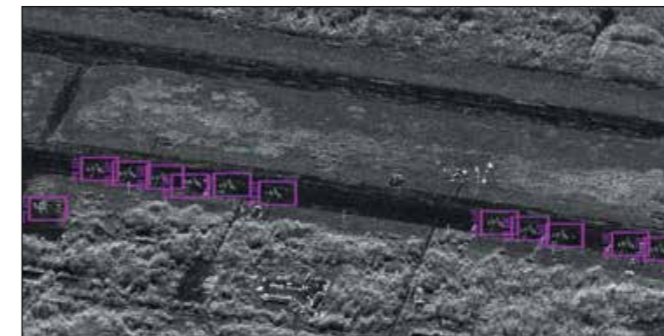


Abb. 3: Automatische Klassifikation von Flugzeugen mit CeMore Deep: Klassifikator trainiert mit realen Signaturen (Quelle: Airbus)

hohen Trainingsdatenumfang, welcher durch reale Daten nicht abgedeckt werden kann. Zur Vervollständigung ist es daher naheliegend, Freiheitsgrade wie Einfallswinkel, lokale Ausrichtung oder Hintergrund durch Simulationen flexibel zu variieren. Abbildung 4 zeigt die extrahierten Flugzeuge nach Anwendung des aus simulierten Daten trainierten Klassifikators für dieselbe Testszene. Es ist bemerkenswert zu beobachten, dass diese Klassifikation vergleichbare Ergebnisse liefert, ohne jemals eine reale Signatur des Flugzeugtyps erlernt zu haben.

Die vielversprechenden Ergebnisse ergeben eine gute Basis für zukünftige Arbeiten. Diese umfassen eine Untersuchung weiterer Flugzeugtypen und eine Verfeinerung der Simulation. Deren grundlegende Limitierung liegt in der erzielbaren Realitätsnähe, welche hauptsächlich durch die Qualität der verwendeten 3D-Modelldaten bestimmt wird, aber auch stark von den realen Gegebenheiten in der näheren Umgebung des Zielobjekts abhängen können. Dies verursacht bei weiteren untersuchten Testszenen ein starkes Absinken der Entdeckungsrate, vor allem wenn an Flugzeugen unbekannte Objekte positioniert sind oder die Beschaffenheit des Untergrundes variiert. Dies betrifft jedoch nicht nur die Simulation, sondern auch das Training mit realen Signaturen. Neben der gezeigten Änderungsdetektion wird bereits an Methoden in der Vorverarbeitung gearbeitet, welche diese Problematiken entscheidend verbessern könnten.

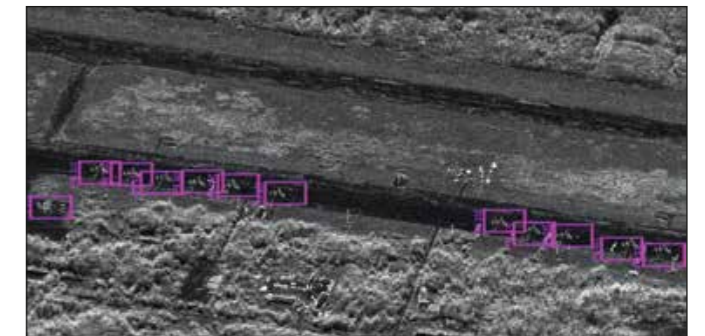


Abb. 4: Automatische Klassifikation von Flugzeugen mit CeMore Deep: Klassifikator trainiert mit synthetischen Signaturen aus SAREF. Negativ Signaturen wie abweichende Flugzeugtypen, Infrastruktur oder Hintergrund wurde mit denselben realen Daten trainiert wie Klassifikator aus Abbildung 3 (Quelle: Airbus)

Dipl.-Ing. Sebastian Pless
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Optische Sensorsysteme
Berlin-Adlershof

info-pks@dlr.de

Dr.-Ing. Erwin Lindermeir
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Optische Sensorsysteme
Berlin-Adlershof

info-pks@dlr.de

Forschung für die Abwehr hypersonischer und ballistischer Flugkörper im Rahmen einer territorialen Luftverteidigung

Hypersonische Flugkörper gelten für zukünftige Konflikte als wichtige Entwicklung. Ballistische Raketen sind eine ständige Bedrohung mit teils neuen Akteuren. Moderne Luftverteidigungssysteme und bewaffnete Drohnen verändern die militärische Situation im Luftraum. Ein Verbundprojekt von drei DLR-Instituten beschäftigt sich mit Fragestellungen zur Sensorik für die Luftverteidigung.

Das Verbundprojekt „Sensorik für die Luftverteidigung“ beschäftigt sich mit Methoden zur Erfassung und Verfolgung fliegender Bedrohungen. In diesem Bereich gibt es viele verschiedene Aufgaben mit teils sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Lösungsansätze. Im hier vorgestellten Projekt liegt der Fokus auf der territorialen Luftverteidigung gegen ballistische und hypersonische Flugkörper. In einem ersten Schritt wurden hypersonische Gleitflugkörper genauer betrachtet.

Um geeignete Methoden zur Detektion und Verfolgung zu entwickeln, wurde der Einsatz eines hypersonischen Gleitflugkörpers in Phasen eingeteilt und für jede Phase separat geeignete Sensoren und Sensorplattformen identifiziert. Hypersonische Gleitflugkörper werden mit ballistischen Raketen gestartet und greifen ihr Ziel ähnlich wie Gefechtsköpfe ballistischer Raketen an. Daher kann teilweise auf Methoden zurückgegriffen werden, die aus der Abwehr ballistischer Raketen bekannt sind.



Abb. 1: Für die Modellierungen verwendete Konfiguration eines generischen hypersonischen Gleitflugkörpers

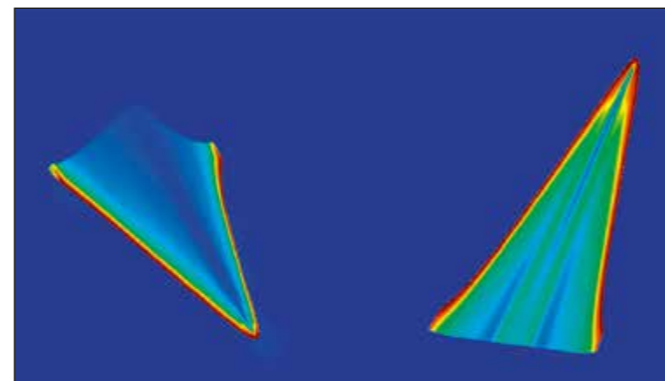


Abb. 2: Infrarotsignatur des Flugkörpers aus verschiedenen Beobachtungsperspektiven

Eine dieser Methoden ist die Beobachtung von Raketenstarts, auch wenn der Informationswert einer simplen Startdetektion begrenzt ist. Während bei der Raketenabwehr die Ermittlung des Brennschlussvektors entscheidend ist, da sich damit das Angriffsziel eingrenzen lässt, kann diese Information beim Einsatz von hypersonischen Gleitflugkörpern aufgrund deren Manövrierfähigkeit in der Atmosphäre kaum belastbare Informationen liefern.

Für hypersonische Gleitflugkörper ist also die Verfolgung während des atmosphärischen Fluges in der „mittleren Flugphase“ entscheidend. Genau diese Phase stellt aber eine große Herausforderung für Sensorik dar. Bodenbasierte Systeme sind in Ihrem Sichtbereich durch den Horizont begrenzt und der atmosphärische Flug eines solchen Flugkörpers findet auf einer deutlich niedrigeren Bahn als der von ballistischen Flugkörpern statt.

Diese Limitierungen können umgangen werden, wenn die Sensoren auf luft- oder raumgestützte Plattformen integriert werden. Allerdings sind bisherige Strategien und Systeme zur Erfassung der Starts ballistischer Raketen nicht ausreichend zur Verfolgung hypersonischer Bedrohungen.

Um die Anforderungen an die Beobachtung hypersonischer Gleitflugkörper besser zu verstehen, wurde in einem anderen DLR Forschungsvorhaben ein solcher Flugkörper ausgelegt und in flugdynamischen Simulationen getestet. Damit ist es möglich, Signaturen für einen solchen Flugkörper abzuleiten. Mittels dieser Signaturen können dann Sensorkonzepte für die Beobachtung und Verfolgung entwickelt werden.

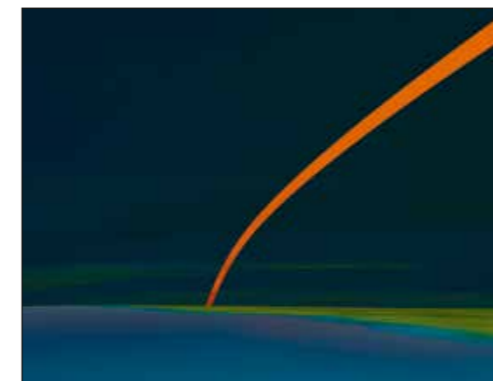


Abb. 3: Blick von einer luftgestützten Plattform auf den simulierten Flugweg eines hypersonischen Gleiters

Infrarotsensoren erscheinen geeignet für die Beobachtung des atmosphärischen Fluges, da sich Gleitflugkörper durch Reibung stark erhitzen. Im Unterschied zu Abgasstrahlen von Raketen emittieren die so erhitzten Flugkörper in einem breiten Spektralbereich. Wenn eine Beobachtung vor dem Hintergrund des Himmels oder Weltraums erfolgen kann, ergibt sich zudem ein hoher Kontrast zwischen Ziel und Hintergrund.

Zum Abfangen hypersonischer Flugkörper ist eine ideale Beobachtungsposition nicht immer realisierbar. Zudem muss hier auch ein einzelner Sensorträger eine belastbare Entfernungsinformation zum Ziel ermitteln können. Daher scheint Radar an dieser Stelle eine zentrale Technologie zu sein. Spezifische Anforderungen an Suchköpfe für diese Aufgabe werden im Rahmen des Verbundprojekts ebenfalls untersucht.

Paul Wagner, MSc
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Technische Physik
Stuttgart

info-pks@dlr.de

Wolfgang Riede
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Institut für Technische Physik
Stuttgart

info-pks@dlr.de

„Stare-and-Chase“-Verfahren zur Ortung und Katalogisierung orbitaler Objekte

Hochempfindliche Weitwinkel-Kamerasysteme können zukünftig wichtige Beiträge zur Erstortung von orbitalen Objekten als Teil eines Stationsnetzwerkes leisten, da sie autark und standortunabhängig einsetzbar sind. Die anschließende Übergabe an eine Laserstation zur präzisen Folgebestimmung der Trajektorie ermöglicht die Ermittlung der Bahndaten des Objektes.

Die aktuelle Zunahme der Zahl an Satellitenmissionen führt zu einem deutlichen Anstieg der Objektdichte im Erdorbit. Hierbei handelt es sich insbesondere um Weltraumschrottobjekte im niedrigen Erdorbit in Bahnhöhen um 800 km. Die vorhandene Weltrauminfrastruktur ist aufgrund dieser Entwicklung einer zunehmenden Gefährdung durch Kollisionen ausgesetzt. Eine Überwachung bzw. Katalogisierung erfolgt primär durch radarbasierte Stationsnetzwerke, wie z. B. das amerikanische „Space Surveillance Network“. In Ergänzung hierzu bietet die Verwendung von optischer Sensorik in „Stare-and-Chase“-Konfiguration die Möglichkeit, unbekannte Objekte zu entdecken und durch die Übergabe an eine laseroptische Bodenstation eine exakte Bestimmung des Orbits bzw. Katalogisierung durchzuführen.

Bei dem in diesem Artikel beschriebenen Prototyp wird eine hochempfindliche CCD-Kamera mit lichtstarkem Weitwinkelobjektiv im „Staring Mode“ verwendet. Da keine motorisierten Komponenten benötigt werden, kann ein solches System relativ kostengünstig und wartungsarm betrieben werden. Das System steht für Feldtests als staubdichter,



Abb. 1: Design der Einhausung (Schutzklasse IP68) mit drehbarer Elevationsachse



Abb. 2: Weitwinkel-Kamerasystem in gekapselter Einhausung bei Feldtests. Orbitale Objekte wie die internationale Raumstation im Bild werden als Strichspur detektiert



Abb. 3: Mehrfachbelichtete Aufnahme mit drei Strichspuren von überfliegenden Objekten zur astrometrischen Auswertung

strahlwassergeschützter und intern temperaturstabilisierter Prototyp zur Verfügung. Als Sensor kommt eine 9 Megapixel CCD-Kamera zum Einsatz. Das Objektiv besitzt eine Brennweite von 100 mm und ermöglicht ein Sichtfeld im Bereich von ca. 20°. Die Bildverarbeitung der Kamerabilder erfolgt automatisiert, basierend auf C++ Algorithmen, und erlaubt die Analyse der Strichspuren in Referenz zum Sternhintergrund mittels astrometrischer Verfahren. Zuletzt werden die Daten im standardisierten „Tracking Data Message“-Format gespeichert.

Das System kann mehrere überfliegende Objekte ohne Einschränkungen parallel prozessieren. Das Zeitfenster zur Datengewinnung ist auf Dämmerungsphasen beschränkt. Unter guten Sichtbedingungen wurden bei Kampagnen in Rahmen einer Systemvorauswertung sehr hohe Sensitivitätswerte bei der Ortung von Objekten erreicht. Bei Objekten mit Radarquerschnitten im Bereich von 1 m² und 2 m² lag der Wert der detektierten Objekte bei ca. 50 %, ermittelt durch den Vergleich mit Objekten aus dem öffentlich verfügbaren Katalog. Bei Objekten ab einem Radarquerschnitt von 2,25 m² lag die Sensitivität schon bei nahezu 100 %. Sensitivität und Auflösung lassen sich mit dem Verfahren des synthetischen Trackings weiter verbessern. Beim synthetischen Tracking werden aufeinanderfolgende, kurzzeitbelichtete Bilder zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses durch Bildprozessierung überlagert. Erste Untersuchungen mit Messdaten haben gezeigt, dass sich die Detektionsschwelle der Objektgröße um bis zu einen Faktor 10 senken lässt.

Derzeit wird an dem Verfahren der Übergabe an eine SLR (Satellite Laser Ranging) Station gearbeitet, wie sie das Institut für Technische Physik in verschiedenen Varianten betreibt.

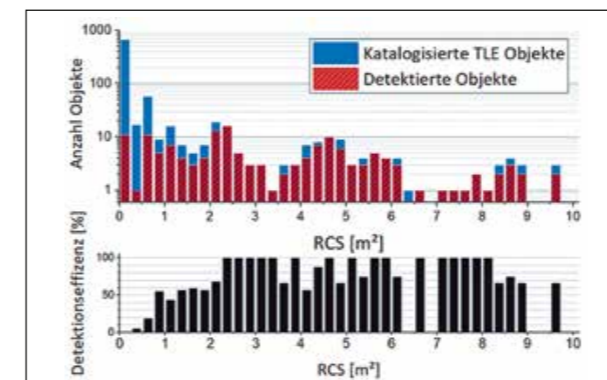


Abb. 4: Objektneudetektionsstatistik als Funktion des Radarquerschnitts (RCS – radar cross-section) der Objekte. Im oberen Graph wird die Anzahl der detektierten Objekte dargestellt (rote Balken), im unteren Graph der entsprechende prozentuale Anteil

Damit können direkt nach der Objekterfassung exakte Bahn-daten für die Bestimmung der dreidimensionalen Trajektorie mit einigen Metern Genauigkeit erhalten werden. Hierbei wird eine hohe Verfahrenssynergie erwartet, insbesondere im Hinblick auf die Voreinweisung durch Radarsysteme, wie zum Beispiel GESTRA (German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar). Auch hier kann in gleicher Weise durch Folgemessungen mit einer laseroptischen Bodenstation die Genauigkeit der Bahn-daten verbessert werden. Dies ist im Falle einer kritischen Konjunktion von zwei orbitalen Objekten von großer Bedeutung.

Für die laseroptische Bahn-datenbestimmung von orbitalen Objekten mit Abmessungen im 10 cm Bereich baut das Institut für Technische Physik derzeit ein Observatorium mit einem Empfangsteleskop von 1,75 m Durchmesser auf. Das System wird im ersten Quartal 2021 in Betrieb genommen werden.



Abb. 5: Verwendete Staring Kamera (rechts) und 17 Zoll Nachführteleskop (links) mit montiertem Lasertransmitter

Dr. Robert Hruschka
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL)
Saint-Louis, Frankreich

isl@isl.eu

Bestimmung der aerodynamischen Eigenschaften von Pfeilgeschossen im Windkanal und im Freiflug

Das Deutsch-Französische Forschungsinstitut Saint Louis (ISL) erforscht das Flugverhalten von pfeilförmigen Projektilen, wie sie von Kampf- und Schützenpanzern verschossen werden. Hierzu werden sowohl Versuche in Überschallwindkanälen als auch Freiflugversuche auf dem ISL-Testgelände durchgeführt. Ziel ist es, die Flugbahn und die Treffergenauigkeit des Geschosses wesentlich präziser vorherzusagen und negative Einflüsse darauf zu charakterisieren.

Pfeilgeschosse, wie in beispielhaft in Abb. 1 gezeigt, werden in der Regel direkt, d.h. mit flacher Schussbahn verschossen, wobei sie bis zu sechsfache Schallgeschwindigkeit erreichen können. Da es sich um ungelenkte Geschosse handelt, ist eine genaue Berechnung der Geschossflugbahn unabdingbar.

Hierzu sind aerodynamische Beiwerte notwendig, die entweder gemessen oder mittels numerischer Strömungssimulationsmethoden berechnet werden. Obgleich moderne Berechnungsmethoden heutzutage schon oftmals ausreichend genaue Ergebnisse liefern, können sie Freiflug- und Windkanalversuche noch nicht vollständig ersetzen. Dies gilt insbesondere für dynamische Beiwerte, wie beispielsweise den Nickdämpfungsbeiwert.

Zur Bestimmung dieser Parameter im Freiflug wird das Geschoss mit einem initialen Anstellwinkel von ca. 10° verschossen. Während ein Doppler-Radargerät den Geschwindigkeitsabfall in Schussrichtung aufzeichnet, verfolgen Hochgeschwindigkeitskameras mit synchronisierten Drehspiegeloptiken das Projektil im Flug. Aus den Radardaten lässt sich der Widerstands-



Abb. 1: Pfeilgeschosse

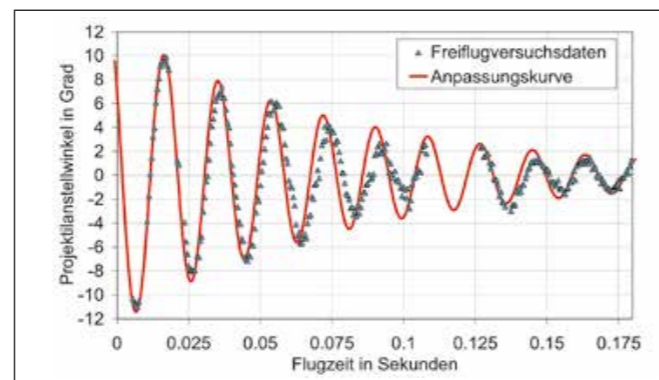


Abb. 2: Aufgezeichnete Trajektorie und Anpassungskurve

beiwert ableiten. Die Videodaten liefern die Änderungen des Anstellwinkels als auch der Flughöhe entlang der Flugbahn. Abb. 2 zeigt die aufgezeichnete Pendelbewegung des Geschosses, die mit der Zeit abklingt. Aus der Schwingungsfrequenz kann der Nickmomentenbeiwert abgeleitet werden, und aus der – in etwa exponentiell abklingenden – Amplitude der Nickdämpfungsbeiwert. Hierzu wird eine Schwingungsfunktion mit zeitabhängiger Frequenz und Dämpfung an die Daten angepasst, die auch den Geschwindigkeitsabfall während des Fluges berücksichtigt. Aus dem Verlauf der Flughöhe über der Zeit lässt sich analog dazu der Auftriebsbeiwert ableiten.

Im Vergleich zum Freiflug bieten die Versuche im Windkanal zwei Vorteile: zum einen lässt sich das Abklingverhalten der Projekttilschwingung ortsfest beobachten und damit die Qualität der optisch aufgezeichneten Daten verbessern. Hierzu wird das Geschoss, wie in Abb. 3 gezeigt, im Schwerpunkt mit einem quer verlaufenden Draht frei schwingend im Windkanal aufgehängt. Durch den turbulenten Startvorgang des Windkanals wird eine Anfangsstörung erzeugt. Die Auswertung der Schwingungskurve erfolgt dann analog zum Freiflugversuch bei konstanter Anströmgeschwindigkeit. Zum zweiten können im Windkanal auf das Projektilmodell wirkende Kräfte und Momente mittels Kraftwaage gemessen werden. Hierzu wird der Projekttilanstellwinkel während des Versuches variiert und die Daten des Widerstands, des Auftriebs und des Nickmoments anstellwinkelabhängig ermittelt. Dabei sind die Einflüsse auf die Luftströmung der notwendigen Modellmontagevorrichtung zu beachten, die sich in erster Linie auf den Widerstandskoeffizienten auswirken, da sich der Druck am Projektilboden aufgrund der Montage ändert. Aus der Differenz der Messungen des Bodendrucks mit einer Kraftwaagenmontage und alter-

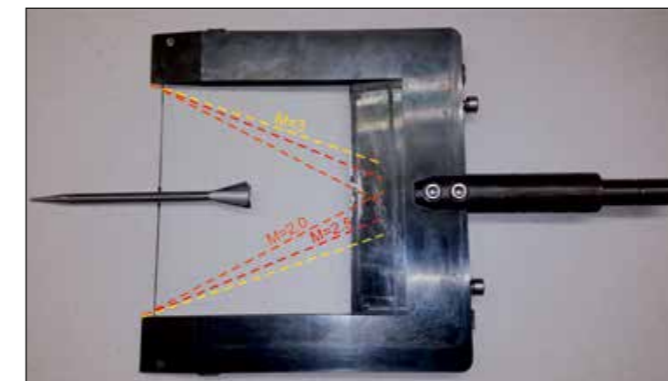


Abb. 3: Drahtaufgehängtes Modell im ISL trisonischen Windkanal

nativ dazu mit einer Drahtaufhängung lässt sich dann auch der Widerstandsbeiwert analog zum Freiflug bestimmen.

Die Kombination aus Windkanalmessungen, Freiflugversuchen und ebenfalls im ISL durchgeführten numerischen Strömungssimulationen, wie in Abb. 4 beispielhaft gezeigt, liefert hochgradig verlässliche aerodynamische Daten. Diese dienen wiederum als Basis für Rechentools, mit denen sich nicht nur Projektiltrajektorien exakt berechnen lassen, sondern auch die Auswirkungen von Störeinflüssen wie beispielsweise Waffenaufschwingungen oder extremen Umweltbedingungen charakterisiert werden können. Die Identifikation und sukzessive Elimination solcher Störeinflüsse führt zu erheblich gesteigerter Schussgenauigkeit.

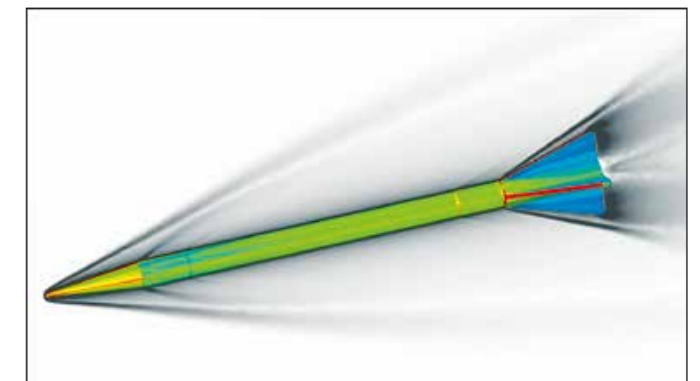


Abb. 4: Beispiel einer numerischen Simulation

Dr. Eric Fousson
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL)
Saint-Louis, Frankreich

isl@isl.eu

(Hochentwickelte) Opto-pyrotechnische Zündsysteme

Die Weiterentwicklung von Laserquellen mit höherer Leistung bei geringerem Bauvolumen und Gewicht ergibt neue Anwendungsmöglichkeiten zur Nutzung der Laserenergie für pyrotechnische Zündmechanismen. Seit Jahren werden am ISL optische Zündsysteme mit großen sicherheitstechnischen Vorteilen für Anwendungen in der Raumfahrt und der Wehrtechnik entwickelt.

Seit den neunziger Jahren arbeitet das ISL an der Entwicklung von opto-pyrotechnischen Zündsystemen (OPD). Die Arbeiten begannen mit der Entwicklung eines alternativen Zündsystems für die ARIANE Trägerrakete als Ersatz der Hitzedraht-Bauteile. Das vom ISL entwickelte Design nutzt ein zweistufiges Verfahren zur Auslösung einer stoßwelleninduzierter Detonation (SDT). In der ersten Stufe initialisiert der Eintrag der Laserenergie eine thermische Zersetzung des Sekundärsprengstoffs, welcher einen Druckanstieg zur Folge hat, mit dem ein Mikroprojektil beschleunigt wird. In der zweiten Stufe trifft dieses Mikroprojektil auf komprimierten Sekundärsprengstoff und löst bei ausreichender Druckwirkung die SDT aus.

Die ersten Entwicklungsmodelle verwendeten spezielle optische Komponenten zur Gewährleistung der Dichtheit des Bauteils sowie der Fokussierung des Laserstrahles auf dem pyrotechnischen Material, um so die erforderliche Energiedichte sicherzustellen. Zusätzliche Anforderungen führten zu einer Optimierung des opto-mechanischen Aufbaus mit dem Wegfall der optischen Komponenten und einer direkten Kontaktierung des Lichtwellenleiters mit dem pyrotechnischen



Abb. 1: Opto-pyrotechnischer Zünder (OPD) mit Fiberstrang (LWL)



Abb. 2: Röntgen-Bildverstärker-Kinematografie Bilder des Endprojektils

Material. Benötigten die ersten Entwicklungsmodelle noch teure Laserquellen, können die aktuellen opto-pyrotechnischen Zündsysteme mit handelsüblichen, kostengünstigen Laserdioden mit einer Leistung von wenigen Watt genutzt werden.

Um die Zuverlässigkeit auch unter für die Raumfahrtanwendung geforderten extremen Temperatureinflüssen ($-110\text{ °C} / +110\text{ °C}$) zu gewährleisten, wurde zum Ausgleich der Temperaturschwankungen eine zusätzliche Schicht einer speziellen pyrotechnischen Komposition eingebracht. Für Anwendungen in der Wehrtechnik, deren Forderungen im Vergleich zu den Raumfahrtanwendungen durch schnellere Reaktionszeit über einen kleineren Temperaturbereich von -50 °C bis $+70\text{ °C}$ geprägt sind, werden bei identischen mechanischen Komponenten Sekundärsprengstoffe mit einem höheren optischen Absorptionsgrad genutzt. Aufgrund der aktuellen Forschungsergebnisse wurde das Design weiter optimiert, so dass nunmehr die Reaktionszeit präzise kontrolliert werden kann. Verschiedene Versuchsreihen im Temperaturbereich von -50 °C bis $+70\text{ °C}$ bei einer Initiierungsleistung von 25 W zeigten Reaktionszeiten von 65 μs mit Schwankungen von $\pm 5\mu\text{s}$. Zwei Untersuchungsverfahren dienten zur Validierung der Leistungsanforderungen: Durch die Röntgen-Bildverstärker-Kinematografie wurden die Eigenschaften des Projektils am Ausgang (*terminal flyer*) des OPD überprüft und zusätzliche Initiierungstests wurden auf PBX-Sprengladungsverstärkern durchgeführt.

Die positiven Ergebnisse eröffnen eine Reihe neuer Möglichkeiten für Anwendungen bei Schutzsystemen, bei denen eine präzise Synchronisierung zur Einleitung der Gegenmaßnah-

men notwendig ist und die damit im besonderen Maße von einer geringen Schwankung der Reaktionszeit abhängen.

Die am ISL entwickelten opto-pyrotechnischen Zündsysteme sind REACH kompatibel und bieten sicherheitstechnische Vorteile. Die ausschließliche Nutzung von Sekundärsprengstoffen vereinfacht die sicherheitstechnischen Vorkehrungen für dieses Zündsystem. Die Bauteile sind immun gegenüber elektrischen Störungen und elektrostatischer Entladung. Aufgrund ihrer Bauart halten sie hohen thermischen Belastungen stand und haben Cook-Off Tests erfolgreich bestanden. Die optische Leistungsübertragung erlaubt den Aufbau unterschiedlicher Arten von Zündketten (Multipoint) und gewährleistet die Ansteuerung auch über weite Distanzen.

Derzeit konzentrieren sich die Forschungsarbeiten auf den thermischen Initiierungsprozess. Ziel ist es, die für den Zündungsprozess verwendete Sekundärsprengstoff-Formulierung weiter zu verbessern und zu homogenisieren, um eine weitere Reduzierung der Reaktionszeit und deren Schwankung zu erreichen.



Abb. 3: Fast Cook-Off (Kraftstoffbrandtest)

Lukas Beer, M.Sc.
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Technik Autonomer Systeme
Neubiberg

tas@unibw.de

Patrick Burger, M.Sc.
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Technik Autonomer Systeme
Neubiberg

tas@unibw.de

Landmarkenbasierte Verfahren zur Lokalisierung und Navigation autonomer Landfahrzeuge in GNSS-armen Umgebungen

Der Transport von Gütern und Personen stellt vor allem in Krisengebieten ein Risiko dar. Unbemannte Landfahrzeuge können helfen, die Anzahl der benötigten Fahrer zu reduzieren. Dabei ist, speziell in Regionen mit gestörtem GNSS-Signal (GNSS: Globales Navigationssatellitensystem), eine Navigation und eine Lokalisierung mit Sensoren wie LIDAR-Scannern (LIDAR: Light Detection And Ranging) für das autonome Fahren unerlässlich. Dieser Artikel gibt einen Einblick in die Forschung zur autonomen Konvoifahrt ohne direkten Sichtkontakt.

Bei heutigen Transportsystemen geht eine Erhöhung von Personenzahl und Gütern mit einer Erhöhung der Fahrzeuggröße oder der Anzahl der Fahrer einher. In manchen Situationen sind beide Fälle unerwünscht. Hier können unbemannte Landfahrzeuge (engl.: Unmanned Ground Vehicles, UGVs) eine Lösung bieten, indem ein oder mehrere Folgefahrzeuge einem Führungsfahrzeug folgen (Konvoifahren). Dieses Thema ist Teil einer Studie an der Universität der Bundeswehr München im Auftrag des Bundesamts für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw). Zwei Beispiele für UGVs sind in Abbildung 1 zu sehen.

Im Bereich des autonomen Konvoifahrens wurde in den letzten Jahren bereits geforscht, wobei insbesondere das Platooning eine effektive Lösung darstellt. Diese Technik basiert auf dem Tracking des Führungsfahrzeugs durch das Folgefahrzeug mittels Kameras oder LiDAR-Sensoren. Eine andere, flexiblere Möglichkeit ist der gesplittete Konvoi. Das Führungsfahrzeug sammelt Informationen, die für seine eigene Lokalisierung und die Lokalisierung und Navigation des Folgefahrzeugs verwendet werden, unabhängig von der Entfernung zwischen



Abb. 1: Die Versuchsfahrzeuge MuCAR-3 und MuCAR-4 des Instituts für Technik Autonomer Systeme (TAS) mit auf dem Dach montierten LiDAR-Sensoren

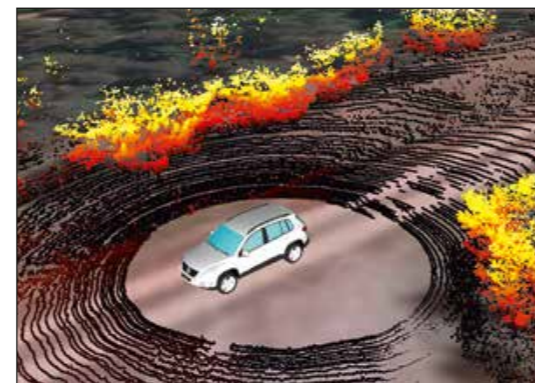


Abb. 2: LiDAR-Punktwolke. Die Farbe jedes Punktes repräsentiert die Höhe

Dipl.-Ing. Thorsten Lüttel
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Technik Autonomer Systeme
Neubiberg

tas@unibw.de

den Fahrzeugen.

Das Führungsfahrzeug kartiert kontinuierlich die Umgebung und seine eigene Position. Diese Technik wird SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) genannt. In unserem Fall werden vertikale Landmarken wie Büsche und Bäume in LiDAR-Punktwolken erfasst, wie sie in Abbildung 2 zu sehen sind. Anschließend werden durch Clustering-Algorithmen Objektinstanzen extrahiert, die in Abbildung 3 zu sehen sind. Im nächsten Schritt werden die extrahierten Instanzen mit Kalman-Filtern über die Zeit getrackt. Wenn sie über mehrere Iterationen hinweg beobachtet werden, werden sie als sichere Landmarke betrachtet.

Zusammen mit der Eigenbewegung des Fahrzeugs werden diese Landmarken verwendet, um die aktuelle Position zu berechnen. Alle Landmarken und Positionen werden in einem sogenannten Graphen gespeichert, wobei Kanten die Assoziation zwischen Position und Landmarken darstellen. Dieser Graph enthält alle Informationen, die das Folgefahrzeug benötigt, und kann übertragen werden.

Wie das Führungsfahrzeug extrahiert auch das Folgefahrzeug Objektinstanzen aus Punktwolken. Ein Partikelfilter löst das Assoziationsproblem, welche Landmarken-Konstellation des übertragenen Graphen am besten zu den aktuell erkannten



Abb. 3: Die extrahierten Instanzen. Jede Box repräsentiert eine andere Objektinstanz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Technik Autonomer Systeme
Neubiberg

tas@unibw.de

Instanzen passt, und bestimmt so die aktuelle Position des Folgefahrzeugs. Indem es dem Pfad des Führungsfahrzeugs folgt, kann das Folgefahrzeug in unstrukturiertem Gelände navigieren. Abbildung 4 zeigt eine Szene aus der Sicht des Folgefahrzeugs.

Um die Übertragungsrate zu reduzieren, wird die Menge der übertragenen Daten intelligent reduziert: Abhängig vom derzeitigen Kurvenradius werden Positionen und Kanten erst nach einer bestimmten Strecke übertragen. Je geringer der Radius, desto geringer diese Strecke. Durch diese Abhängigkeit werden Diskretisierungsfehler minimiert und die Übertragungsrate reduziert. Im Folgefahrzeug erfolgt eine Interpolation des Graphen, um die fehlenden Informationen zu schätzen. Aufgrund der geringen Größe des Graphen und dessen weiterer Reduzierung ermöglicht dieser Ansatz eine Übertragung bei niedriger Bandbreite.

In diesem Artikel wurde ein Weg des autonomen Konvois gezeigt, der in unstrukturierten Umgebungen und in Situationen anwendbar ist, in denen Platooning versagt oder nicht eingesetzt werden kann. Zukünftige Forschungen könnten verschiedene Sensoren und Umgebungsinformationen einbeziehen, um eine vollständig autonome und sichere Konvoifahrt zu ermöglichen.



Abb. 4: Das Führungsfahrzeug überträgt kontinuierlich Landmarken (rot) und seine Trajektorie (blau)

Prof. Dr. Carlo Masala
 Universität der Bundeswehr München,
 Kompetenzzentrum Krisenfrüherkennung
 Neubiberg

ciss@unibw.de

Tim Tepel
 Universität der Bundeswehr München,
 Kompetenzzentrum Krisenfrüherkennung
 Neubiberg

ciss@unibw.de

Pilotprojekt Kompetenzzentrum Krisenfrüherkennung

Im durch das BMVg initiierten Pilotprojekt Kompetenzzentrum Krisenfrüherkennung (KompZ KFE) entwickelt die Universität der Bundeswehr München methodisch-innovative Ansätze zur Verbesserung digitaler Assistenzsysteme zur Krisenfrüherkennung. Das Auswärtige Amt nimmt bereits seit Dezember vergangenen Jahres die Möglichkeit einer fachlich gleichberechtigten Kooperation an diesem Vorhaben wahr.

Das fachliche Portfolio des im Oktober 2020 gegründeten und derzeit im Aufbau befindlichen KompZ KFE soll zur Leistungssteigerung der ressorteigenen Assistenzsysteme des BMVg und des AA zur Krisenfrüherkennung beitragen. In Fachbereich 1 werden Forschungstrends im interdisziplinären Bereich der Krisenfrüherkennung bzw. des maschinellen Lernens gesichtet, mit dem Ziel, vielversprechende Ansätze im Hinblick auf projektrelevante Fragestellungen zu konzeptualisieren und prototypisch zu entwickeln. Fachbereich 2 fokussiert sich auf die Bereitstellung der ausgearbeiteten Ansätze als bedarfs-trägerorientierte und implementierbare Proofs-of-Concept. Daneben ist der freie wissenschaftliche Austausch zum Aufbau multinationaler fachlicher Netzwerkstrukturen ein weiterer zentraler Aspekt des Projekts.

Die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen in einem Staat (siehe Abbildung 1 für ein Beispiel) sowie aktuelle politische und gesellschaftliche Ereignisse, die z. B. aus Konfliktdaten ableitbar sind (siehe Abbildung 2), können auf eskalatorische Konfliktdynamiken innerhalb bestehender Krisen oder auf ein Risiko für Konfliktausbrüche hinweisen.

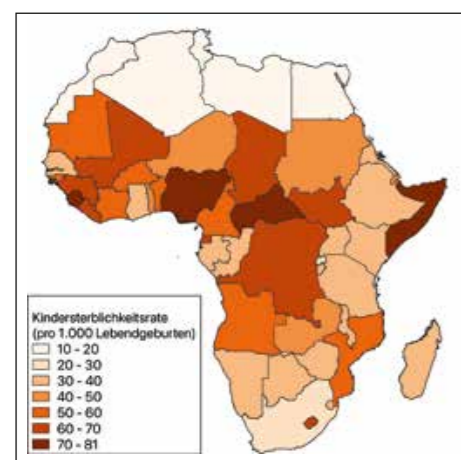


Abb. 1: Die Kindersterblichkeitsrate wird häufig als Proxy-Indikator für den sozio-ökonomischen Entwicklungsstand eines Landes verwendet (Quelle: World Bank World Development Indicators)

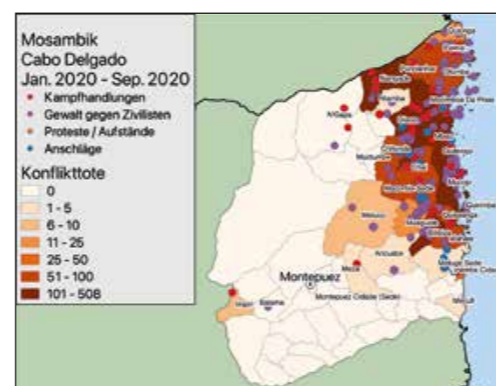


Abb. 2: Exemplarische Darstellung von Konfliktereignissen (Jan. – Sep. 2020) aus dem Armed Conflict and Event Location Data (ACLED) Datensatz für Cabo Delgado in Mosambik*

Dr. Christoph Dworschak
 Universität der Bundeswehr München,
 Kompetenzzentrum Krisenfrüherkennung
 Neubiberg

ciss@unibw.de

Isabel Lang
 Universität der Bundeswehr München,
 Kompetenzzentrum Krisenfrüherkennung
 Neubiberg

ciss@unibw.de

Im Rahmen der IT-unterstützten Krisenfrüherkennung werden relevante Datenquellen zusammengeführt. Durch modellbasierte Auswertungen des Datenbestands werden Risikoabschätzungen generiert. Eine zielgerichtete Ergebnisaufbereitung für Endnutzer unterstützt die Informationsbeschaffung, ermöglicht eine effizientere Analyse von Konfliktsituationen und somit eine verbesserte Entscheidungsunterstützung.

Übergeordnete Zielsetzung in der Arbeit des KompZ KFE ist stets die Umsetzung transparenter und nachvollziehbarer Modelle, die sich auf relevante Phänomene wie Konflikteskalationen beziehen und hierzu neue konzeptionelle oder methodische Ansätze verfolgen.

Ein initiales konzeptionelles Arbeitsgebiet bezieht sich auf die Verbesserung von Modellen zur Krisenfrüherkennung durch den Fokus auf Akteure (anstatt auf geographische Regionen) als Bezugsebene. Durch die dedizierte Betrachtung von Regierungs-, Oppositions- und Rebellengruppen ergibt sich potenziell eine präzisere Prognose von Konfliktverläufen, z. B. durch Vorhersagen zur Intensivierung von (un-)bewaffnetem Akteursverhalten, zu räumlich expansiven Aktivitäten und zu Beziehungsentwicklungen. Abbildung 3 zeigt ein beispielhaftes Beziehungsnetzwerk.

Ein methodischer Arbeitsschwerpunkt des KompZ KFE wird sich auf eine verbesserte Aufbereitung und Integration unstrukturierter Daten in Modelle zur Krisenfrüherkennung beziehen. Hierzu zählen z. B. textuelle Informationen wie Nachrichtenmeldungen. Das maschinelle Auslesen, Verstehen und Einbinden von Nachrichtenmeldungen in Analyse- und Prognosemodelle kann eine bessere Verknüpfung von Datengrundlage und Modellvorhersagen ermöglichen und somit potenziell auch einen Mehrwert im Hinblick auf die Modell-erklärbarkeit bieten. Es ergeben sich zudem Anknüpfungspunkte zur generellen Erschließung einer Nutzung von weiteren unstrukturierten Datenquellen, bspw. im Kontext von Social Media.

Die Ergebnisse des KompZ KFE sollen darauf abzielen, in die o. a. digitalen Assistenzsysteme der Bedarfsträger integriert werden zu können. In diesem Zusammenhang werden durch das KompZ KFE auch Ideen zur Darstellungsform von Daten und Modellergebnissen unter Berücksichtigung von Aspekten der Nutzerergonomie erarbeitet. Eine effiziente Entscheidungsunterstützung wird durch eine möglichst intuitive und nachvollziehbare Ergebnisaufbereitung erreicht.

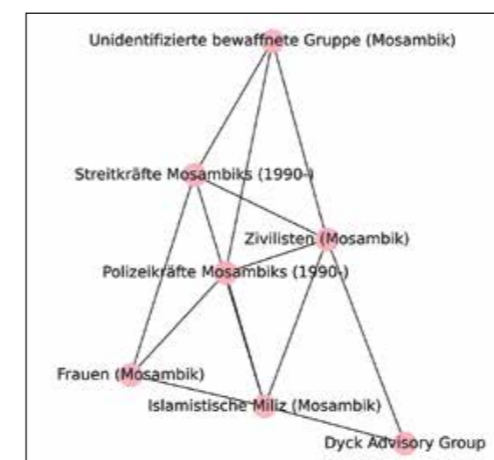


Abb. 3: Aus dem Armed Conflict and Event Location Data (ACLED) Datensatz extrahierter Graph für Konfliktbeziehungen zwischen den sieben aktivsten Akteuren in Cabo Delgado (Jan. – Sep. 2020)*

* Quelle: Raleigh C, et al. (2010) Introducing ACLED-Armed Conflict Location and Event Data. Journal of Peace Research 47(5), 651-660

M.Eng. Vivianne Marie Bruère de Carvalho Paiva
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Mechanik
Neubiberg

info@unibw.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Lion
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Mechanik
Neubiberg

info@unibw.de

Untersuchung der Möglichkeiten zum 3D-Druck von Elastomerbauteilen für militärische Anwendungen

Additive Fertigungsverfahren (AF) werden zunehmend auch für militärische Produkte eingesetzt. Neben dem Druck mit Konstruktionswerkstoffen ist der Druck von Elastomerbauteilen von besonderem Interesse zur Vereinfachung der Logistik. Gleichzeitig ist er Gegenstand eines aktuellen Forschungsvorhabens am Institut für Mechanik der Universität der Bundeswehr in München.

Der Druck von Elastomerbauteilen ist Gegenstand einer aktuellen Forschungsstudie der Universität der Bundeswehr München in Zusammenarbeit mit dem 3D-Druckzentrum der Bundeswehr im Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB). Elastomere sind bedeutend für viele Funktionen militärischer Systeme. Elastomerbauteile, wie z. B. Dichtungen in Hydraulikanlagen, altern im Betrieb und müssen daher oft ersetzt werden. Die Vielzahl an Elastomerwerkstoffen, Bauteilgeometrien und die komplexen Alterungsvorgänge (die teils auch schon während der Lagerung auftreten) führen zu großen Herausforderungen und Kosten für die militärische Logistik. Durch die AF könnten Ersatzteile in kurzer Zeit erstellt werden und die kostenintensive Lagerhaltung reduziert werden.

Gedruckte Elastomere müssen dazu ähnliche Materialeigenschaften wie konventionell gefertigte Elastomere aufweisen. Das Ziel dieses Projektes besteht darin, Wissen über die Eigenschaften gedruckter Elastomere sowie die Anwendbarkeit der Verfahren zur Bauteilfertigung zu erarbeiten. Beispiele für solche Elastomerbauteile sind Dichtungen, Abdeckungen oder Gummimanschetten (Abb. 1).



Abb. 1: Hohe Härte Silikongummi Bauteil, 3D gedruckt mit Material Jetting (Quelle: WIWeB)

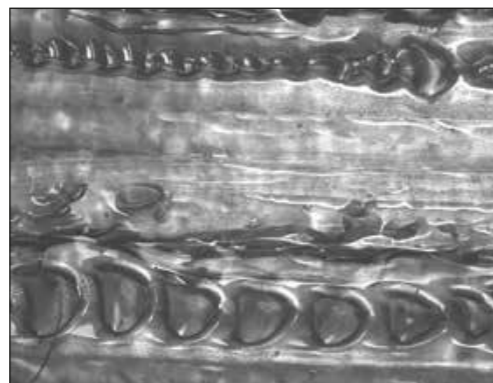


Abb. 2: Mikroskopische Aufnahme eines Thermoplastischen Polyurethans (TPE-Typ) mit Extrusionsfehlern aus der „Fused Filament Fabrication“ (FFF) aufgrund übermäßiger Feuchtigkeit (Quelle: Vivianne Marie Bruère de Carvalho Paiva)



Abb. 3: Flexibilität eines Würfels, gedruckt mit Thermoplastischem Polyurethan 82A durch FFF (Quelle: Vivianne Marie Bruère de Carvalho Paiva)

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Johlitz
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Mechanik
Neubiberg

info@unibw.de

PD Dr.-Ing. habil. Jens Holtmannspötter
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

wiweb@bundeswehr.org

Anfangs wurde eine Marktrecherche durchgeführt, auf deren Basis aktuelle Technologien zu untersuchen und deren Grenzen zu ermitteln waren. Derzeit erlauben die meisten Druckverfahren nicht die Verwendung von traditionellem, nicht-vulkanisiertem Gummi. Es werden stattdessen für bereits bestehende AF-Technologien neue Materialien entwickelt, die gummiähnliche Eigenschaften aufweisen. Dazu werden hauptsächlich Druckverfahren mit Photopolymeren - gehärtet durch UV-Licht - oder Verfahren mit thermoplastischen Elastomeren (TPE) - eine Kombination aus einem thermoplastischen Material mit weichen Zusatzkomponenten eingesetzt. Zur Ermittlung der Eigenschaften gedruckter Elastomerbauteile werden vielfältige mechanische Prüfverfahren eingesetzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass aktuelle AF-Technologien für Elastomerbauteile noch erhebliche Fertigungseinschränkungen aufweisen. Je nach Bauteilgeometrie und Anforderungen sind verschiedene Verfahren einzusetzen. Auch gibt es noch wesentliche Defizite in den Materialeigenschaften. Die Einwirkung von natürlichem Sonnenlicht beschleunigt z. B. die Aushärtung von Photopolymeren, wodurch diese in relativ kurzer Zeit verspröden. TPEs schmelzen naturgemäß bei Erwärmung, sind bei der Filamentextrusion schwer zu kontrollieren und reagieren sehr empfindlich auf Feuchtigkeit, was zu Blasenbildung und Druckfehlern führen kann (Abb. 2).

In der Forschung ist es daher zwingend erforderlich, neue Materialien mit deutlich mehr Langzeitstabilität und Flexibilität zu entwickeln (Abb. 3-6). Beides ist typisch für klassische Elastomere.

Obwohl vielversprechende Ergebnisse vorliegen, begrenzen die hohen und komplexen Werkstoffanforderungen an Elastomere noch den Einsatz der AF. Das von den klassischen rußgefüllten Elastomeren bekannte Materialverhalten ist bei gedruckten Elastomeren nicht immer vorhanden. Die mechanischen Eigenschaften sind in der Regel unzureichend und die Herstellung komplexer Geometrien ist nicht mit allen Verfahren möglich. Die Technologieentwicklung wird aber stetig dynamischer. Fast täglich erscheinen neue Verfahren, Lösungen und Verbesserungen.

Die Forschungsarbeiten müssen fortgesetzt werden, da erst ein ausreichendes Verständnis der Eigenheiten und Grenzen der AF von Elastomeren dazu beitragen wird, auch diese Druckverfahren für die Bundeswehr nutzbar zu machen.



Abb. 4: Photopolymer TangoBlackPlus 70A aus dem PolyJet nach dem Zugversuch (oben) und mit hoher Rückstellung in die Ausgangsform (unten) (Quelle: Vivianne Marie Bruère de Carvalho Paiva)



Abb. 5: Thermoplastisches Polyurethan Estane 3D TPU M95-A von Multi Jet Fusion nach dem Zugversuch (oben) und mit mittlerem Rückstellverhalten in die Ausgangsform (unten) (Quelle: Vivianne Marie Bruère de Carvalho Paiva)

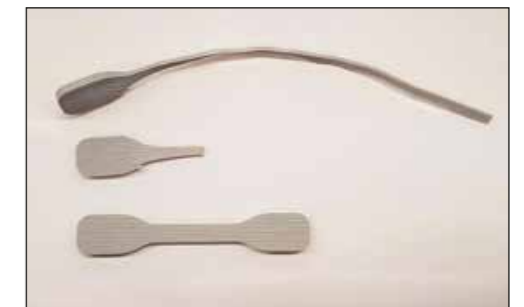


Abb. 6: Thermoplastischer Copolyester 86A (TPE-Typ) aus FFF nach dem Zugversuch (oben) und mit geringer Rückstellung in die Ausgangsform (unten) (Quelle: Vivianne Marie Bruère de Carvalho Paiva)

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

office.sp@unibw.de

Sertac Kaya, M.Sc.
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Informationstechnik
Neubiberg

office.sp@unibw.de

SOTM Tests in der Bundeswehr

Mobile Satellitenkommunikation mit hohen Datenraten über sogenannte SATCOM-on-the-Move (SOTM) Terminals ist essenziell für die Führungsfähigkeit in zukünftigen Einsätzen der Bundeswehr. Diese Fähigkeit soll daher im Rahmen des Programms Digitalisierung Landbasierte Operationen (D-LBO) realisiert werden. Die Leistungsfähigkeit solcher Terminals wurde an der Universität der Bundeswehr in München unter realen Einsatzbedingungen getestet.

SOTM Terminals bestehen aus einer Außen- und einer Inneneinheit. Die Außeneinheit ist geschützt unter einem Radom auf dem Fahrzeugdach montiert (Abbildungen 1 bis 3). Sie besteht im Wesentlichen aus der Antenne, der Sende- und Empfangseinheit sowie Komponenten zur Steuerung und Nachführung der Antenne. Zur Inneneinheit gehört das Modem, welches je nach Systemauslegung des Herstellers noch durch weitere Komponenten zur Antennensteuerung und Antennenkontrolle ergänzt werden kann.

Inzwischen sind zahlreiche Systeme verschiedener Hersteller am Markt erhältlich. Je nach Terminal und adressierten Einsatzzweck kommen unterschiedliche Technologien zur Anwendung. Eine zentrale Fragestellung bei der Entwicklung neuer Systeme ist stets der Kompromiss zwischen einer möglichst hohen Datenrate sowie hervorragende Nachführeigenschaften auf der einen Seite, und einem möglichst geringen Gewicht, niedriger Leistungsaufnahmen bei kleinem Formfaktor auf der anderen Seite. Bei der Antennentechnologie sind vor allem Phased Array Systeme von den klassischen Parabolantennen zu unterscheiden. Phased Array Antennen ermöglichen grundsätzlich einen flachen



Abb. 1: SOTM Terminal mit klassischer Parabolantenne und mit Monopulse Tracking Verfahren des Herstellers EM Solutions (Quelle: ND SatCom, 2020)



Abb. 2: SOTM Terminal mit Phased Array Antennentechnologie des Herstellers ADS (Quelle: ND SatCom, 2020)



Abb. 3: Phased Array SOTM Antenne des Herstellers INSTER (Quelle: ND SatCom, 2020)

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

office.sp@unibw.de

André Jähne
ND SatCom GmbH
Immenstaad am Bodensee

info@ndsatcom.com

Aufbau. Jedoch wird auch diese Technologie überwiegend als sogenanntes „elevated panel“ realisiert, um auch bei niedrigen Elevationswinkeln eine möglichst große wirksame Antennenfläche bieten zu können. Bei der Antennensteuerung und -nachführung gibt es teils erhebliche Unterschiede hinsichtlich der eingesetzten Sensoren sowie dem Tracking-Algorithmus. Ein direkter Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Terminals gestaltet sich daher schwierig und ist äußerst komplex.

Die Referenz- und Testanlage für Satellitenkommunikation des Munich Center for Space Communications an der Universität der Bundeswehr München ist darauf ausgelegt, vergleichende System- und Performancetests in einer realitätsnahen Umgebung zu ermöglichen. Das Bodensegment der Anlage umfasst verschiedene Antennen mit Durchmessern bis rund acht Metern (siehe Abbildung 4). Es werden alle in der Satellitenkommunikation üblichen Frequenzbänder unterstützt. Kern der Anlage ist die umfangreiche Messgeräteausstattung (Abbildung 5) zur Signalerzeugung und -aufzeichnung mit anschließender Analyse und Auswertung (Abbildung 6).

Ende 2020 wurden drei weitere am Markt verfügbare SOTM Terminals in Zusammenarbeit mit der Firma ND SatCom GmbH aus Immenstaad am Bodensee getestet (siehe Abbildun-

gen 1 bis 3). Untersuchungsgegenstand war unter anderem die Fähigkeit der Terminals, die Satellitenverbindung während der Fahrt zu halten und nach einer Abschattung durch Vegetation oder Gebäude die Verbindung möglichst schnell wiederaufzubauen. Als Modem kam jeweils das von ND SatCom entwickelte Satellitenmodem SKYWAN 5G zum Einsatz, welches bereits in der Bundeswehr eingesetzt wird.

Die Testergebnisse zeigen erneut große Unterschiede im Trackingverhalten der Antennen, je nachdem wie groß und schwer die Antennen sind und welche Technologie zur Nachführung zum Einsatz kommt. Sogenannte Monopulse Trackingverfahren haben hier Vorteile gegenüber Antennen mit Conical Scan Verfahren. Zudem spielt die Abstimmung der Modemparаметer auf die jeweilige Antenne und die Einsatzumgebung eine entscheidende Rolle, die theoretischen Datenblattwerte auch praktisch zu erreichen. Gerade in dieser Hinsicht haben die Tests und Diskussionen das Erfordernis eines Systemintegrators untermauert, um ein in sich abgestimmtes und für den jeweiligen Einsatzzweck optimiertes Gesamtsystem aus Antenneneinheit und Modem zu liefern.



Abb. 4: Antennen des Munich Center for Space Communications der Universität der Bundeswehr München (Quelle: Thomas Benz, just imagine)



Abb. 5: Laboreinrichtung und Messgeräteausstattung des Munich Center for Space Communications (Quelle: UniBw, 2019)



Abb. 6: Auswertung der Messergebnisse (Quelle: ND SatCom, 2020)

Prof. Dr. Michael Eßig
 Universität der Bundeswehr München
 Neubiberg

PD Dr. Andreas H. Glas
 Universität der Bundeswehr München
 Neubiberg

info@unibw.de

info@unibw.de

Defence Acquisition & Supply Management: Wehrwirtschaftlich fundierte Beschaffungsforschung für die Bundeswehr

In einer neuen Forschungsgruppe Defence Acquisition & Supply Management manifestiert sich die Kooperation des BMVg mit dem Arbeitsgebiet Beschaffung der Universität der Bundeswehr München zur betriebswirtschaftlichen Analyse der Rüstungsbeschaffung. Sie bündelt die seit über zehn Jahren auf Projektbasis durchgeführten Einzelvorhaben u. a. zur Entwicklung einer Beschaffungsstrategie oder zur Situationsanalyse der wehrtechnischen Industrie.

Die Bundeswehr schließt jährlich Verträge im Umfang von etwa 11 Mrd. € und gilt damit als größte öffentliche Einkaufsorganisation. Einerseits wird über die Beschaffung die Industrie zur Ausrüstung (welche von Flugzeugen bis zur Büroausstattung reichen kann) beauftragt, andererseits bestimmt die Leistungsfähigkeit der Industrie darüber die Einsatzfähigkeit der Streitkräfte. Aus Sicht der Beschaffung ist es daher unerlässlich, ihre Beschaffungsmärkte zu kennen und die Handlungsweisen ihrer Akteure zu verstehen.

Dies ist umso wichtiger, als die Bundeswehr haushalts- und vergaberechtlich verpflichtet ist, wirtschaftlich zu handeln. Zwar agiert die Bundeswehr als öffentliche Organisation nicht erwerbswirtschaftlich, muss aber trotzdem das gewünschte Ergebnis bei der Erschließung des Leistungsbedarfs mit geringstmöglichem Ressourceneinsatz und damit wirtschaftlich erreichen. Um diesem Prinzip gerecht zu werden und besser zu verstehen, welche Auswirkungen ihr Beschaffungshandeln auf die Märkte und damit die zuliefernde Industrie hat, ist eine wehrwirtschaftliche Beschaffungsforschung unerlässlich.



Abb. 1: Perspektive Kosten- und Leistungsmanagement



Abb. 2: Wehr- und Beschaffungswirtschaftliche Forschung

Kapitän z.S. Ludwig Lennartz
 Bundesministerium der Verteidigung
 Bonn

BMVgAI2@bmvg.bund.de

Innerhalb der Betriebswirtschaftslehre existiert eine durchaus lange Tradition der Beschaffungsforschung. Als erste explizit beschaffungsbezogene Veröffentlichung gilt das 1887 erschienene Buch „Purchasing and materials function“ von Kirkman; der vermutlich erste Kurs zu „Purchasing and Supply Management“ wird 1917/18 an der Harvard University gehalten. Eine deutschsprachige Rüstungsbeschaffungsforschung hat sich dagegen noch kaum etabliert, d.h. die Beschaffungsprozesse im Verteidigungssektor sind wissenschaftlich bislang wenig untersucht. Ganz im Gegensatz zum angelsächsischen Raum, wo diese Fragestellungen unter dem Begriff Defence Acquisition Management relativ breit rezipiert sind. Defence Acquisition Management ist ein Ansatz, der den Spezifika der Rüstung gerecht wird und entsprechend die Steuerung des gesamten Prozesses für Beschaffung und Nutzung komplexer Systeme umfasst – von der Bedarfsanforderung, der Entwicklung, der Produktion über den Betrieb bis zur Außerdienststellung und Entsorgung eines (Waffen-) Systems (vgl. Abb. 1).

Orientiert an diesem Ansatz hat sich das Bundesministerium der Verteidigung entschlossen, die systematische Erforschung wehrwirtschaftlicher Beschaffung in einer Forschungsgruppe Defence Acquisition & Supply Management (DASM) zu bündeln und dazu entsprechende personelle und materielle Ressourcen bereitzustellen. Die Forschungsgruppe ist am Arbeitsgebiet

Beschaffung der UniBw M angesiedelt (vgl. Abb. 2 und 3). So wird aus der Vernetzung mit den anderen Forschungsgruppen des Arbeitsgebiets (u.a. die Stiftungs-Juniorprofessur der Audi AG über den Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft) relevantes Wissen für die wehrwirtschaftliche Forschung entstehen.

Der offizielle Aufbau von DASM beginnt im akademischen Jahr 2020/2021 mit der Besetzung der Stelle des wissenschaftlichen Geschäftsführers, basiert aber auf Forschungsarbeiten, die bereits seit vielen Jahren durchgeführt werden. Dazu gehören u. a. folgende Themen: Mit Performance Based Logistics (PBL) wird eine Neugestaltung der Vertragsbeziehungen mit Lieferanten untersucht. Im Mittelpunkt steht der Ansatz, die Vergütung der Lieferanten an das Leistungsergebnis (bspw. Verfügbarkeit eines Waffensystems in %) zu knüpfen. So wird vermieden, dass bspw. Selbstkostenerstattungssysteme zu Fehlanreizen führen. Erste empirische Befunde zeigen, dass PBL-Systeme tatsächlich zu einer höheren Verfügbarkeit führen (vgl. Abb. 4). Mit dem Lebenswegkostenmanagement geht man der Frage nach, welche Gesamtkosten mit einem Waffensystem verbunden sind. Dazu wurde u.a. eine Erhebung im Bereich der wehrtechnischen Industrie durchgeführt und Instrumente zur Kostenmessung identifiziert. Zudem wurden bereits mehrere Branchenstudien („Defence Industry Compass“) durchgeführt, welche insgesamt einen Überblick über die Wehrwirtschaft bieten.



Abb. 3: Universität der Bundeswehr München

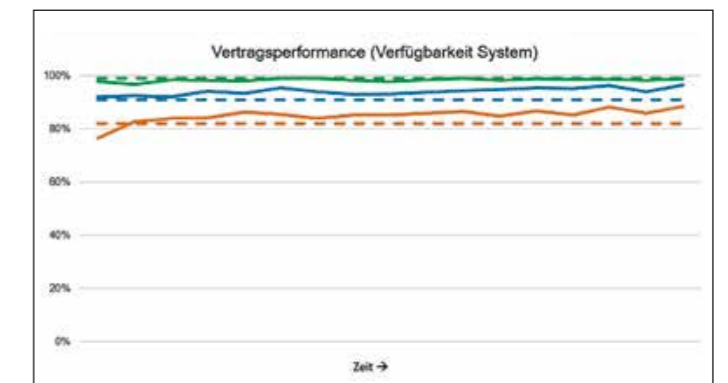


Abb. 4: Evaluation der Verfügbarkeit eines Systems

Dr. Annika Krick
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

Prof. Dr. Jörg Felfe
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

Gesundheit erfolgreich und bedarfsgerecht fördern!

Erfolgreiches Betriebliches Gesundheitsmanagement (BGM) muss die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erreichen und passende Angebote machen, besonders wenn es um psychische Gesundheit geht. Welche Faktoren die Teilnahme an BGM-Maßnahmen fördern und behindern und wie Stressmanagement durch ein bedarfsgerechtes Stärken- und Ressourcentraining verbessert werden kann, haben wir in zwei Projekten untersucht.

Teilnahme und Nicht-Teilnahme (Non Response) am Betrieblichen Gesundheitsmanagement – Ursachen und Gegenmaßnahmen

Hinsichtlich der wahrgenommenen Belastung in der Bundeswehr zeigen unsere Ergebnisse, dass 35 % der insgesamt 1142 befragten Beschäftigten und 46 % der 469 Führungskräfte die psychischen Belastungen als „hoch“ oder „sehr hoch“ einschätzen. Über 71 % artikulieren vor dem Hintergrund physischer und psychischer Belastungen einen hohen oder sehr hohen Bedarf an BGM-Angeboten. Unsere Ergebnisse zeigen weiterhin eine positive Einstellung zu BGM.

Von den Beschäftigten mit hohem bzw. sehr hohem Bedarf nehmen immerhin 71 % bereits an BGF-Maßnahmen teil. Jedoch gibt es auch 29 % mit hohem bzw. sehr hohem Bedarf, die noch nicht erreicht werden. Von denjenigen, die keinen bzw. geringen Bedarf haben, nehmen 19 % teil. Als wichtigste Teilnahmegründe konnten folgende Faktoren identifiziert werden: gesundheitlicher Nutzen durch BGM (zum Erhalt der Gesundheit/Sportlichkeit bzw. Verbesserung der Gesundheit



Abb. 1: Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Stärken- und Ressourcentrainings (SRT) lernen verschiedene mögliche Ressourcen kennen

Prof. Dr. Karl-Heinz Renner
Universität der Bundeswehr München
Neubiberg

info@unibw.de

bei aktuellem Leidensdruck), gute Rahmenbedingungen des Arbeitgebers (Zeit-, Wege- und Kostenersparnis, Attraktivität der Angebote), positive Mundpropaganda, Ermutigung und aktive Unterstützung durch Kolleginnen und Kollegen sowie durch die direkten Führungskräfte. Damit tragen organisatorische, führungsbezogene, soziale als auch individuelle Faktoren wesentlich zur Teilnahmeabsicht und zur Teilnahme bei. Wesentliche teilnahmehemmende Faktoren sind ein einseitiges Angebot (nur Bewegung), die Angst vor Stigmatisierung, aber auch die zum Teil mangelnde Unterstützung durch die direkte Führungskraft und Kolleginnen und Kollegen sowie noch sehr ausbaufähige Bedingungen in der Infrastruktur.

Bedarfsgerechte Stressprävention und Ressourcenförderung im BGM-Rollout der Bundeswehr

Die seit Jahren hohe Prävalenz psychischer Arbeitsbelastungen ist innerhalb und außerhalb des Geschäftsbereichs BMVg in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit gerückt. Gleichzeitig fokussieren die BGM-Maßnahmen an den unterschiedlichen Bundeswehr-Standorten bisher hauptsächlich den Bereich „Bewegung“ und damit eher die physische Gesundheit. Bedarfsgerechte und spezifische Maßnahmen zur Förderung der psychischen Gesundheit fehlen weitgehend. Unser Projekt

leistet einen wichtigen Beitrag, um diesen „mental health gap“ zu schließen.

Die Ergebnisse der Evaluation eines von uns entwickelten Stärken- und Ressourcentrainings zur Stressprävention (SRT; <https://staerken-ressourcen-training.jimdofree.com>, siehe Abb. 1 und 2) zeigen, dass teilnehmende Personen eine signifikante Verbesserung subjektiver Evaluationskriterien (Achtsamkeit, SelfCare, positiver Affekt, Gelassenheit, Resilienz, Stress- und Beschwerdereduktion) im Vergleich zu einer inaktiven Kontrollgruppe aufweisen. Der Vergleich mit einer aktiven Kontrollgruppe (Progressive Muskelentspannung) zeigte eine Überlegenheit des SRT in der Wirksamkeit des SRTs hinsichtlich einer Zunahme in SelfCare, positivem Affekt, und Achtsamkeit, sowie einer Reduktion der Beschwerden und Müdigkeit. Zudem zeigten SRT-Teilnehmende über die Zeit hinweg eine größere Zunahme der Herzratenvariabilität (HRV) als die PMR-Teilnehmenden und die inaktive Kontrollgruppe.

Wir haben zudem ein Multiplikatorenschulungs-Konzept entwickelt, erfolgreich umgesetzt und positiv evaluiert, um Peers als Trainerinnen und Trainer des SRTs auszubilden. Zudem wurde das SRT für den militärischen Bereich erfolgreich angepasst.



Abb. 2: Teilnehmerinnen und Teilnehmer am SRT bei einer Achtsamkeitsübung (body scan)

Oberstleutnant Dipl.-Inform. Gerhard A. Schwarz
 Universität der Bundeswehr München,
 Institut für Technische Informatik
 Neubiberg

dekanat.inf@unibw.de

Univ.-Prof. Dr. Gunnar Teege
 Universität der Bundeswehr München,
 Institut für Technische Informatik
 Neubiberg

dekanat.inf@unibw.de

Führen mit IT

Eine gemeinsame Wissensbasis als „Shared Information Space“ (SIS) mit einem verteilten, NetOpFü-fähigen Informationsmanagement verschafft modernen kollaborierenden Wissensarbeitern genauso wie militärischen Akteuren Vorsprung und Wirkungsüberlegenheit. Das Konzept „Führen mit IT“ erlaubt den Umbau militärischer „Führungspaläste“ zu sich agil weiterentwickelnden und Ad hoc anpassbaren „Führungszelten“ (Community of Interest).

Im Zivilen wirkt Industrie 4.0 als aktueller Innovationsimpuls und Internet of Things zeigt eine Facette von Weiser's Vision des „allgegenwärtigen, unauffälligen Computers“, während im Militärischen diese Entwicklung als „Vernetzte Operationsführung“ (NetOpFü) bekannt ist. Gerade das „Ubiquitous Computing“ führt uns vor Augen, dass der Weg zum Erfolg nicht alleine auf dem Feld der Technik oder Applikation liegt, sondern gerade die Integration des Nutzers mit seinem Wissen, Sinnfindungspotential (Sensemaking) und seiner Kreativität den essentiellen Vorsprung erzielt.

Studien in der wehrtechnischen Forschung und Technologie (F&T) nutzten ein bei der Universität der Bundeswehr München definiertes Informationsnetz, das über die Information dynamisch Mensch und Technik (H - I - T) verbindet. Diese Informationsdrehscheibe realisiert mit ihrer semantischen Ordnung Schmidt/Bannon's Idee des „Shared Information Space“ (SIS). Die aus NetOpFü abgeleitete Vernetzung setzt in den Informationsnetzen gleichzeitig Inhalt und Modellbildung als Unternehmensarchitektur (oberste Schichten) um. Die Nutzer organisieren ihre Führungsinformation und Kollaboration

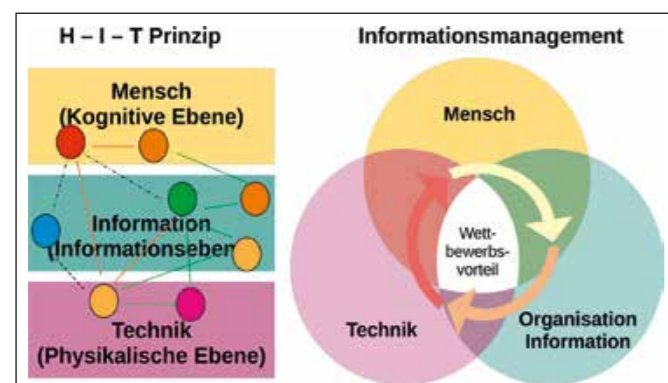


Abb. 1: Informationsmanagement vernetzt über Information Köpfe und Technik (H - I - T) (Quelle: Gerhard Schwarz)

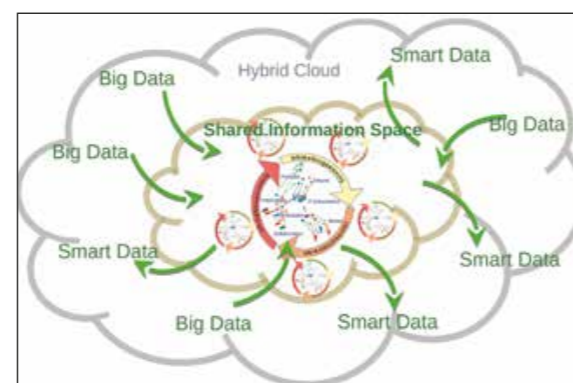


Abb. 2: NetOpFü-fähiges Informationsmanagement in der SIS-Cloud (Quelle: Gerhard Schwarz)

mit dem neuen Informationsmanagementkreislauf selbstsynchronisierend im Sinne eines gemeinsamen Ziels (command intent), um Agilität und Vorsprung zu erzielen (Abb. 1). Bewährte Verfahren einschließlich moderner Technologiestacks (Web Oriented Architecture, Microservices etc.) werden nicht ersetzt, sondern durch die Informationsnetze gekapselt und flexibel neu verknüpft. Das Informationsmanagement steuert die Erschließung der Daten auf technischer Ebene (Datenmanagement) und verbindet über Informationsnetze Führungsinformation mit Applikationen, die für den Nutzer mit aktuellen „Low-Coding-Plattformen“ agile und dynamische weiterentwickelt werden. Dabei erlauben die Parallelen zu Unternehmensarchitekturen eine nahtlose Integration in vorhandene IT-Governance (Abb. 2).

Der generische Informationsmanagementkreislauf ist zwar der militärischen Führung entlehnt und wurde mit einem „WhatsBw“ genannten Prototypen überprüft, eignet sich aber gleichermaßen für die allgemein nutzbare „gegenseitige Informiertheit“ als auch Sinnfindung.

Mit diesen Prototypen aus den F&T-Studien konnte die Eignung und Nutzbarkeit des Informationsmanagementkreises bei militärischen Anwendungsfällen, aber auch für Alltagsaufgaben wie Messaging gezeigt werden (Abb. 3). Der Vorteil besteht insbesondere in der Wiederverwendbarkeit der Nachrichten in den Arbeitsprozessen und einem parallelen Aufbau der eigenen Wissensbasis. Dieser, nicht nur für militärische Führung im Einsatz relevante, ressourcensparende Umgang mit Information kann auch bei der Projektentwicklung in der Rüstung, der Planung oder Einsatznachbereitung sowie in jedem Bereich kognitiver Arbeit angewandt werden. In

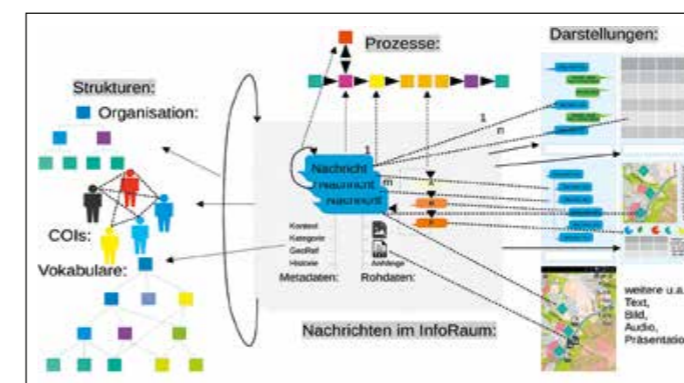


Abb. 3: Systemskizze „WhatsBw“ auf der Basis Informationsnetze (Quelle: Gerhard Schwarz)

der Streitkräftebasis wurden mit einer ersten Untersuchung „Führen mit IT“ begonnen, militärische Führungsprinzipien (Führen mit Auftrag) und Informationstechnik über dieses kollaborative Informationsmanagement zu vereinen (Abb. 4).

Im Vordergrund der Betrachtung steht eine angemessener Kompromiss zwischen einerseits immer schnellerer Entwicklung und Reaktionsfähigkeit versus einer dennoch klar strukturierten, wohlgedachten, resilienten und nachhaltigen Architektur der IT. Am Beispiel der „Methode Architektur“ der Bundeswehr ist diese Schere zwischen Modellierung des Zielzustandes und der Umsetzung besonders auffällig, da sowohl die Modellierung als auch die Realisierungen Jahre verschlingen, so dass die Ergebnisse den Nutzer oft nicht (mehr) überzeugen.

Der Informationsmanagementkreislauf erlaubt zwei wesentliche Prinzipien zu vereinen: ein agiler Aufbau einer Erstbefähigung mit dynamischer Nutzung, agiler Fortschreibung und Wiederverwendung bewährter Anteile zur Zielbefähigung sowie eine sich stetig an die Anforderungen anpassende Struktur der Organisation durch das Community of Interest-Prinzip. Eine frühe Erkenntnis, auch aus der NATO „Net Force“-Untersuchung, ist, dass sich hierüber sowohl hochagile Führungsvorgänge als auch verstetigte und optimierte Arbeitsprozesse gleichermaßen organisieren und durch einen SIS als Drehscheibe unterstützen lassen.

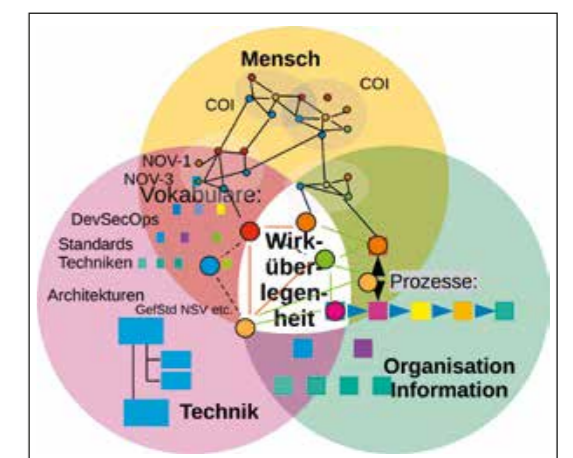


Abb. 4: Konzeption Führen mit IT (Quelle: Bundeswehr)

Prof. Dr.-Ing. Jens P. Wulfsberg
Helmut-Schmidt-Universität/
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Major d.R. Marc Fette M.Sc. & MBA
Helmut-Schmidt-Universität/
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Kapitänleutnant Sascha Hartig M.Sc.
Helmut-Schmidt-Universität/
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Analyse der Recyclingfähigkeit von thermoplastischen Kunststoffen zur Nutzung bei additiver Fertigung im maritimen Sektor

Die additive Fertigung wird im maritimen Sektor immer stärker integriert. Schiffe bieten durch ihre dislozierte Position auf See eine besondere Umgebung. Ressourcen sollten aufgrund der begrenzten Lagerkapazitäten an Bord optimal genutzt werden. Das Recycling von thermoplastischen Abfällen bietet eine solche Optimierungsmöglichkeit, damit diese erneut an Bord genutzt werden können.

Die Relevanz additiver Fertigung mittels thermoplastischer Kunststoffe steigt im maritimen Bereich kontinuierlich. Anwendungsfälle zur schnellen Ersatzteilherstellung an Bord befinden sich derzeit noch im Forschungsstadium.

Vorreiter in diesem Bereich ist die militärische Seefahrt. Nationen wie die USA oder die Niederlande haben additive Fertigungsmöglichkeiten in Form von Fused Filament Fabrication (FFF)-Druckern an Bord bereits integriert. Derzeit wird das für die FFF-Drucker benötigte Material bis zur Nutzung eingelagert. Wenn zukünftig der Bedarf für die additive Fertigung an Bord steigt, wird auch der Materialbedarf steigen. Um diesen Bedarf nahezu autark zu decken, wie in Abbildung 1 gezeigt, kann das Recycling von thermoplastischen Kunststoffen einen wichtigen Beitrag leisten. Ergebnisse von Filamentrecycling im nichtindustriellen Maßstab entsprechen zum jetzigen Stand der Technik nicht den qualitativen Ansprüchen, die für eine Nutzung und mögliche Applikationen notwendig sind. Dabei werden viele thermoplastische Kunststoffe an Bord in anderer Form, wie z.B. Kunststoffflaschen genutzt, die wiederum nach ihrer Verwendung als Abfall entsorgt werden.

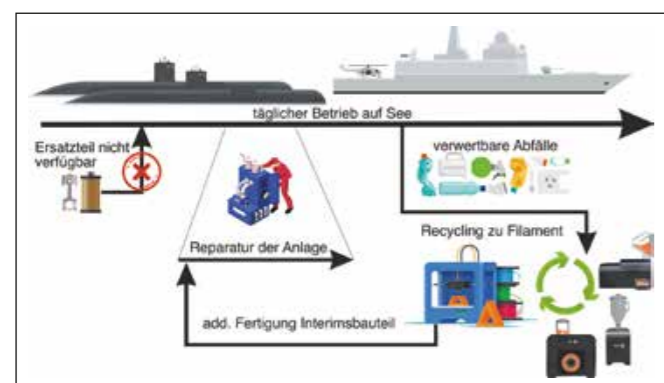


Abb. 1: Schematische Darstellung eines möglichen Anwendungsfalles für 3D-Druck an Bord. Das Ausgangsmaterial für den Drucker wird durch Recycling thermoplastischer Kunststoffabfälle an Bord gewonnen



Abb. 2: Desktop-Filamentherstellungsanlage mit Trockner (links) und Extruder mit integrierter Aufpuleinrichtung (rechts)

Tobias Meyer M.Sc.
Helmut-Schmidt-Universität/
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Eugen Musienko M.Eng.
Helmut-Schmidt-Universität/
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Hier fallen im Schnitt laut der deutschen Umwelthilfe pro Person 200 Flaschen pro Jahr an und auch an Bord deutscher Marineschiffe stellen sie den Großteil an thermoplastischen Kunststoffabfällen dar. In Kooperation zwischen dem Laboratorium Fertigungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg und der Deutschen Marine sollen diese ungenutzten Ressourcen im Labor zu nutzbarem Filament für den FFF-Druck umprozessiert werden.

Erste Experimente und Untersuchungen zum Recycling von Fehldrucken und Abfallprodukten, Abbildung 2 – 4, sind vielversprechend und bieten Potentiale für die Nutzung an Bord. Die geplanten Experimente mit Polymeren, die im Ursprung nicht für den 3D-Druck hergestellt wurden, stellen nun den nächsten konsequenten Schritt dar. Die Arbeiten zum Werkstoff-Recycling ergänzen dabei das Vorhaben, die additive Fertigung als Gruppe neuartiger Fertigungsverfahren zur Nutzung in die Bundeswehr einzuführen. Da die additiven Fertigungsverfahren aufgrund ihrer Wirkweise in der Lage sind, Einzelstücke und kleine Losgrößen wirtschaftlich zu fertigen, sollen diese zum Zweck der verbesserten Ersatzteilversorgung im Rahmen des Obsoleszenz-Managements der Bundeswehr eingesetzt werden.

Neben dem CD&E Projekt „3D-Druck in der Bundeswehr“, welches sich mit der Integration der additiven Fertigung in existierende Bundeswehr-Prozesse und -Abläufe beschäftigt, werden im vom Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB) getragenen und an der Helmut-Schmidt-Universität durchgeführten Studienprojekt „AddiMuK“ primär technologische und wirtschaftliche Aspekte der additiven Ersatzteilerzeugung unter Nutzung von Techniken sowie neuen Methoden des Reverse Engineering untersucht. Aufgrund der Notwendigkeit zur Bereitstellung eines prozessspezifischen Ausgangsmaterials in geeigneter Form, ergibt sich eine thematische Schnittmenge mit Synergiepotential zwischen Recycling und dezentraler additiver Ersatzteilerzeugung nach akutem und spezifischem Bedarf. Hierdurch lässt sich ein Spezialfall der dezentralen additiven Fertigung untersuchen, welcher sowohl für Schiffe und Boote der Bundeswehr, aber zukünftig und zunehmend auch für den zivilen maritimen Sektor eine hohe Relevanz besitzen könnte.



Abb. 3: Letzter Prozessschritt der Filamentherstellung Extrusion von recyceltem Material und anschließendes Aufspulen

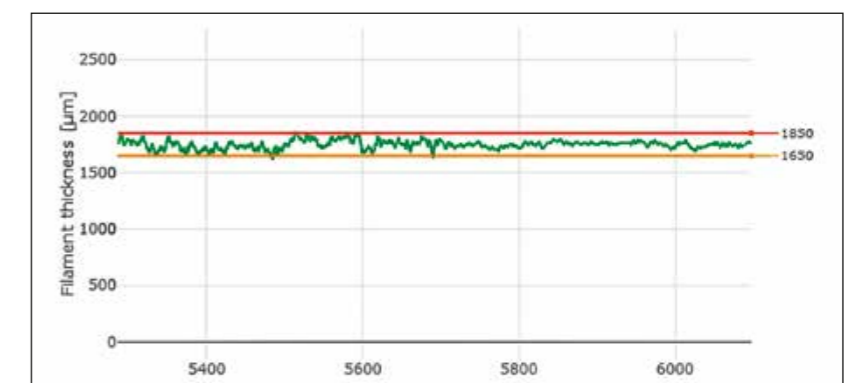


Abb. 4: Darstellung des Filamentdurchmessers über die Prozesszeit mit oberem und unterem Grenzwert für die Herstellung von 1,75mm PLA Filament

Patrick Nowak
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Udo Zölzer
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Räumliches 3D-Audio zur Verbesserung des Gehörschutzes von Soldaten

Aufgrund des hohen Geräuschpegels auf dem Gefechtsfeld ist ein Gehörschutz für erfolgreiche Missionen unerlässlich. Das Tragen des Gehörschutzes reduziert jedoch das Situationsbewusstsein von Soldatinnen und Soldaten. Durch räumliches 3D-Audio kann der Gehörschutz mit einem transparent klingenden System ausgestattet und die Kommunikation mit zusätzlichen Richtungsinformationen aufgewertet werden.

Menschen sind in der Lage, Schallquellen basierend auf dem Einfluss der menschlichen Anatomie, wie Ohrmuschel, Kopf und Rumpf, auf das am Trommelfell eintreffende Schallfeld zu lokalisieren. Für die horizontale Lokalisation werden hauptsächlich interaurale Zeit- und Pegeldifferenzen ausgewertet. Darüber hinaus liefern monaurale spektrale Merkmale Informationen zur vertikalen Lokalisation. Die richtungsabhängigen Außenohrübertragungsfunktionen (AOÜF) zwischen externen Schallquellen und dem Trommelfell fassen diese Merkmale zusammen. Aufgrund der unterschiedlichen Anatomie menschlicher Körper sind AOÜF sehr individuell.

Obwohl Stereosignale ermöglichen, eine Schallquelle entlang der interauralen Achse zu verschieben, wird weder eine vertikale Lokalisation noch eine Externalisierung erzielt (Abb. 1). Im Vergleich dazu stellt das binaurale Rendern über Kopfhörer die dreidimensionale Lokalisationsfähigkeit wieder her, indem die Signale, die beim natürlichen Hören am Trommelfell auftreten, aufgezeichnet oder synthetisiert werden. Obwohl binaurale Aufnahmen einfach zu implementieren sind, ist die Wiedergabe auf die aufgenommenen Szenen beschränkt.

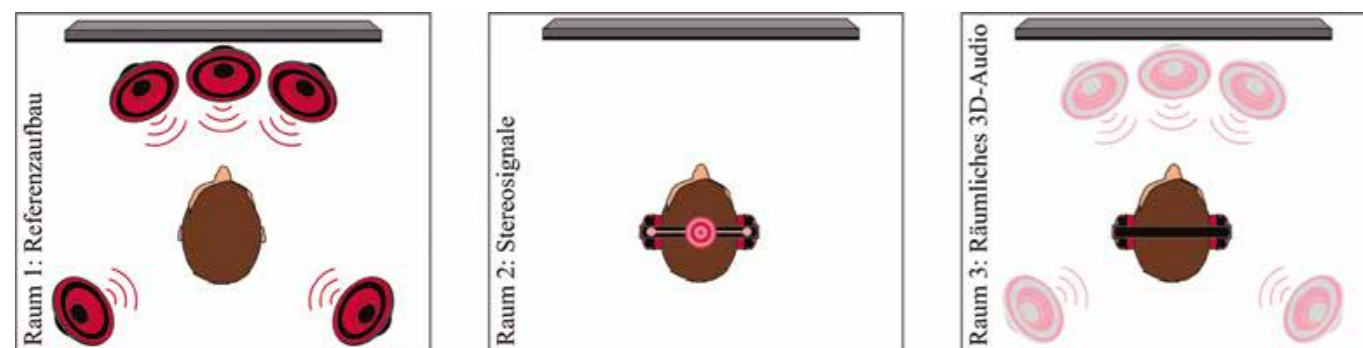


Abb. 1: Beispielhafte Verwendung von räumlichem 3D-Audio für das Setup von fünf Lautsprechern. Raum 1 zeigt den Referenzaufbau mit fünf realen Lautsprechern. Im Vergleich dazu werden die Lautsprecher in Raum 2 und Raum 3 durch einen Kopfhörer ersetzt. Bei der Verwendung von Stereosignalen über Kopfhörer in Raum 2 sind nur Verschiebungen der virtuellen Schallquelle entlang der interauralen Achse zwischen den beiden Ohren möglich, während die Verwendung von räumlichem 3D-Audio in Raum 3 externe virtuelle Schallquellen in Richtung der in Raum 1 gezeigten realen Lautsprecher ermöglicht

Lorenz Kröner
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL)
Saint-Louis, Frankreich

isl@isl.eu

Dr.-Ing. Véronique Zimpfer
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL)
Saint-Louis, Frankreich

isl@isl.eu

Demgegenüber kann die binaurale Synthese eine virtuelle Schallquelle an beliebiger Position erzeugen, indem ein monaurales Audiosignal mit dem entsprechenden AOÜF-Paar gefiltert wird. Auf diese Weise können neue akustische Szenen erzeugt werden. Für Soldatinnen und Soldaten kann die binaurale Synthese verwendet werden, um sowohl den Gehörschutz als auch die Kommunikation zu verbessern.

Aufgrund des hohen Geräuschpegels und der Stoßwellen auf dem Gefechtsfeld, die ein ernstes Risiko für das Gehör darstellen, ist ein Gehörschutz für Soldatinnen und Soldaten unerlässlich. Das Tragen von Gehörschutz verändert jedoch die Lokalisationsmerkmale und verringert so die Lokalisationsfähigkeit. Binaurale Synthese kann verwendet werden, um die Audiosignale wiederherzustellen, die die ursprünglichen Merkmale enthalten, wodurch die Richtungsinformation der externen Schallquelle beibehalten wird und zu einem transparent klingenden Gehörschutz führt.

Zusätzlich kann die binaurale Synthese verwendet werden, um die Kommunikation zu verbessern, indem räumliche Informationen in das übertragene Audiosignal einbezogen werden. Auf diese Weise erhalten Soldaten gleichzeitig Informationen über den Inhalt der Nachricht und die Position des Sprechers oder der Bedrohung (Abb. 2). In Szenarien

mit mehreren gleichzeitigen Schallquellen ermöglicht die räumliche Trennung der Schallquellen das Extrahieren der wichtigsten Informationen durch Konzentration auf eine Schallquelle. Die binaurale Synthese trägt somit zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit bei, was zu einem besseren Verständnis neuer Anweisungen, einer schnelleren Reaktionszeit und einem besseren Bewusstsein für Bedrohungen führt.

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass binaurale Synthese basierend auf der Verwendung nicht individueller AOÜF zu großen Richtungsfehlern, einer erhöhten Vorne/Hinten-Vertauschungsrate und einer Im-Kopf-Lokalisation führt. Das Kooperationsprojekt zwischen HSU und ISL fokussiert sich sowohl auf neue Gehörschutzentwürfe als auch auf die Messung, Simulation und Approximation individueller AOÜF. Weiter wird die binaurale Synthese in Bezug auf die Lokalisationsgenauigkeit und die Realisierbarkeit auf gewichtsoptimierten und stromsparenden eingebetteten Systemen verbessert, um die speziellen Anforderungen an den Gehörschutz für Soldatinnen und Soldaten zu erfüllen.

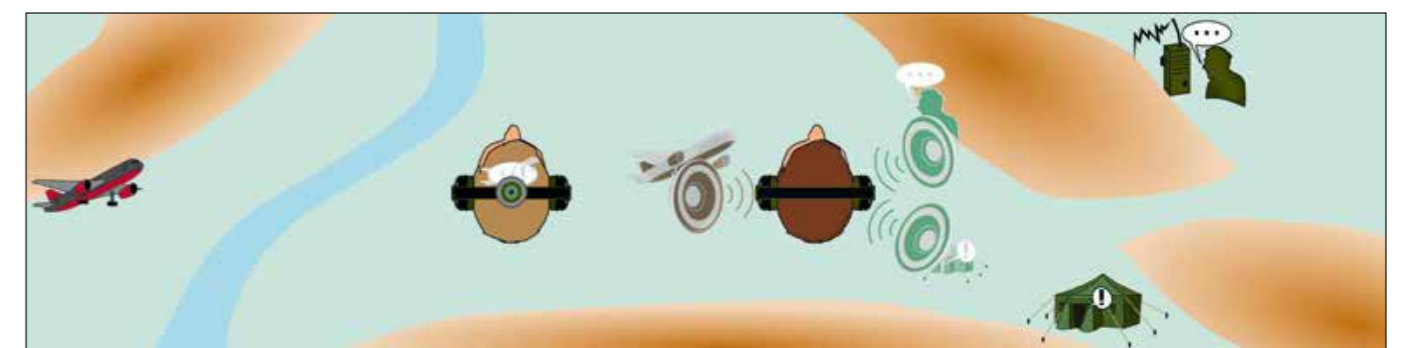


Abb. 2: Szenario eines Gefechtsfelds mit mehreren gleichzeitigen Schallquellen, wie einer Nachricht von einem anderen Soldaten von vorne rechts, einem neuen Befehl vom Basislager von hinten rechts und der Warnung über ein feindliches Flugzeug auf der linken Seite. Bei gleichzeitiger Wiedergabe der Audiosignale hört der linke Soldat eine nicht unterscheidbare Mischung der einzelnen, monauralen Signale und kann die Schallquellen schwer voneinander trennen. Dagegen kann der rechte Soldat aufgrund der räumlichen Informationen der binauralen Signale die Schallquellen trennen und eine Einzelne fokussieren

Prof. Dr.-Ing. Jens P. Wulfsberg
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Hauptmann d.R. Marc Fette, M.Sc. & MBA
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Kapitänleutnant Sascha Hartig, M.Sc.
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Nutzung von additiver Fertigung zur Herstellung von Surrogaten für die Analyse Nichtletaler Wirkmittel

Validierte und wissenschaftlich fundierte Aussagen über die Auswirkungen von Nichtletalen Wirkmitteln (NLW) auf den menschlichen Körper liegen kaum vor. Diese sind essentiell, um sicherzustellen, dass es beim Einsatz von kinetischen NLW zu keinen schweren oder tödlichen Verletzungen kommen kann. Daher muss die Möglichkeit entwickelt werden Auswirkungen von NLW prognostizieren zu können.

In diesem Zusammenhang fehlt es an Prüf- und Validierungsmöglichkeiten, die es den Dienststellen der Bundeswehr ermöglichen sicherzustellen, dass NLW die komplexen und multi-kriteriellen Anforderungen erfüllen. Hierbei können Knochen- und Organsurrogate zum Einsatz kommen, welche sowohl die Formgebung, als auch die physikalischen Eigenschaften von Gewebe und Knochen imitieren.

Die aus den Prüf- und Validierungsmöglichkeiten resultierenden Daten und Erkenntnisse können zudem in moderne Simulationsmethoden einfließen, die zukünftig die Anzahl und den Umfang physischer Untersuchungen reduzieren können. Die Beschaffung bzw. die Herstellung von Surrogaten, welche die notwendigen Anforderungen erfüllen, ist derzeit schwer zu realisieren.

Aus Grund des Mangels an verlässlichen Surrogaten befasst sich die Wehrtechnischen Dienststelle 52, Geschäftsfeld 320 (WTD 52) zusammen mit dem Laboratorium Fertigungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg (kurz: HSU) mit der anforderungsgerechten Substi-

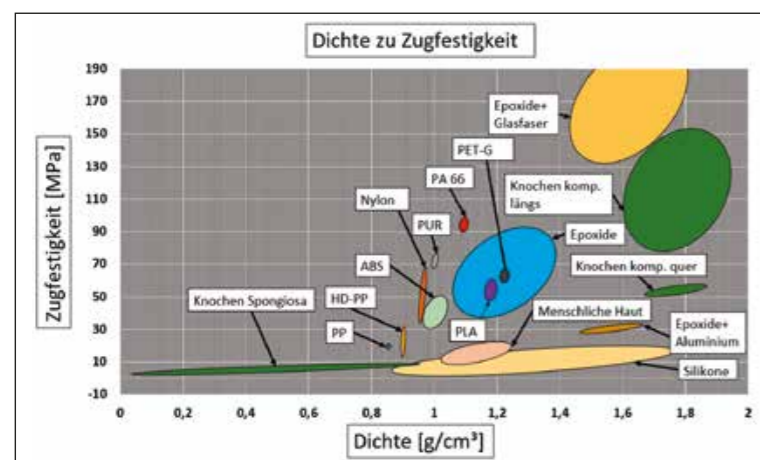


Abb. 1: Diagramm der Dichte zur Zugfestigkeit von möglichen Surrogat-Materialien

Eugen Musienko, M.Eng.
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg,
Laboratorium Fertigungstechnik
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Frank Landmann
Wehrtechnische Dienststelle für Schutz- und
Sondertechnik (WTD 52)
Schneizdreuth

WTD52posteingang@bundeswehr.org

André Knörnschild, M.Sc. (Eng),
Dipl.-Ing. Medizintechnik (FH)
Wehrtechnische Dienststelle für Schutz- und
Sondertechnik (WTD 52)
Schneizdreuth

WTD52posteingang@bundeswehr.org

tution von Gewebe und Knochen durch Surrogate. Hierbei ist die additive Fertigung als eine der Kerntechnologien identifiziert wurden, da diese vielversprechend die komplexen Strukturen der menschlichen Formgebung abbilden kann. Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei der Herstellung eine Verfahrenskombination eingesetzt werden muss.

Ziel der gemeinsamen Arbeit ist es daher, zunächst eine Prozesskette zu entwickeln und prototypisch umzusetzen, mit deren Hilfe, basierend auf einer Analyse des Stands der Technik und eines internen Workshops, Knochen- und Organsurrogaten anforderungsgerecht gefertigt werden sollen. Entwickelt werden soll eine Methodik zur Evaluierung der vorhandenen Technologien auf dem Markt zur Herstellung von Surrogaten (siehe Abbildung 1 bis 2).

Weiterhin sollen dann mithilfe der ausgewählten Technologien und Materialien Testcoupons sowie -körper verschiedener Größe und Komplexität zur Berücksichtigung unterschiedlicher Anforderungsspektren hergestellt werden.

Im Dezember 2020 hat zu dieser Thematik ein viertägiger Workshop stattgefunden, organisiert von der HSU und der WTD 52, bei dem die Kernanforderungen und möglichen Technologien für die Surrogat-Herstellung erarbeitet wurden.

In diesem Zusammenhang bedanken wir uns bei den anderen teilnehmenden Dienststellen und Instituten, die ebenso einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg geleistet haben:

- Wehrtechnische Dienststelle 91, Geschäftsfeld 450
- Ludwig-Maximilian-Universität, Institut für Rechtsmedizin
- Universität der Bundeswehr München, Professur für Waffen- und Munitionstechnik
- Deutsch-Französisches Forschungsinstitut Saint-Louis
- Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI
- Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB) Geschäftsfeld 240 in Erding
- Universitätsklinikum Leipzig, Institut für Rechtsmedizin
- Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Institut für Rechtsmedizin

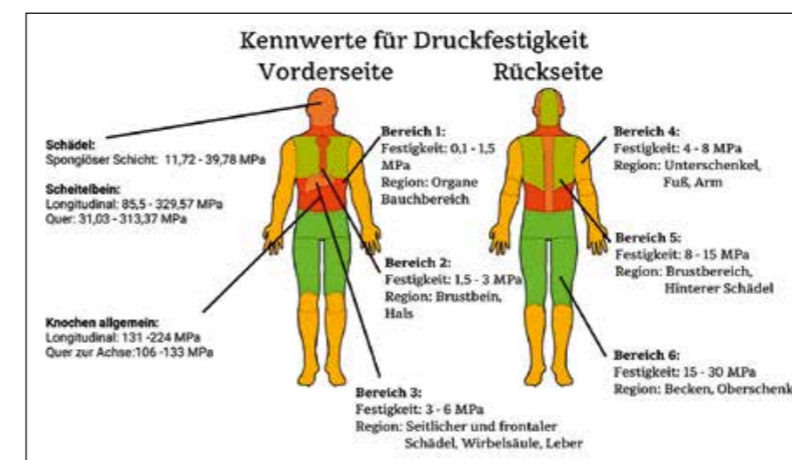


Abb. 2: Schaubild der Druckfestigkeit von menschlichen Knochen und Gewebe

M.Sc. Jakob Krooß
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Prof. Dr.-Ing Alexander Fay
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

Forschungsbuero@hsu-hh.de

Echtzeitdetektion, Lokalisierung und Volumenschätzung von Deflagrationen in militärischen Fahrzeugen

Durch die Ergänzung mit Infrarotsensoren sowie die Portierung auf ein Field Programmable Gate Array konnten die Anfälligkeit gegenüber Fehllarmen sowie die Berechnungszeit eines auf Bildverarbeitung basierenden Systems für die Deflagrationsdetektion deutlich reduziert werden. Weiterhin wurde durch neuartige Algorithmen die Robustheit der Lokalisierung und Volumenschätzung erhöht.

Deflagrationen im Inneren militärischer Fahrzeuge stellen eine große Gefahr für die Besatzung dar (Abb. 1). Die Besatzungsräume gepanzerter Fahrzeuge der Bundeswehr sind deshalb überwiegend mit Brandunterdrückungsanlagen ausgestattet, um eine anlaufende Deflagration bereits während ihrer frühen Entwicklung zu detektieren und zu löschen.

Eine Alternative zum inzwischen verbotenen Halon und anderen die Ozonschicht schädigenden Löschmitteln stellt ein Wassernebel dar, der gesundheitlich völlig unbedenklich ist. Die volle Löschwirkung des Wassernebels kann jedoch nur erreicht werden, wenn er gezielt am Ort der Deflagration ausgebracht wird. Daher muss die Deflagration nicht nur frühzeitig detektiert, sondern auch genau lokalisiert und ihr Volumen ermittelt werden.

Aktuelle Detektionssysteme basieren auf Infrarotsensoren und können eine Deflagration zwar ausreichend schnell (<15 ms) detektieren, liefern jedoch keine weiteren Informationen über deren Ort, Größe oder Ausbreitungsgeschwindigkeit und sind somit nicht für die Verwendung mit Wassernebelsystemen geeignet.



Abb. 1: Zeitlicher Verlauf einer künstlich erzeugten Deflagration. Zwischen den Bildern liegen jeweils 10 ms

TRDir. Felix Kümmerlen
Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien
– ABC-Schutz (WIS)
Munster

WISPosteingang@bundeswehr.org

In zwei vorhergehenden Projekten wurde deshalb bereits ein Algorithmus für die Detektion von Deflagrationen in den Bildern mehrerer Hochgeschwindigkeitskameras (200 Hz) entwickelt. Im Vergleich zu den aktuell verwendeten Infrarotsensoren generierte dieser jedoch viele Fehllarme.

Im Rahmen des aktuellen Projekts wurde das Kamera-Detektionssystem durch die bereits eingesetzten Infrarotsensoren ergänzt (Abb. 2), um die Anfälligkeit gegenüber Fehllarmen zu reduzieren. Durch die sich ergänzenden Detektionsverfahren ist das Risiko von Fehllarmen nun effektiv niedriger als beim ausschließlichen Einsatz der Infrarotsensoren. In den durchgeführten Versuchen in einem nachgebauten Besatzungsraum (Abb. 3) wurden trotzdem alle Deflagrationen frühzeitig erkannt.

Zudem wurde ein speziell an den Anwendungsfall angepasster Lokalisierungsalgorithmus entwickelt. Der neue Algorithmus ist, insbesondere gegenüber Reflexionen, deutlich robuster als bisherige Verfahren und ermöglicht den Einsatz des Detektionssystems auch unter Einsatzbedingungen mit partiellen Verdeckungen der Kameras und reflektierenden Oberflächen. Weiterhin wurde ein effizienter Algorithmus für die Volumenschätzung entwickelt.

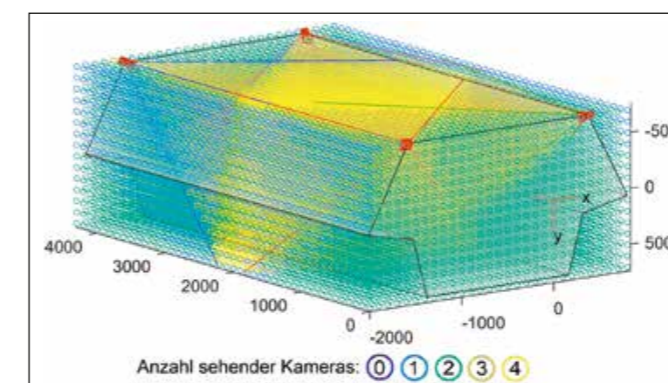


Abb. 2: Ideale Kamerapositionierung. Jeder Punkt im Besatzungsraum wird von mindestens zwei Kameras abgedeckt. Jeweils eine Kamera und ein Infrarotsensor bilden eine Einheit

Schlussendlich wurde der berechnungsintensive Teil des Algorithmus experimentell von der CPU- bzw. GPU-Umsetzung auf ein Field Programmable Gate Array portiert, wodurch dessen Verarbeitungsdauer pro Bild auf einen garantierten, vernachlässigbaren Wert im ns-Bereich gesenkt werden konnte.

Insgesamt ist das resultierende Kamera-Sensor-Detektionssystem bzgl. Sensitivität, Spezifität und Detektionsgeschwindigkeit nun den bisher verwendeten Sensor-Detektionssystemen ebenbürtig. Ergänzend zu diesen können jedoch weitere Informationen über die Deflagration wie Ort und Volumen und deren Entwicklung über die Zeit bereitgestellt werden. Die Kosten des Gesamtsystems werden dabei nicht wesentlich erhöht.

Im Fokus weiterer Forschungen steht nun insbesondere die punktgenaue Ausbringung des Wassernebels.



Abb. 3: Das in den Versuchen verwendete Mock-Up eines Schützenpanzers

Prof. Dr. Jörg Felfe
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

forschungsbuero@hsu-hh.de

Dr. Annabell Reiner
Helmut-Schmidt-Universität /
Universität der Bundeswehr Hamburg
Hamburg

forschungsbuero@hsu-hh.de

Der Einfluss von Maßnahmen aus dem Bereich der Betreuung im Einsatz auf die Gesundheit und Motivation der Soldatinnen und Soldaten

Einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung und zum Erhalt der Einsatzfähigkeit und -bereitschaft leistet die Betreuung im Einsatz (BiE). In einem Projekt zur Evaluation der BiE zeigten sich positive Effekte von Angeboten aus dem Bereich Betreuungskommunikation, Sport, Unterhaltung und Unterstützung auf die Gesundheit, Motivation, Einsatzbereitschaft und das Commitment der Soldatinnen und Soldaten.

Verschiedene individuelle und organisatorische Faktoren beeinflussen die Einsatzbereitschaft von Soldatinnen und Soldaten in den Einsatzgebieten. Während es hinreichend Evidenz für die Bedeutung von individuellen Merkmalen oder Charakteristika der Tätigkeit (z. B. Arbeitsinhalt, -klima) gibt, wurde die Wirkung von Maßnahmen aus dem Bereich der BiE bisher kaum untersucht. In einem von 2017 bis 2019 vom Einsatzführungskommando und einem Projektteam der Universität der Bundeswehr Hamburg um Prof. Jörg Felfe und Prof. Wenzel Matiaske durchgeführten Projekt zur Evaluation der BiE wurden die Effekte von Angeboten aus dem Bereich Betreuungskommunikation, Sport, Unterhaltung und Unterstützung durch Betreuungspersonal auf die physische und mentale Gesundheit, Motivation, Einsatzbereitschaft und das Commitment der Soldatinnen und Soldaten im Einsatz untersucht.

Um möglichst valide Erkenntnisse zu sammeln, wurden durch das Projektteam vor Ort in den Einsatzgebieten Daten erhoben und Beobachtungen getätigt. Teilweise variierten die Rahmenbedingungen und Betreuungsangebote je nach



Abb. 1: Outdoor-Sportzone in Gao, Mali (2018)



Abb. 2: Zelt mit Sportgeräten auf Zypern (2018)



Abb. 3: MilFit-Container in Al-Azraq, Jordanien (2018)

ORR Dr. Keven England
Einsatzführungskommando der Bundeswehr
Schwielowsee

einsfuekdobwchdst@bundeswehr.org

Oberstleutnant Alexander Kleizmantatis
Einsatzführungskommando der Bundeswehr
Schwielowsee

einsfuekdobwchdst@bundeswehr.org

Standort erheblich: So sind z. B. die Möglichkeiten zur Ausübung von sportlichen Outdoor-Aktivitäten in Gao, Mali aufgrund der Hitze deutlich eingeschränkt (Abb. 1). Auf Zypern wurde der Hitze mit klimatisierten Sportzelten entgegengewirkt (Abb. 2). Sowohl klimatisch als auch von der Ausstattung her bieten sich den Soldatinnen und Soldaten in Al-Azraq, Jordanien, ideale Trainingsbedingungen. So wird der MilFit-Container gerne für die Erhaltung der individuellen Fitness genutzt (Abb. 3) und der Basketball- und Fußballplatz zur Stärkung des Teamgeistes (Abb. 4). Das relativ neu errichtete Camp verfügt zudem über eine großzügige Betreuungseinrichtung mit Kicker, Billardtisch, Büchern, Spielen und Filmen (Abb. 5).

Insgesamt wurden N = 3095 Personen in den verschiedenen Einsatzkontingenten der Bundeswehr befragt, von denen 7,8 % weiblich und 51,1 % unter 30 Jahre alt waren. 30 % hatten Mannschaftsdienstgrade, 50,4 % Unteroffiziersdienstgrade und 17,3 % Offiziersgrade oder höher inne. Die Teilnahme an der Befragung war freiwillig und die Rückmeldequote variierte zwischen 40 und 90 %. Im Rahmen der Fragebogenstudie wurden neben demografischen Aspekten und der Bewertung der Rahmenbedingungen die Zufriedenheit und das Nutzungsverhalten der Angebote aus dem Bereich BiE sowie spezifisch der Betreuungskommunikation erfragt. Des Weiteren wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer nach ihrer aktuellen

Befindlichkeit, Zufriedenheit mit Arbeits- und Lebenssituation, Verbundenheit mit der Bundeswehr und dem Soldatenberuf sowie ihrer Bereitschaft, erneut in den Einsatz zu gehen, gefragt.

Die Ergebnisse aus der quantitativen Studie bestätigen die wichtige Rolle der BiE für die Soldatinnen und Soldaten im Einsatz. Vor allem Angebote aus dem Bereich Sport und Unterhaltung sowie die Qualität der Internet- und Telefonversorgung stellten sich als wichtige Faktoren für die Zufriedenheit, Motivation und Gesundheit der Soldatinnen und Soldaten heraus. Es zeigte sich zudem, dass diese Aspekte auch einen inkrementellen Beitrag über den Einfluss von demografischen Merkmalen und Charakteristika der Tätigkeit hinaus leisten. Obwohl die Einsatzfähigkeit der Soldatinnen und Soldaten in den Einsatzgebieten vor allem durch individuelle und Job-Charakteristika bestimmt wird, spielt demnach die BiE eine nicht zu unterschätzende Rolle. Militärische Organisationen sollten diesen Bereich demzufolge nicht vernachlässigen, sondern dafür sorgen, dass Betreuungsmaßnahmen erhalten und weiter ausgebaut werden.



Abb. 4: Sportanlage in Al-Azraq, Jordanien (2018)



Abb. 5: Betreuungseinrichtung in Al-Azraq, Jordanien (2018)

TRDir Dr. Stefan Potthast
 Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien
 – ABC-Schutz (WIS)
 Munster

WISPosteingang@bundeswehr.org

Einfluss der Flugparameter auf das Detektionsverhalten luftgestützter RN-Sensorik

Die UAV-gestützte, orts aufgelösten RN-Detektion (RN: Radio-logische bzw. Nukleare Gefahrstoffe) ist ein wesentliches Element im ABC-Raumschutz. Im NATO DAT (DAT: Defence Against Terrorism) Projekt TEARS wurde der Einfluss verschiedener Flugparameter (Geschwindigkeit, Höhe u. a.) auf die Leistungsfähigkeit von Detektoren untersucht. Die Daten zeigen, dass durch die Flugbewegungen eine Veränderung der absolut gemessenen Werte gegenüber der stationären Anordnung bewirkt wird.

Aufgrund der zunehmenden Verwendung unbemannter, luftgestützter Plattformen (UAV) insbesondere in der Nachrichtengewinnung und -aufklärung stellt die Kombination eines Mini-UAV mit einer Nutzlast von 1 – 5 kg mit einem entsprechenden RN-Sensor einen großen Vorteil im Bereich der ABC-Aufklärung dar (Abb. 1). Recherchen ergeben, dass RN-Sensoren in der benötigten Gewichtsklasse nicht nur marktverfügbar sind, sondern sogar als explizit geeignet für die Integration an einem UAV beworben werden. Die dabei veröffentlichten Daten für Nachweisgrenze und energetischem Auflösungsvermögen stellen zwar einen vielversprechenden Ansatz dar, die ermittelten Leistungsdaten beruhen aber auf statischen Messanordnungen im Labor und sind daher nur bedingt auf dynamische, 3-dimensionale Messanordnungen übertragbar.

Im Rahmen des durch die NATO Counter Terrorism Section der Emerging Security Challenges Division unterstützten Projektes „Test and Evaluation of Airborne RN-Sensors (TEARS)“ wurde von Belgien (DLD, SKFCEN) und Deutschland (FKIE, WIS) ein Testverfahren entwickelt, welches der dynamischen



Abb. 1: Beispiele für ein Mini UAV (links) und RN-Sensor (rechts)

Messanordnung Rechnung trägt. Dabei werden sowohl wissenschaftliche (Variation in der Messgeometrie) wie auch operationelle Aspekte eines UAV-Einsatzes (z. B. hinsichtlich der Flughöhen und -geschwindigkeiten) berücksichtigt.

Im Februar 2020 wurde von den beteiligten Instituten am WIS eine Testkampagne auf einem abgesperrten Gelände realisiert, um sowohl die Flugsicherheit wie auch den Strahlenschutz gewährleisten zu können. Für die Aufnahme der Messwerte wurden umschlossene radioaktive Quellen (Cs-137 bzw. Co-60) auf dem Boden ausgelegt und vom UAS auf definierten Flugpfaden (Abb. 1) überflogen. Die Nuklide ergeben sich aus dem Umstand, dass sie auch für die im Datenblatt angegebenen und statischen gewonnenen Werte genutzt wurden.

Die Pfade sind durch Variation der Flughöhe, der -geschwindigkeit, der Seitenablage und der Messrate gekennzeichnet. Aufgrund operationeller Überlegungen (hohe Aufklärungs- und Bekämpfungswahrscheinlichkeit in einem nicht-kooperativen Umfeld) ist eine Flughöhe unter 20 m nicht sinnvoll. Die maximale Höhe hingegen ergibt sich aus Quellstärke und Detektionslimit und kann variieren. Getestet wurde mit maximal 50 m.

Ähnliche Überlegungen gelten für die Geschwindigkeit. Niedrige Geschwindigkeiten bei gleichzeitig geringen Flughöhen bergen operationelle Risiken (Entdeckung und Bekämpfung), können jedoch bei größeren Höhen durchaus genutzt werden. Es wurde daher mit Werten zwischen 5 und 50 km/h getestet.

Die Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit des detektierten Maximalwertes der Dosisleistung beim zentralen Überfliegen (d. h. der laterale Offset beträgt 0 m) einer Cäsium-137 Quelle in einer

Höhe von 30 m mit verschiedenen Geschwindigkeiten zwischen 5 und 50 km/h. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Maximalwert mit zunehmender Fluggeschwindigkeit deutlich zurückgeht. Die detektierte Dosisleistung ist also auch geschwindigkeitsabhängig und nicht nur eine Funktion der Flughöhe, wie es nach dem Abstandsquadrat-Gesetz eigentlich zu erwarten wäre. Eine mögliche Ursache hierfür liegt darin begründet, dass mit steigender Geschwindigkeit der räumliche Abstand der Messpunkte zunimmt, weil die Messung konstant im zeitlichen Abstand von 1,8 s erfolgt.

Damit entspricht die Entfernung Quelle (zum Zeitpunkt der Messung) -Sensor nicht mehr unbedingt der Flughöhe, da die Lage der Messpunkte in Bezug auf die Position der Quelle zeitabhängig ist. Bei stationären Anwendungen (bzw. handgetragenen Detektoren und Schrittgeschwindigkeit) spielen diese Abweichungen keine Rolle, für luftgestützte müssen aber die Effekte entweder mathematisch kompensiert, oder der räumliche Abstand der Messpunkte konstant gehalten werden, d. h. mit zunehmender Geschwindigkeit die Messrate erhöht werden.

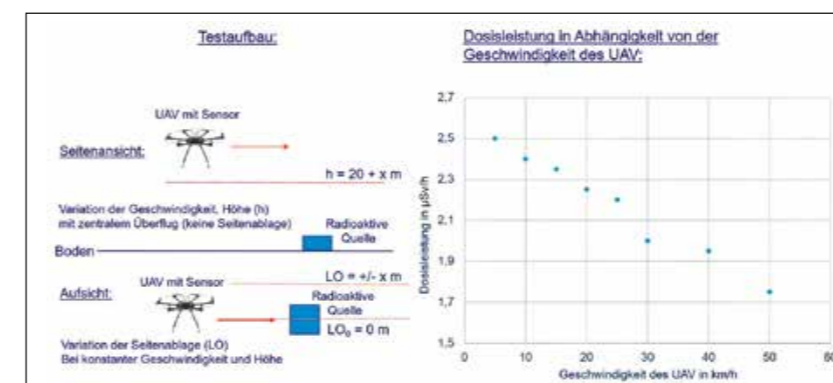


Abb. 2: Messaufbau zur Evaluation luftgestützter RN-Sensorik (links). Maximale Dosisleistung als Funktion der Geschwindigkeit (rechts)

TRDir Dr. Ralf Hetzer
Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien
– ABC-Schutz (WIS)
Munster

WISPosteingang@bundeswehr.org

Hochauflösende und hochsensitive Ionenmobilitätsspektrometer für Unmanned Aircraft Systems

Der ABC-Raumschutz soll vernetzte Sensoren nutzen, um den Truppenführern sowie zivilen Einsatz- und Rettungskräften ein möglichst vollständiges Lagebild zur Verfügung zu stellen. Einen entscheidenden Beitrag hierzu können UAS (Unmanned Aircraft Systems)-getragene Sensoren leisten. Im Beitrag wird ein Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) vorgestellt, welches für die Verwendung an UAS optimiert wurde.

Die unbemannte luftgestützte Detektion von chemischen Kampf- und anderen Gefahrstoffen stellt deutlich höhere Anforderungen an Sensorsysteme als bedieneroperierte Systeme, da direkte Eingriffe ins System und Kontrolluntersuchungen durch den Bediener während der Mission nicht möglich sind. Diese höheren Anforderungen betreffen sowohl die elektronische und mechanische Zuverlässigkeit des Sensorsystems als auch dessen Selektivität und Sensitivität.

Zur Etablierung eines ABC-Raumschutzes ist ein engmaschiges Netz von Sensoren notwendig. Dessen Maschenweite definiert die Zeit bis zur Registrierung eines CBRN-Ereignisses, die Erfassungswahrscheinlichkeit und die minimale erfassbare Größe der Freisetzung. Bei einem sehr engmaschigen Netz sind folglich das Lagebild und der Schutz der eigenen Kräfte am genauesten. Leider wirkt der Preis der benötigten Sensoren dem Aufbau eines engmaschigen Netzes entgegen. Die Preise für Sensoren für chemische Kampfstoffe liegen pro Einheit zwischen einigen tausend und zehntausenden Euro.

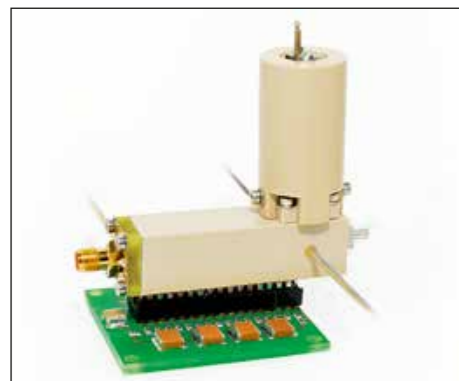


Abb. 1: Miniaturisierte IMS-Röhre mit nicht-radioaktiver Ionisationsquelle

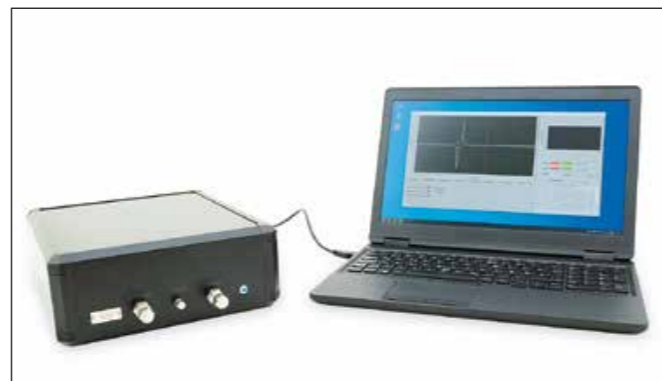


Abb. 2: Labordemonstrator für ein miniaturisiertes, UAS-geeignetes IMS-System

Eine Möglichkeit, virtuell ein engmaschigeres Netz zu schaffen, ist die Installation von Sensoren auf hochmobilen Trägerplattformen, insbesondere UAS. Durch ihre hohe Beweglichkeit können sie auf ihrer Bewegungsstrecke sowohl gefährliche Substanzen detektieren und identifizieren als auch ein Konzentrationsprofil aufnehmen. Die so erhobenen Daten können dann mit Ausbreitungsmodellen verknüpft und in die Zukunft und die Vergangenheit extrapoliert werden, d. h. es könnte sowohl ggfs. die Quelle und anfänglichen Konzentrationen als auch die weitere Ausbreitung der Gefahrstoffwolke berechnet werden.

Dieser Ansatz stellt aber auch zusätzliche Anforderungen an Sensoren, die von bestehenden Systemen nicht abgedeckt werden. Die gängigste Sensortechnologie zur mobilen Detektion von hochtoxischen Gefahrstoffen, wie chemischen Kampfstoffen, sind heute Ionenmobilitätsspektrometer (IMS). IMS zeichnen sich durch eine geringe Baugröße und ein robustes Design aus, darüber hinaus sind sie schnell und sensitiv. Für einen Einsatz auf einem UAS sind die heute kommerziell erhältlichen IMS aber weniger geeignet. Sie sind daraufhin optimiert, dass sie von einem Nutzer getragen und bedient werden. Für einen UAS-gebundenen Einsatz müssen diese entsprechend angepasst werden. UAS-getragene IMS müssen möglichst niedrige Nachweisgrenzen besitzen und einen hohen Dynamikbereich aufweisen, da sie nicht nur vor toxischen Konzentrationen warnen sollen, sondern auch hochverdünnte Kampfstoffe in größerer Entfernung von der Quelle erfassen müssen. Ihre Selektivität muss zusätzlich erhöht werden, da falsch-positive Ergebnisse nicht durch den Bediener vor Ort überprüft werden können. Die Wiederholungsrate der Messungen muss hoch sein, da diese mit der Bewegungsgeschwindigkeit

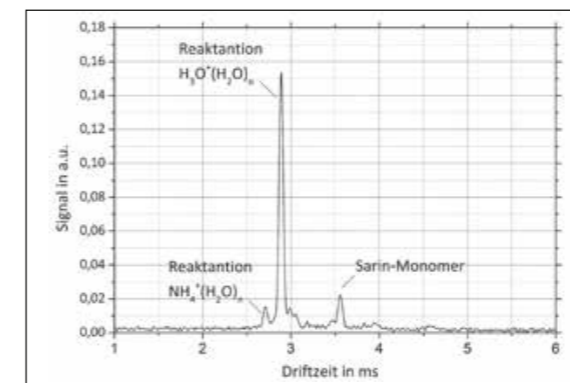


Abb. 3: Ionenmobilitätsspektrum von 390 pptv ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Sarin in synthetischer Luft

keit des UAS die Ortsauflösung des Systems definiert. Des Weiteren sollte ein UAS-geeignetes IMS leicht sein und ein kleines Bauvolumen besitzen.

Im Rahmen des F&T-Vorhabens „C(B)RN-Sensorsätze“ wurde daher ein miniaturisiertes, hochempfindliches und stark auflösendes IMS als Labordemonstrator aufgebaut und mit Gefahrstoffen vorcharakterisiert. Anschließend wurde im Jahr 2020 das Nachweisverhalten des Systems gegenüber verschiedenen chemischen Kampfstoffen untersucht. Hierbei konnten die bereits mit „normalen“ Gefahrstoffen erhaltenen sehr guten Ergebnisse mit chemischen Kampfstoffen bestätigt werden. Das weiterentwickelte IMS ist den marktverfügbaren Systemen deutlich überlegen. Auf Basis des Labordemonstrators wurde dann ein mitflugfähiges IMS-System aufgebaut, welches 2021 in Labor- und Feldversuchen charakterisiert werden soll.

Wenn sich in den geplanten Experimenten die Ergebnisse des Labordemonstrators mit diesem mitflugfähigen System reproduzieren lassen, könnte ein solches UAS-gestütztes IMS ein entscheidender Beitrag zur Fähigkeit des ABC-Raumschutzes sein.

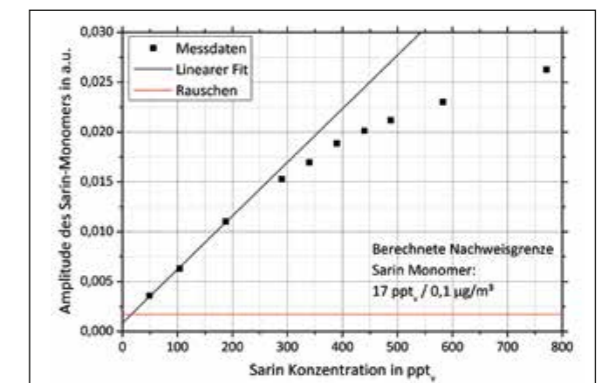


Abb. 4: Nachweisgrenze für Sarin

Hauptmann M.Sc. Christoph Petroll
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

wiweb@bundeswehr.org

TORR Dr.-Ing. Felix Zimmer
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

wiweb@bundeswehr.org

Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz bei der additiven Fertigung zur vernetzten Produktentwicklung

Für die computerunterstützte Optimierung von Hochleistungsbauteilen werden in einem neuen Ansatz Methoden des maschinellen Lernens und der Produktentwicklung verknüpft. Bauteile können so für verschiedene Anforderungen parallel optimiert werden. Dazu wird eine große Anzahl von Designvarianten erstellt, mit numerischen Verfahren berechnet und durch eine Künstliche Intelligenz bewertet.

Am 3D Druckzentrum der Bundeswehr wird u. a. die Möglichkeit erforscht, Bauteile durch die höhere Designfreiheit additiver Fertigungsverfahren zu verbessern. Dazu werden rechnerunterstützte Optimierungsverfahren eingesetzt, die aber in der Regel nur eine Art von Anforderungen berücksichtigen. Bei komplexen Bauteilen die mehrere Anforderungen, wie z. B. Festigkeit, Aerodynamik oder Fertigbarkeit haben, erzeugen die konkurrierenden Optimierungsziele nicht direkt lösbare mathematische Kombinationen.

Der neu entwickelte Ansatz versucht die funktionale Anforderungen an ein Bauteil parallel zu berücksichtigen. Zur Validierung des Ansatzes wird in enger Kooperation mit der herstellenden Firma eine Antriebseinheit einer aktuellen Aufklärungsdrohne mit Verbrennungsmotor optimiert. Die Antriebseinheit besteht aktuell aus über eintausend Einzelbauteilen und soll auf ein maßgeblich tragendes Bauteil und die notwendigen technischen Anbauteile reduziert werden.

Das Ziel ist es, unter Einhaltung aller Randbedingungen, eine Gewichtung der Verteilung von Material im vorgegebenen

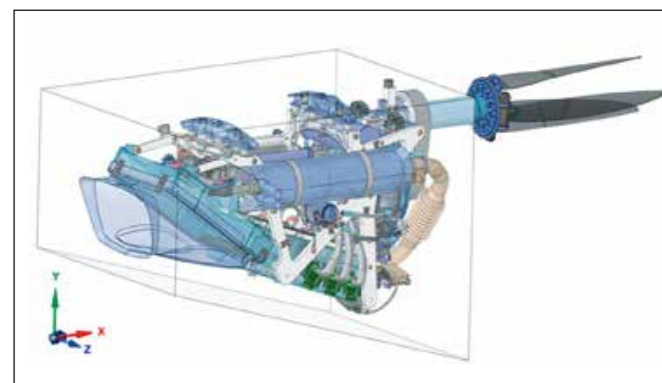


Abb. 1: Drohnenantriebseinheit mit abgeleitetem Designraum

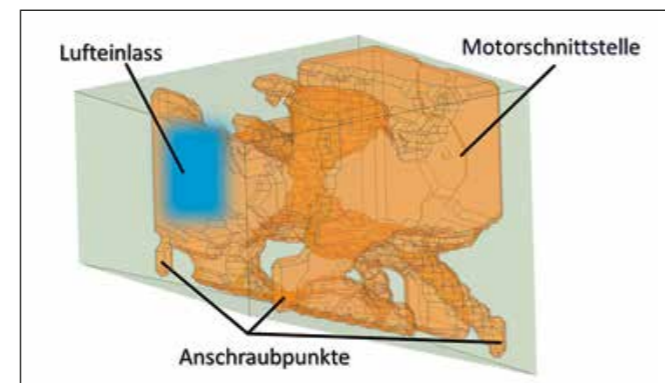


Abb. 2: Erstelltes generisches Design mit beispielhaften Randbedingungen

LTRDir PD Dr.-Ing. habil. Jens Holtmannspötter
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

wiweb@bundeswehr.org

Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Technische Produktentwicklung
Neubiberg

info@unibw.de

Designraum als direkte Entwurfsgrundlage zu bekommen. Die Grundlage für die Verteilung bildet ein Metamodell, welches die zur Optimierung erforderlichen Eigenschaften und Randbedingungen abbildet. Das Metamodell entsteht durch Trainingsbeispiele in einer Lernphase als statistisches Modell. Das Vorgehen wird dabei in 5 Phasen unterteilt.

Die erste Phase beschäftigt sich mit den beschriebenen Lasten, die die reale Antriebseinheit erbringen und aushalten muss. Es werden zusätzlich die geometrischen Randbedingungen, wie u. a. die Position des Verbrennungsmotors, sowie Randbedingungen zur additiven Fertigbarkeit berücksichtigt.

Die zweite Phase beinhaltet die Erstellung von generischen Designs. Generisch bedeutet, dass automatisiert Designvarianten in großer Anzahl (in aktuellen Rechnungen > 105) generiert werden, mit den geometrischen Randbedingungen für die Funktionalität und mit einer pseudozufälligen Struktur (= ohne mathematische erkennbare Muster zu wiederholen). Des Weiteren muss bei jedem generischen Design eine physikalische Plausibilität vorliegen. Es ist wichtig, dass z. B. eine FEM Sensitivitätsanalyse erfolgen kann, mit validen Größen.

Die Sensitivitätsanalyse ist die dritte Phase. In dieser werden die topologischen, aerodynamischen und thermodynamischen

Lastverläufe jedes einzelnen Designs automatisiert berechnet. In der Umsetzung werden automatisierte topologische, aerodynamische und thermodynamische Simulationen durchgeführt, die für alle Designs unabhängig durchlaufen.

In der vierten Phase wird nun ein künstliches neuronales Netz aus den Trainingsdaten erstellt. Die erstellten Designs werden als Materialverteilung in einer Matrix als Trainingsinput verwendet. Der jeweils zugehörige Output stammt aus den Simulationsergebnissen. Die durch das Training bestimmten Gewichtungen innerhalb des neuronalen Netzes sollen nun das Verhalten der Antriebseinheit abbilden, es entsteht ein sogenanntes Metamodell.

Die Wahrscheinlichkeiten, die vom Metamodell erkannt werden, können im letzten Schritt als sogenannte „Heatmap“ dreidimensional visualisiert werden. Die örtliche Auflösung ist durch die zur Verfügung stehende Rechenleistung aktueller Systeme begrenzt.

Zusammengefasst erlaubt der neue Ansatz die Verknüpfung von mathematischen Optimierungsfunktionen über die Bauteilfunktionalität, ohne eine direkte mathematische Kopplung der Lösungsfunktionen.

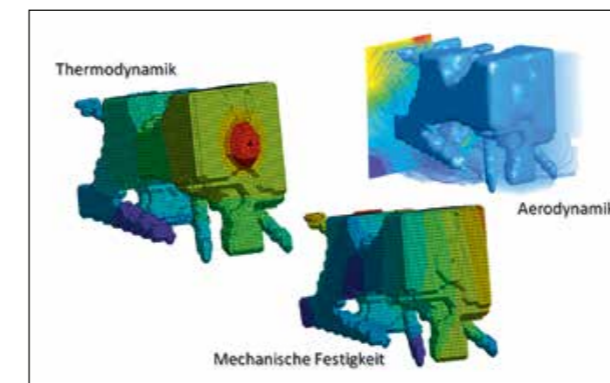


Abb. 3: Generisches Design, das für drei Anforderungen durch FE-Simulationen bewertet wurde

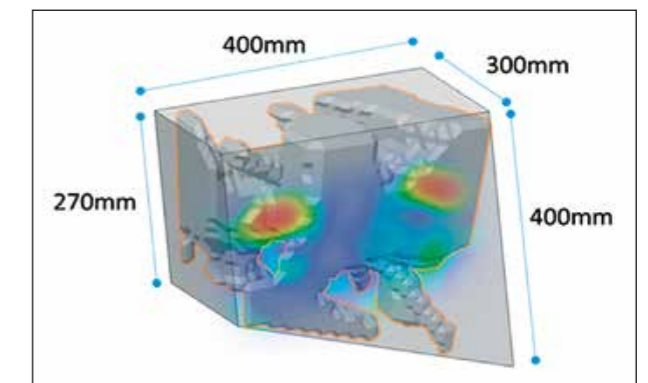


Abb. 4: Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Material des Metamodells im Designraum

TRAMtm Jörg Rehbein, M.Sc.
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und
Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

wiweb@bundeswehr.org

TORR Sebastian-Johannes Lorenz, M.Sc.
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und
Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

wiweb@bundeswehr.org

Digitalisierung Zerstörungsfreier Prüfverfahren

Neue Technologien wie Sensor Tracking, Augmented Reality (AR) und digitale Zwillinge zeigen ein großes Potential zur Verbesserung von Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (ZfP). Das Projekt HANGAR zielt darauf ab, den Einsatz dieser Technologien für die ZfP zu untersuchen und für die Bundeswehr nutzbar zu machen.

Für den sicheren Einsatz neuer Waffensysteme müssen diese in regelmäßigen Abständen oder nach Überbelastungen auf Schäden untersucht werden. Je nach Material und Strukturgeometrie werden unterschiedliche ZfP-Verfahren eingesetzt.

Die modernen Luftfahrzeuge der Bundeswehr wie z. B. der UH Tiger oder das Transportflugzeug A400M bestehen zu einem großen Anteil aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Da es erst wenig Erfahrungen mit dem Betriebsverhalten dieser Werkstoffe vorliegen, werden ZfP-Verfahren in großem Umfang eingesetzt. Gängige händische Verfahren sind u. a. die Ultraschallprüfung (Abb. 1) und die Thermografie.

Im Forschungsprojekt HANGAR (Highly Advanced Non-Destructive Testing With Gamification and Augmented Reality) liegt der Fokus auf der Digitalisierung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit der ZfP-Verfahren für die militärische Luftfahrt. Angestrebt werden Verbesserungen in den Bereichen Ergonomie/Usability, Kosten/Nutzen, Messgenauigkeit/Probability of Detection und Reduzierung des Ausbildungsumfangs. Im Rahmen des Projektes sollen die Datenaufnahme digitali-



Abb. 1: Klassische Ultraschallprüfung an einer CFK-Hubschrauberstruktur



Abb. 2: Leichtbauroboter, der eine Ultraschallprüfung auf CFK durchführt



Abb. 3: Reales Hubschrauberheck (links) und mittels 3D-Scan erzeugtes CAD-Modell (rechts)

LTRDir PD Dr.-Ing. habil. Jens Holtmannspötter
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und
Betriebsstoffe (WIWeB)
Erding

wiweb@bundeswehr.org

siert und Prozesse durch den Einsatz innovativer Technologien neugestaltet werden.

Der informationstechnische Ablauf einer zerstörungsfreien Prüfung gliedert sich in die Arbeitsschritte Datenaufnahme, Datenverarbeitung und Visualisierung. Diese werden auf Ihr Verbesserungspotential hin untersucht. Für das Projekt wurde eine neue Laborumgebung geschaffen. Dort können ZfP-Verfahren zum einen in eine kollaborative Roboterkinematik (Abb. 2) integriert werden, um kleinere Testkörper automatisiert in einem lokalen Koordinatensystem zu untersuchen. Darüber hinaus wurde ein Hallenbereich mit einem flächendeckenden Trackingsystem ausgestattet. In diesem befindet sich eine CFK-Heckstruktur eines Transporthubschraubers (Abb. 3). Mit Hilfe des Trackingsystems werden die Positionen von ZfP-Sensoren, Benutzern und Visualisierungsgeräten bestimmt und nachverfolgt. Durch das neue Labor ist es möglich, verschiedene Messverfahren zu optimieren und an einer realen Struktur anzuwenden.

Zur Zuordnung der digital vorliegenden Prüfdaten zum Prüfobjekt werden digitale Zwillinge der Strukturen geschaffen. Diese enthalten u.a. aktuelle und ältere Prüfergebnisse, CAD-Daten und 3D-Scans (Abb. 3). Durch die eindeutige zeitliche Verknüpfung der Datenaufnahme und der zugehörigen Sensor-

stellung lassen sich Prüfergebnisse positionsgetreu digital archivieren, fusionieren und durch Augmented oder Virtual Reality (VR) Systeme sowohl im virtuellen Raum als auch an der realen Struktur darstellen. Abb. 4 veranschaulicht eine AR-gestützte Ultraschallprüfung. Der Nutzer wird durch zusätzliche digitale, in das Sichtfeld projizierte, Inhalte unterstützt. Dies sind neben einer Echtzeitauswertung im Prüfbereich (Abb. 5) z. B. Informationen, welche klassisch auf einem mobilen Prüfgerät angezeigt werden, sowie Prüfanweisungen oder geometrische Eigenschaften des Prüfobjekts (Struktur der Rückwand). Der digitale Zwilling fungiert hierbei sowohl als Informationsquelle, als auch als Datenspeicher. Während sich AR insbesondere für den Prüfprozess und die Visualisierung am Prüfobjekt eignet, bietet VR Vorteile für die qualifizierte ortsunabhängige Schadensbewertung. Da sämtliche Informationen zentral verfügbar sind, können ZfP-Daten über die komplette Nutzungsdauer gesammelt und im Gesamtzusammenhang interpretiert werden. Ebenso wird das verteilte kooperative Arbeiten auf einer gemeinsamen Datenbasis ermöglicht.



Abb. 4: AR-gestützte Ultraschallprüfung

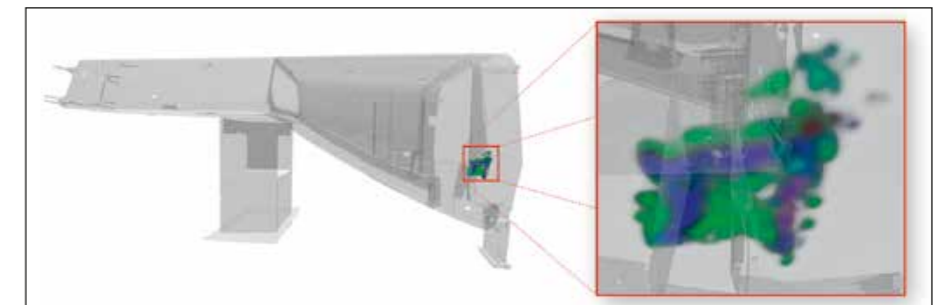


Abb. 5: Sicht des Prüfers in einer virtuellen Umgebung. C-Bild einer Ultraschallprüfung integriert in ein semitransparentes CAD-Modell

Andreas Grois, M.Sc.
 Universität der Bundeswehr München,
 Institut für Strahlantriebe
 Neubiberg

isa@unibw.de

Dr.-Ing. Marcel Stößel
 Universität der Bundeswehr München,
 Institut für Strahlantriebe
 Neubiberg

isa@unibw.de

Aufbau von Bewertungsfähigkeiten zur Untersuchung von Einflüssen aus der Flugführung auf stark konturierte Einlaufsysteme

Das Institut für Strahlantriebe (ISA) der Universität der Bundeswehr München entwickelte zusammen mit der Wehrtechnischen Dienststelle 61 ein stark gekrümmtes, kompaktes Einlaufsystem für Forschungszwecke. Bisherige Untersuchungen des Triebwerkeinlaufs beschränkten sich auf den Bodenstandfall. Zur Erforschung komplexer Einlaufsysteme in realistischen Flugzuständen wurde ein von Umgebungsbedingungen unabhängiger Prüfstand entwickelt und aufgebaut.

Die Rahmenbedingungen zur Entwicklung eines Prüfstands zur Untersuchung stark gekrümmter Einlaufsysteme wurden mittels einer vorangegangenen Machbarkeitsstudie geprüft. Analytische Berechnungen dienten dazu, relevante Parameter der Flugbedingungen zu identifizieren. Zur Überführung der Flugpunkte auf die Betriebszustände des Einlaufs wurde eine Prozesskette erarbeitet, die es ermöglicht, Mach- und Reynolds-Zahl-Bedingungen am Einlauf anhand der Schubanforderungen des Fluggerätes zu ermitteln.

Der Aufbau des Prüfstands erfolgte am Mehrzweck-Windkanal (MZW). Dabei wurde ein verkleinertes Einlaufmodell (Medi-MEIRD – Medium scaled Military Engine Intake Research Duct) innerhalb einer Drucktonne (Abb. 1) integriert. Aus den Leistungsdaten des MZW ergibt sich ein dedizierter, experimentell abbildbarer Mach- und Reynolds-Zahl-Bereich, welcher die Untersuchung von Flughöhen zwischen 6 km und 12 km, sowie Fluggeschwindigkeiten bis $Ma = 0,95$ ermöglichen. Die geplante Erweiterung des MZW durch eine Vakuumabsaugpumpe soll zukünftig die Untersuchung noch größerer Höhen ermöglichen.



Abb. 1: Drucktonne des Mehrzweckwindkanals (MZW), montiert auf Verschiebeschleifen

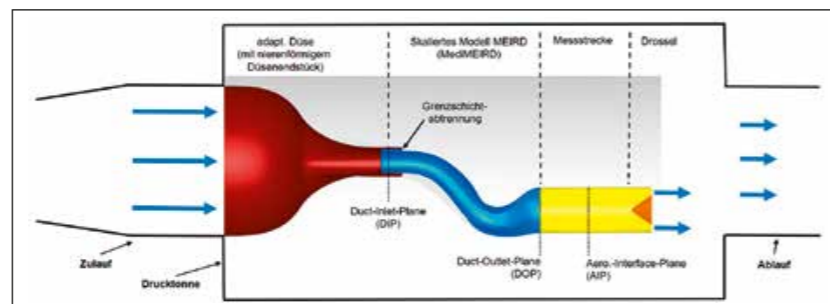


Abb. 2: Konzept des Versuchsaufbaus innerhalb der Drucktonne mit Kennzeichnung der einzelnen Komponenten

TRDir Dipl.-Ing. (univ.) Michael Krummenauer
 Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge
 und Luftfahrtgerät der Bundeswehr (WTD61)
 Manching

WTD61AntriebFuT@bundeswehr.org

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Niehuis
 Universität der Bundeswehr München,
 Institut für Strahlantriebe
 Neubiberg

isa@unibw.de

Das Prüfstandskonzept (Abb. 2) beginnt mit einer adaptiven nierenförmigen Zulaufdüse, welche die Abscheidung der Zulaufgrenzschicht und dadurch eine homogene Strömung an der Duct-Inlet-Plane (DIP) ermöglicht. Die Düsenendstücke können dabei vielfältig angepasst werden. An der Aerodynamic-Interface-Plane (AIP) befindet sich ein traversierbarer Messrechen, gefolgt von einer Lochmusterdrossel zur Feineinstellung der Einlaufaustrittsbedingungen. Der Betriebspunkt des Einlaufs und der Gegendruck innerhalb der Tonne werden mittels des Bypasskanals des MZW eingestellt.

Die Instrumentierung umfasst 188 Druckmesspunkte und einen Grenzschichtmessrechen zur Analyse der MediMEIRD-Ablösegebiete (Abb. 3). Druckmesspunkte in der Zulaufdüse und an der Einlaufvorderkante ermöglichen die Untersuchung der Kontraktion der Düse, sowie die Regelung der Grenzschichtabscheidung. Das Datenerfassungs- und Regelungssystem basiert auf bewährten Architekturen am ISA und fügt sich nahtlos in die bestehende Datenarchitektur ein. Damit wird eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Experimenten des MEIRD am ISA sichergestellt.

Die Komponenten des Aufbaus wurden durch numerische Experimentalauslegungen optimiert. Beispielsweise wurden die Kontraktion und Nierenformänderung der Düse durch (CFD)

Simulationen definiert und so eine störungsfreie Strömung an der DIP und innerhalb der Düse sichergestellt, als auch die Wirksamkeit der Grenzschichtabscheidung optimiert. Die daraus resultierende superelliptische Form der Einlaufvorderkante wies ein gegen Ablösungen unempfindliches Verhalten bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Funktion der Grenzschichtabscheidung auf. Die Gesamtsimulation des Prüfstands (Abb. 3) zeigte die Interaktion der Komponenten als auch die Ausprägung der Grenzschicht und Wirbelsysteme im Gesamtverlauf. Der Vergleich der Wirbelsysteme und der Totaldruck-Störmuster an der Einlaufaustrittsebene verdeutlichte eine gute Übereinstimmung mit vorangegangenen Strömungsuntersuchungen des MEIRD im Originalmaßstab. Dadurch ist eine hohe Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet und das numerische Setup für die Simulationsbegleitung der folgenden Messkampagnen validiert.

Der hiermit geschaffene Prüfstand bietet eine äußerst flexible Versuchsumgebung für zukünftige Validierungsuntersuchungen von komplexen Einlaufsystemen und Interaktionsphänomenen. Darüber hinaus fügt sich die Versuchsumgebung ergänzend in die am ISA entwickelten Werkzeugketten zur Auslegung und Bewertung von Integrationsaspekten zukünftiger Luftfahrzeugantriebe ein. Sie eröffnet ein bisher in der Bundeswehr nicht gekanntes Potential zur Unterstützung in der Produktbearbeitung, von der Definitions- bis zur Nutzungsphase.

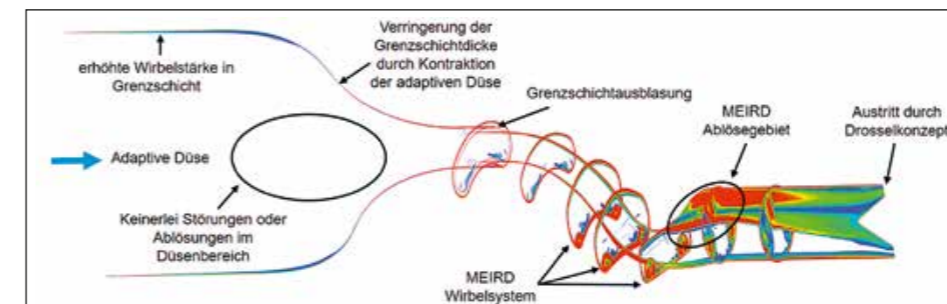


Abb. 3: CFD-Simulationsergebnis des Versuchsaufbaus, Darstellung der Wirbelstärke, Beschriftung der untersuchten Teilgebiete

Dr. Felix Maiwald
 Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge und
 Luftfahrtgerät der Bundeswehr (WTD 61)
 Manching
 WTD61510@bundeswehr.org

Thilo Vogt
 Droniq GmbH
 Frankfurt
 info@droniq.de

PRS-Demonstrator für Luftfahrtanwendungen mit Einbindung in Air Traffic Management Systeme

Ein gegenüber NAVWAR-Störern (Navigation Warfare) gehärtetes Funktionsmuster auf Basis eines Galileo Public Regulated Service (PRS) Empfängers dient als Ausgangspunkt für erste Analysen und Bewertungen des Galileo PRS zur Luftverkehrskontrolle und Luftraumintegration von unbemannten militärischen als auch zivilen Luftfahrzeugen. In Zusammenarbeit mit der Deutschen Flugsicherung (DFS) wurden erste Versuche durchgeführt.

Die Planungen der Bundeswehr sehen vor, zukünftig bemannte und unbemannte militärische Luftfahrzeuge (UAS) gemeinsam in zivilen Lufträumen zu betreiben. Daher sind militärische Anforderungen hinsichtlich PNZ (Position, Navigation, Zeitfestlegung) im Rahmen von Navigation Warfare frühzeitig zu formulieren, um diese in Entwicklungsprozesse zu UAS-Luftraumstrukturen und Verkehrsleitkonzepten einfließen zu lassen. Ein Teilbereich der F&T-Betrachtungen stellt die Konzipierung einer vereinfachten Integration von militärischen UAS in gemeinschaftliche (zivile) Luftraumstrukturen dar. Dies umfasst die Analyse von derzeit entwickelnden Air Traffic Management Systemen (ATM-Systeme) bzw. UAS Traffic Management Systemen (UTM-Systeme).

Kernpunkt der Betrachtungen ist ein voll operativ einsatzfähiges UTM-System, das durch die Droniq GmbH, ein Gemeinschaftsunternehmen der DFS Deutschen Flugsicherung und der Deutschen Telekom, entwickelt wurde. Das UTM verarbeitet die Positionsdaten von Drohnen in Echtzeit und fusioniert sie mit den Ortungsdaten der bemannten Luftfahrt zu einem umfassenden Luftlagebild (vgl. Abb. 1). Daneben bietet das UTM-System

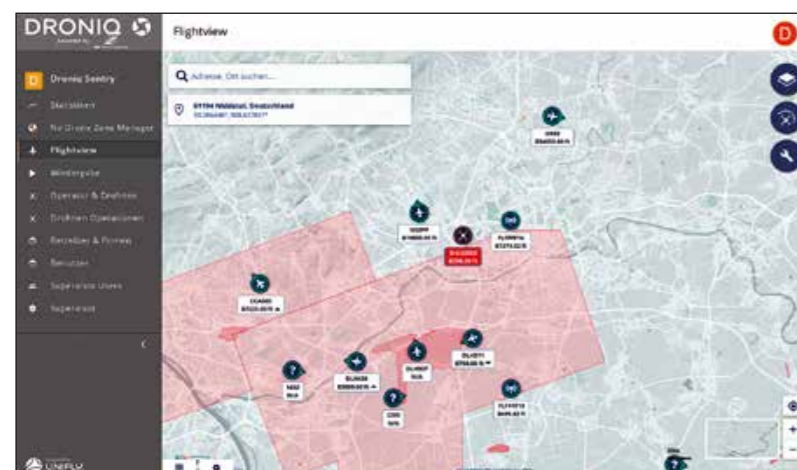


Abb. 1: Gemeinsames Luftlagebild von bemannten (grüne Umrandung) und unbemannten (rote Umrandung) Luftfahrzeugen im TrackViewer der Droniq

Alexander Rügamer
 Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
 Nürnberg
 info@iis.fraunhofer.de

Christoph Miksovsky
 Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
 Nürnberg
 info@iis.fraunhofer.de

weitere Funktionen zum sicheren Betrieb von Drohnen im deutschen Luftraum wie z. B. Missionsplanung inklusive Kollisionswarnung. Künftig soll über das UTM zudem der komplette Freigabeworkflow für die Durchführung von Drohnenmissionen abgebildet werden. Hieraus ergeben sich synergetische Ansätze für ein militärisches und ziviles UTM (Verkehrskontrolle).

Die heute dafür notwendige Hardware umfasst ein HOD4Track (HOD), das am Fluggerät befestigt wird. Dieses überträgt die GNSS-basierten Positionsdaten des UAS via 4G/5G an das UTM-System der DFS. Zum Schutz von hochautomatisierten, kritischen UTM-Navigationsanwendungen sind störteste Navigationssysteme unbedingt erforderlich – bislang jedoch nicht frei verfügbar. Zur Lösung der Problematik wurde mit dieser Zuwendung die Nutzung des verschlüsselten Galileo PRS als stör- und täuschrobuste GNSS-Quelle für UAS-Luftraumstrukturen und Verkehrsleitkonzepte untersucht. Innerhalb dieser Zuwendung wurden das HOD4Track mittels eines eingestuftes Galileo PRS-Demonstrators erweitert (vgl. Abb. 2), sodass die Ermittlung gesicherter (nicht spoofbarer) UAS-Positionsinformation und die Einbindung in das UTM-System der DFS erfolgt. Im Rahmen der Demonstration wurde die Absicherung des UAS-Verkehrssystems gegen Spoofing für Drohnen gezeigt.



Abb. 2: Einbindung des PRS-Demonstrators als Hook-on-Device für sichere Positionsinformation im UAS-Verkehrssystem. Dies erfolgt als Gegenmaßnahme zu GPS-Täuschung (Spoofing)

Zudem wurde eine server-basierte PRS-Anwendung demonstriert, um die Verarbeitung eingestufte Daten vom UAS in eine sichere Infrastruktur (zukünftig Infrastruktur der DFS) auszulagern. Angedacht ist eine Fortführung des Vorhabens mit Betrachtung der Zulassungsvoraussetzungen für den Betrieb eines PRS-Verarbeitungsservers in Abstimmung mit Zulassungsbehörden und dem BSI. Die Systemarchitektur ist in Abb. 3 dargestellt und besteht aus drei Teilkomponenten: Der PRS Snapshot Empfänger auf der Drohne erzeugt kurze Snapshots der HF-Signale (ca. 10 ms), welche an einen „Remote Server“ beim Fraunhofer IIS zur PRS-Auswertung übersendet werden. Parallel dazu wird ein integrierter Open-Service (OS)-Empfänger genutzt, um OS-basierte PNZ-Ergebnisse direkt an das UTM-System der DFS zu übermitteln. Der Remote Server wertet durch sein Galileo PRS Sicherheitsmodul die empfangenen Snapshot-Daten aus und verteilt die sicheren, täuscher-geschützten PNZ-Ergebnisse ebenfalls an das UTM-System der DFS. Durch Vergleich der beiden PNZ-Lösungen ist der DFS-Monitor in der Lage, OS-Täuschversuche mit Hilfe der sicheren PRS-PNT direkt zu erkennen. Das Ergebnis wird als Lagebilddarstellung im Monitor „Track-Viewer“ der Droniq in Abb. 1 dargestellt.

Das Gesamtvorhaben wurde zudem im Programm CESA der ESA als Erfolgsgeschichte aus dem Bereich „Verbindung von IoT- & Galileo-Anwendung“ eingereicht.

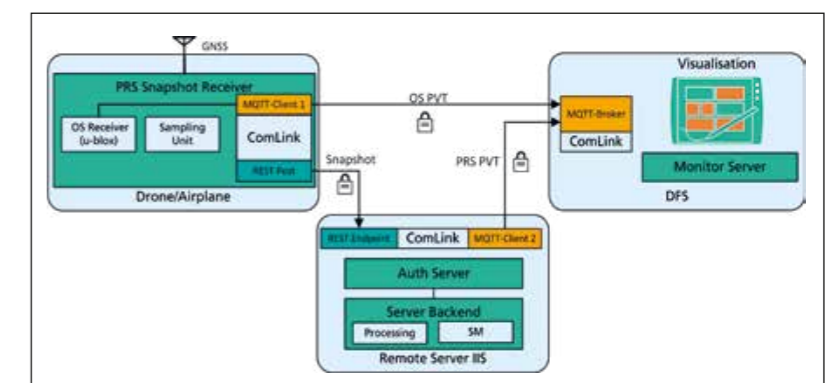


Abb. 3: Systemarchitektur OS-Demonstrator mit Server-basiertem PRS

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

WTD71posteingang@bundeswehr.org

Maritime unbemannte Systeme für die U-Jagd

Zum Schutz von Schiffen und Häfen sowie zur Überwachung von Meerengen (Choke Points) eignen sich insbesondere leicht verbringbare, unbemannte und autarke, mobile oder stationäre Systeme, die in heterogenen und selbstorganisierenden (Ad hoc) Netzwerken zusammengeschlossen werden. Diese vernetzten Systeme erlauben eine umfassende Nachrichtengewinnung und Aufklärung unter Wasser.

Die U-Jagd im Verbund mit mehreren Einheiten ist in der Unterwasseraufklärung ein probates Mittel, um einer Bedrohung durch moderne signaturreduzierte U-Boote zu begegnen.

Die Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71) untersucht, inwieweit stationäre und mobile unbemannte maritime Systeme in der Lage sind, bei dieser Aufgabe zu unterstützen, bzw. diese eigenständig durchzuführen. Dazu wurden sowohl Messsysteme als auch autarke, innerhalb dieser unbemannten Systeme ablaufende Signalverarbeitungsverfahren zur Detektion, Lokalisierung und Zielverfolgung entwickelt. Im Einsatz unter Wasser sind die Systeme damit in der Lage, selbstständig Informationen aus den aufgenommenen akustischen und nicht-akustischen Daten zu generieren und über ein ad-hoc Unterwassernetzwerk (Abbildung 1) an eine zentrale oder dezentrale Multisensordatenfusionsstelle zu melden. Abbildung 2 zeigt als Beispiel den automatisch erzeugten Peilungs- und Pegelverlauf über der Zeit gegen ein Überwasserziel auf Basis einer fortlaufenden akustischen Detektion.

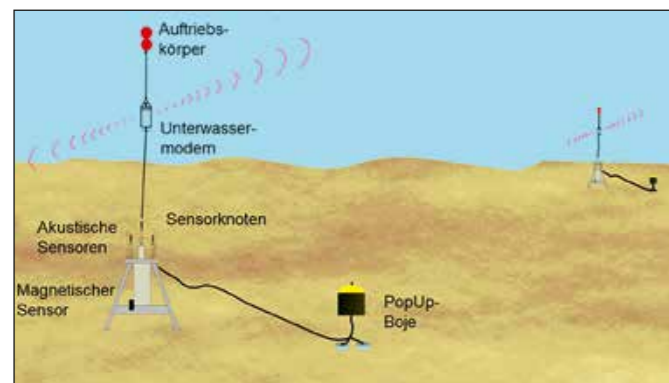


Abb. 1: Schematische Darstellung eines stationären autarken Messsystems und dessen Anbindung im Unterwassersensornetzwerk

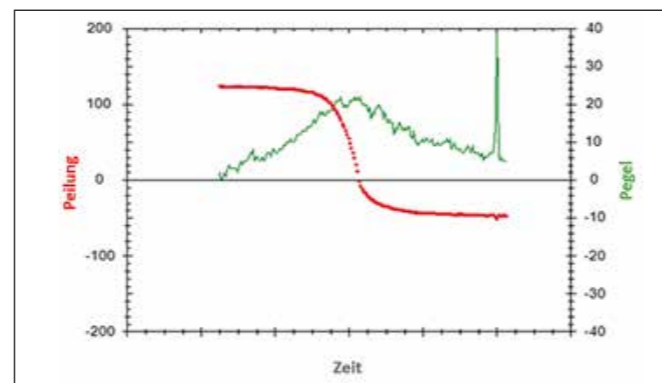


Abb. 2: Erfasste Zieldetektion: Peilungsverlauf (rot) und relativer breitbandiger Signalpegel (grün) jeweils über der Zeit aufgetragen. Der hohe Pegel zum Ende der Detektionsnachricht resultiert aus dem Einfall einer Unterwasserkommunikationsmeldung eines benachbarten Systems

Moderne adaptive Signalverarbeitungsfahren ermöglichen dabei immer intelligentere, autarke Systeme. Das Fernziel ist die Abbildung menschenähnlicher Analysefähigkeiten.

Zur sicheren Datenweiterleitung unter Wasser ist je nach Anwendungsfall eine robuste, weitreichende, verschlüsselte und verratsarme Unterwasserkommunikation erforderlich, die eine möglichst hohe Datenrate erlaubt. Allerdings beeinflussen sich diese Forderungen gegenläufig und sind weiterhin Gegenstand der aktuellen Forschung.

Eine weitere Leistungssteigerung könnten neuartige Sensortechnologien ermöglichen, z. B. akustische Vektorsensoren. Vektorsensoren messen neben dem Schalldruck (wie gewöhnliche Hydrofone) auch die Schallschnelle (x-, y-, z-Komponente). Somit ist bereits ein einzelner Vektorsensor in der Lage, Richtungsinformationen zu einfallenden Schallwellen zu ermitteln, was sonst nur durch eine Anordnung aus mehreren Hydrofonen möglich ist. Im Vergleich zu konventionellen, aus Hydrofonen aufgebauten Sonarantennen ermöglicht eine aus derselben Anzahl an Vektorsensoren gebildete Antenne eine deutliche Leistungssteigerung. Eine vergleichbare Leistung kann mit einer deutlich geringeren Anzahl an Vektorsensoren gegenüber Hydrofonen erzielt werden. Dies macht Vektorsensoren und Arrays aus Vektorsensoren vor allem für kleinere Systeme mit begrenzten Platz- und Ressourcenkapazitäten interessant, also insbesondere auch für maritime unbemannte Systeme.

Nach Vorversuchen konnte die WTD 71 in 2020 erstmals ein autarkes Vektorsensorarray-System (Abbildung 3, links) in einem mehrtägigen Seeversuch in der Ostsee einsetzen. Dabei wurden auch der Einfluss der Antennengeometrie,

verschiedene Algorithmen zur Richtungsbildung sowie die Leistungsfähigkeit von Antennen bestehend aus Vektorsensoren im Vergleich zu denen aus Hydrofonen untersucht. Mittels autarker, echtzeitfähiger Detektions- und Zielverfolgungsalgorithmen konnten unter anderem breitbandige Geräuschspuren von Oberflächenschiffen aufgefasst und verfolgt werden (Abbildung 3, rechts).

In enger Kooperation mit NATO Partnern, etwa bei der Beteiligung an dem NATO F&T-Projekt „Distributed Autonomous Networked Systems“ sowie im Rahmen der Initiative „NATO Maritime Unmanned Systems Initiative (MUS-I)“, sollen die maritimen unbemannten Systeme auch zukünftig in internationalen heterogenen Sensorverbänden zur Aufklärung unter Wasser eingesetzt werden. Dabei liegt der Fokus unter anderem auf den Themen Interoperabilität, NATO-Standards und Einsatzdoktrinen.

Die Leistungsfähigkeit aktueller unbemannter maritimer Systeme ist bereits hoch und wird sich zukünftig in Hinblick auf intelligente Datenverarbeitung, Durchhaltefähigkeit und Kommunikationsmöglichkeiten kontinuierlich steigern.

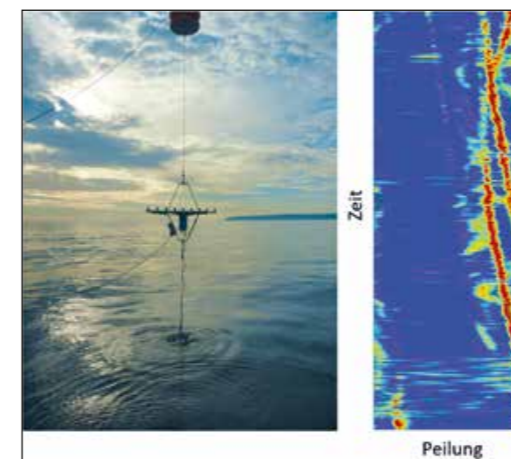


Abb. 3: Autarkes Vektorsensor-System während des Ausbringens (links) und erfasste Zielspuren (rechts)

WissOR Dr. Ingo Schäfer
 Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen,
 Maritime Technologie und Forschung (WTD 71)
 Kiel

ORR Dr. Arne Stoltenberg
 Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen,
 Maritime Technologie und Forschung (WTD 71)
 Kiel

WTD71posteingang@bundeswehr.org

WTD71posteingang@bundeswehr.org

Auswirkung der Resonanz auf das Zielmaß

Im Rahmen der aktiven Schallortung (SONAR) bestimmt die rückgestreute Schallintensität (Zielmaß) als wesentliche Größe die Entdeckungswahrscheinlichkeit von Unterwasserobjekten. Manche Hindernisse im Wasser (z. B. Stellnetze) besitzen ein so geringes Zielmaß, dass eine Detektion deutlich erschwert ist. Durch Nutzung von Resonanzeffekten besteht die Möglichkeit, die Entdeckungswahrscheinlichkeit dieser Objekte deutlich zu erhöhen.

Im Rahmen des Aufbaus eines vertieften Verständnisses über das Zielmaß von Unterwasserobjekten wurde ein Objekt gesucht, das es erlaubt, die theoretischen Berechnungen mit Messungen zu vergleichen. Daher wurden militärisch nicht eingestufte resonante Kugeln, befestigt an einem Stellnetz, ausgewählt. Resonanzeffekte spielen in vielen Bereichen der Mechanik, der Akustik und in anderen physikalischen Disziplinen eine große Rolle. Bei der Konstruktion von klassischen Musikinstrumenten werden z.B. Resonanzen gezielt eingesetzt, um Töne zu verstärken.

In der Unterwasserortung werden Schallwellen ausgesendet, um Objekte wie Uboote, Torpedos oder unbemannte Unterwasserfahrzeuge (UUV) zu detektieren. Diese Schallwellen treffen auf das Unterwasserobjekt und werden dort reflektiert. Mit Hilfe von Hydrophonen kann für verschiedene Frequenzen und Positionen die reflektierte Schallintensität erfasst werden. Um diesen Wert in eine entfernungsunabhängige Größe zu transformieren, wird sie auf eine Entfernung von einem Meter vom Ziel normiert und Zielmaß (TES) genannt.

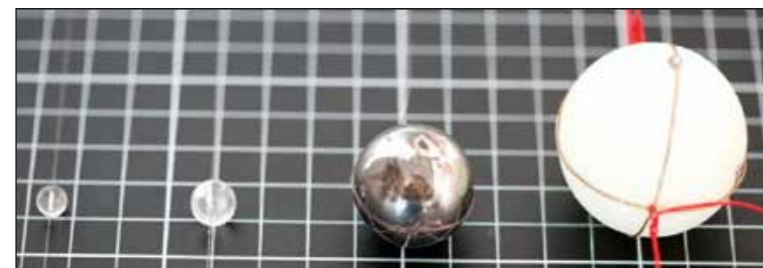


Abb. 1: Untersuchte Kugeln: 2 x PMMA (massiv), Stahl (massiv), Tischtennisball (luftgefüllt)

Kugeldaten			
Material	Radius	maximales Zielmaß	ZM diff
PMMA	3.2 mm	-40 dB	+16 dB
schallharte Kugel	3.2 mm	-56 dB	
PMMA	4.8 mm	-36 dB	+16 dB
schallharte Kugel	4.8 mm	-52 dB	
Stahl	12.8 mm	-42 dB	
schallharte Kugel	12.8 mm	-44 dB	
Luft	19.0 mm	-37 dB	
schallharte Kugel	19.0 mm	-40 dB	

Abb. 2: Tabelle mit Eigenschaften der Kugeln unterschiedlicher Größe und Materialien

In den Arbeiten zu diesem Beitrag wird theoretisch und experimentell untersucht, in wie weit Resonanzeffekte Einfluss auf das Zielmaß eines Unterwasserobjektes ausüben. So könnten bei ausreichender Stärke dieses Effektes kleine Körper im Bereich ihrer Resonanzfrequenz eventuell als Scheinziele wesentlich größerer Objekte eingesetzt werden. Momentan wird in der Marine für diese Zwecke ein Ikosaeder zur Durchführung von Sonarperformancetests eingesetzt. Dieser arbeitet allerdings nicht mit Resonanzeffekten, sondern wirkt als ein akustischer Tripelspiegel.

Ein Stellnetz, welches in der Fischerei eingesetzt wird, besitzt eine sehr geringe Detektionswahrscheinlichkeit und birgt somit die Gefahr, dass Unmanned Underwater Vehicles (UUVs) oder Uboote es nicht erfassen. Kleine Kugeln könnten nun in das Netz eingearbeitet werden, sodass bei akustischer Bestrahlung in der Nähe der Resonanzfrequenz ein deutlich erhöhtes Zielmaß generiert wird. Unterwasserfahrzeuge hätten somit eine Möglichkeit, diese dann frühzeitig zu detektieren. Die Fischfangfunktion des Netzes wird so nur geringfügig beeinträchtigt, der unerwünschte Beifang von Walen, die das Netz nun ebenfalls detektieren können, aber eventuell deutlich reduziert. In Zusammenarbeit mit dem Thünen-Institut für Ostseefischerei werden diese Effekte in der Praxis genauer untersucht.

Kugeln mit unterschiedlichen Radien und Materialien (Abb. 1) wurden dazu sowohl numerisch als auch experimentell untersucht. Die Tabelle in Abb. 2 zeigt die verwendeten Materialien und Radien. Die beiden größeren nicht resonanten Kugeln reflektieren die einfallende Intensität nahezu vollständig und wirken daher wie eine ideal schallharte bzw. schallweiche Kugel, welche ein frequenzunabhängiges Zielmaß von etwa -44 dB

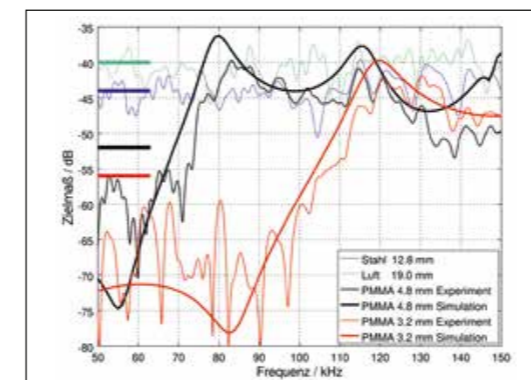


Abb. 3: Zielmaßmessungen und -berechnungen der verschiedenen Kugeln

bzw. -40 dB erwarten lassen. Die Messungen bestätigen dies (Abb. 3). Bei den Polymethylmethacrylat (PMMA)-Kugeln ist ein deutlicher resonanzbedingter Zielmaßanstieg zu beobachten, welcher für höhere Frequenzen sogar die Größenordnung der größeren Kugeln erreicht. Diese Effekte wurden durch den Vergleich der rechnerischen und experimentellen Zielmaßverläufe eines Tankexperiments bestätigt (Abb. 3). Da aber eine schallharte Kugel die auftreffende Wirkintensität vollständig reflektiert, stellt sich die Frage, woher die kleinere PMMA-Kugel die zusätzliche Intensität entnimmt. Dies wird verdeutlicht durch die Darstellung der Wirkintensität durch schwarze Stromlinien (Abb. 4) bei drei verschiedenen Frequenzen. Bedingt durch die Resonanz vergrößert sich der effektive Wirkradius (Wirkungsquerschnitt) der grau dargestellten Kugel (Abb. 4) im Schallfeld in der Nähe der Resonanzfrequenz deutlich. Bei Befestigung mehrerer Kugeln dieser Art an einem Stellnetz könnte somit das Zielmaß und somit die Detektionswahrscheinlichkeit des Netzes deutlich erhöht werden.

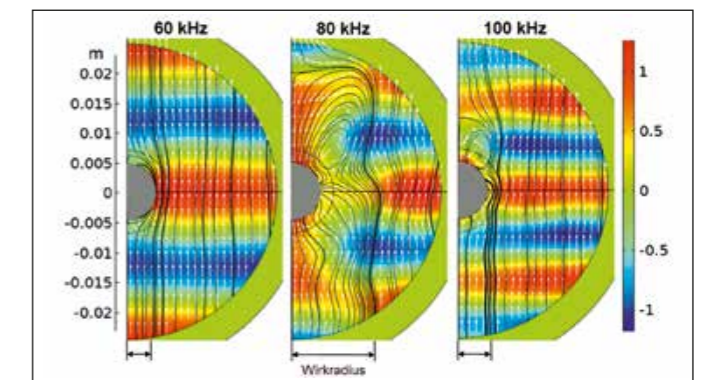


Abb. 4: Einfallende Wirkintensität bei Beschallung (von unten) einer PMMA-Kugel mit Radius 4,8 mm bei Frequenzen ohne (60 kHz) und mit Resonanz (80 kHz)

TRDir Thorsten Sarrach
Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition (WTD 91)
Meppen

WTD91430@Bundeswehr.org

Mit Hochgeschwindigkeit gegen hochfesten Beton

Über die letzten 20 Jahre sind weltweit Untersuchungen an neuartigen Konstruktionstechniken durchgeführt worden. Als Mittel der Wahl zum Schutz von z. B. gehärteten Bauwerken wie Bunker gegen penetrierende Waffen wurde hochfester Beton identifiziert. Im beständigen „Katz-und-Maus-Spiel“ liegt nun wieder der Ball in der Ecke der Waffensysteme. Ziel dieser Forschung ist das Erlangen eines Verständnisses über die Vorgänge beim Eindringen in diesen hochfesten Beton, damit „model & simulation tools“ mit den entsprechenden Daten gefüllt werden können.

Das Schützen von wertvollen Einrichtungen hat eine sehr lange Historie. Burgen und Festungen sind Zeugen einer längst vergangenen Zeit. Noch heute steht man teils bewundernd und dennoch kopfschüttelnd vor den Ruinen. Sie sind von der Zeit überholt worden. Letzte Relikte der Versuche, den ultimativen Schutz zu kreieren, finden sich in den Bunkern des Zweiten Weltkriegs. Im Vergleich zum Mittelalter widerstehen diese Bunker teilweise heute noch den Rückbauaktivitäten der Neuzeit. Das darf aber nicht davon ablenken, dass die Aktivitäten auf dem Gebiet der Verbesserung des Schutzes nie zum Stillstand gekommen sind.

Seit dem Zweiten Weltkrieg und insbesondere in den letzten zwanzig Jahren wird zum Teil sehr aktiv an der Verbesserung der Strukturen, der Herstellprozesse, aber auch an den Mixturen für Betonstrukturen weltweit geforscht. Dabei haben nicht nur Brücken oder andere Infrastrukturanteile von den Fortschritten profitiert, sondern auch der Bereich von Schutzanlagen. Immer stärker ist dabei die Nutzung von sogenannten „hoch-festen“ Betonen in den Fokus der Untersuchungen geraten. Hierbei handelt es sich unter anderem um Betone, denen man (Stahl-) Fasern beimengt. Die Formgebung der Fasern soll dabei zu einem innerlichen „Verhaken“ in der Matrix führen. Die bekannten Bewehrungen der alten Betone sind dann nicht mehr notwendig. Somit sind auch neue Formen ohne Zugstände an die Stabilität, Härte und Festigkeit möglich.

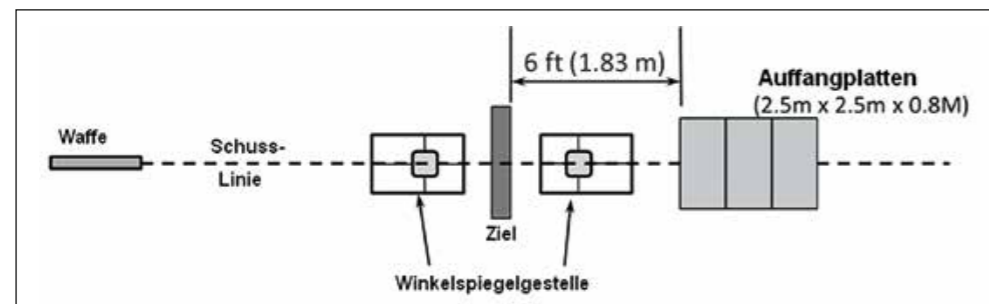


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau der Versuchseinrichtung

Diese neuen Fähigkeiten eröffnen den Konstrukteuren von Schutzbauten viele Möglichkeiten. Bauteile können vorab erstellt und anschließend wie in einem Baukastensystem zusammengefügt werden. Ein Vergießen an der Baustelle ist nicht mehr notwendig. Somit sind selbst Strukturen weitab von sonst notwendigen Infrastrukturen realisierbar. Das Erbauen von Kommandostrukturen erhält dadurch einen ungeahnten Vorschub.

Die bekannten Waffensysteme sind gegen Materialien optimiert, die nicht den neuartigen Materialien und Verfahren entsprechen und somit nicht die gewünschten Erfolge in Gänze erreichen können. Um an der Stellschraube wieder drehen zu können, muss man ein Verständnis über die Vorgänge beim Eindringen in diese neuartigen Materialien erhalten. Nur dann können die verschiedenen Simulationswerkzeuge entsprechend angepasst werden. Bei diesen Werkzeugen handelt es sich zum einen um Simulations-Programme für Einsatzplaner in der Truppe und zum anderen um Programme für Ingenieure.

Im Rahmen einer Kooperation der USA mit Deutschland wurden Grundlagenuntersuchungen des Eindringverhaltens von Unterkaliber-Penetratoren in hoch-festem Beton an der Wehrtechnischen Dienststelle für Waffen und Munition (WTD 91) durchgeführt. In zwei Kampagnen wurden Ziele mit einem

Gewicht von 7,5 to bis hin zu 29 to mit vier verschiedenen Geschwindigkeiten beschossen. Die Projektile führten dabei zwei unterschiedliche und voneinander unabhängige Messeinrichtungen mit sich. Verschossen wurden die Projektile aus einem 120mm Rohr eines Kampfpanzers.

In einer ersten Kampagne wurden je drei unterschiedlich dicke Ziele mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten beschossen. Die Ziele hatten einen Durchmesser von 2,40 m und wiesen Dicken von 0,61 m, 1,22 m und 1,83 m (2 ft, 4 ft und 6 ft) auf. Die Geschwindigkeiten lagen bei ca. 1500 ft/s und ca. 3000 ft/s. Die aufgenommenen Beschleunigungen wurden ausgewertet und in die gängigen Simulationswerkzeuge integriert.

Zur Validierung der upgedateten „model & simulation tools“ erfolgte eine zweite Mess-Kampagne. Bei dieser Versuchsreihe kamen wieder Ziele der gleichen Mischung mit einem Durchmesser von 2,40 m zum Einsatz, nur reichten die Dickenwerte dieses Mal bis zu 2,44 m. Die Geschwindigkeiten wurden auf bis zu 3700 ft/s gesteigert. Ähnlich wie bei der ersten Messreihe wurden bewusst „Steckenbleiber“ wie auch „Durchschüsse“ generiert. Die gewonnenen Daten aus den zum Teil verbesserten Messelektroniken werden nun wieder in die Simulationswerkzeuge integriert.

Abb. 2: Projektflug



Abb. 2: Projektflug



Abb. 3: Ergebnis eines Vorversuches

Frank Jaspers
Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition (WTD 91)
Meppen

WTD91posteingang@bundeswehr.org

Weiterentwicklung Truppenübungsplätze

Die Digitalisierung innerhalb der Bundeswehr schreitet immer weiter voran. Wurden in den vergangenen Jahren die Truppenübungsplätze stiefmütterlich behandelt, so ist Digitalisierung der Truppenübungsplätze nun in den Fokus gerückt. Mit Hilfe vernetzter Anwendungen sollen Fähigkeitslücken geschlossen werden, um zukunftsfähige und einsatznahe Gefechtsübungen zu realisieren. Die Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition (WTD 91) führt hierzu F&T Studien durch.

Mit dem Gesamtprojekt „Weiterentwicklung Truppenübungsplätze und Schießanlagen“ soll in den nächsten Jahren die Digitalisierung der deutschen Truppenübungsplätze vorgenommen werden. Der Startschuss hierzu ist mit dem Ausbau der Schießbahn 3 in Bergen als Pilotprojekt bereits erfolgt. WTD 91 ist beauftragt, Forschung und Entwicklung im Themenkomplex digitalisierter Truppenübungsplätze durchzuführen. Daher wird derzeit auf der WTD 91 ein Testbed errichtet, welches geeignet ist, zielgerichtete Forschung durchzuführen.

Um einen digitalen, weiterentwickelten Truppenübungsplatz umsetzen zu können, sind folgende technische Kernelemente notwendig:

- IP-basierte Kommunikations-Infrastruktur, z. B. 5G, LTE, WLAN, Glasfaser, Kabel etc.
- Vernetzung aller Teilnehmer, wie z. B. Leitende, Übende, Targets, Schießsicherheit, Schussdetektion, etc.
- Software-Applikationen
- Sicherheitsplanung
- Zentrales Datenmanagementsystem, Datenbank, Server, Cloud, offene standardisierte Schnittstellen



Abb. 1: Autonome Zieldarstellungsroboter



Abb. 2: Gefechtsschießen Wildflecken

- Übungssteuerung und Auswertung
- Zieldarstellungsgerät mit Sensorik, Waffensensorik, mobil, selbstbeweglich, stationär, adaptiv reagierend, interaktiv steuerbar

Die Ergebnisse der durchgeführten F&T Aktivitäten wurden im Rahmen eines Gefechtsschießens von der WTD 91 in Zusammenarbeit mit Fraunhofer EMI am 30.09. und 01.10.2021 hochrangigen militärischen Gästen auf der Schießbahn 16B in Wildflecken präsentiert.

Für das Gefechtsschießen wurden folgende Komponenten und Technologien miteinander vernetzt:

- Autonom bewegliche Infanterieziele
- Digitalisierte Klappfallscheiben
- Trefferdetektion in Echtzeit
- Darstellung der Zieldarstellungsmittel auf Tablets und gehärteten Laptops in Echtzeit
- Gefechtsfeldaufklärung mittels Drohne
- Blueforcetracking per Smartphone

Mit Hilfe dieser Komponenten konnte nach Vorgabe des Schießausbilders des Wachbataillons ein taktisches Gefechtsszenario umgesetzt werden, welches im Vorfeld programmiert wurde. Durch das bestehende Tracking der eigenen Truppe kann der Zielbau interaktiv gesteuert werden, so sind z. B. die Zieldarstellungsroboter in der Lage, abhängig von der Position oder vom Beschuss eigenständig zu agieren.

Zusätzlich zum vorprogrammierten Szenario besteht für den Schießausbilder auch die Möglichkeit, die Zieldarstellungsmittel direkt per Tablet anzusteuern.



Abb. 3: Trefferanzeige in Echtzeit

Wichtiges Hilfsmittel für eine zielgerichtete Ausbildung ist die integrierte Trefferdetektionssensorik, die sowohl Treffer als auch Fehlschüsse millimetergenau anzeigt und den Schützen ein direktes Feedback zu Haltepunkt und Trefferlage gibt.

„Train as you fight“ – dieser Devise kommt dank der neuen technologischen Möglichkeiten eine völlig neue Bedeutung zu. Es entsteht ein deutlicher Mehrwert und Zugewinn an Ausbildungserfolgen, weil der Schütze künftig noch näher an der Einsatzpraxis ausgebildet werden kann. Dies hat das erste „digitale“ Gefechtsschießen eindrucksvoll bewiesen.

Die Ergebnisse und die gewonnenen Erkenntnisse der F&T Aktivitäten und die damit verbundenen praktischen Erprobungen fließen direkt in den CPM-Prozess (Customer Product Management) ein.



Abb. 4: Vorstellung für Inspekteur SKB

2

Wehrmedizinische und Militärpsychologische Forschung

Das Jahr 2020 wurde auch in der wehrmedizinischen Forschung durch die Covid-19 Pandemie bestimmt. Der Sanitätsdienst der Bundeswehr hatte bereits im März ein Sonderforschungs-Programm initiiert, um wehrmedizinisch relevante Forschung zur Bewältigung der Pandemie zeitnah und zielgerichtet zu fördern. Als Beispiele für den Beitrag der wehrmedizinischen Forschung zum Kampf gegen die Pandemie werden die vom Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr vorgestellte SARS-CoV2 Diagnostik auf hoher See, der Aufbau zusätzlicher Testkapazitäten am Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, eine Studie zur klinischen Evaluation für Hochdurchsatz-Tests am Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz und der Nachweis von Auto-Antikörpern als Risikofaktor für schwere Covid-19 Verläufe durch das Bundeswehrkrankenhaus (BwKrhs) Ulm vorgestellt.

Doch auch abseits der Covid-19 Forschung stellen Ressortforschungseinrichtungen des Sanitätsdienstes und die Bundeswehrkrankenhäuser (BwKrhs) erneut Beispiele exzellenter wissenschaftlicher Arbeit zum Schutz der Gesundheit von Soldatinnen und Soldaten vor.

Das Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr berichtet über die Störung von regenerativ wirkenden Stammzellen durch Schwefelost-Vergiftung als mögliche Ursache für die chronische Wundheilungsstörung. Das Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr stellt eine neue Methodik zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Personalgewinnung und wehrmedizinischen Begutachtungen vor. Das Schiffahrtsmedizinische Institut der Marine

befasst sich mit immunologischen Veränderungen durch hyperbaren Sauerstoff und der Frage gesundheitlicher Auswirkungen des dienstlichen Tauchens. Das Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe stellt sich mittels einer Höhenexpositions-kammer zu den Auswirkungen hypobarer Verhältnisse in großer Höhe.

Neben den Ressortforschungseinrichtungen werden die BwKrhs nunmehr mit einem institutionellen Forschungsauftrag immer mehr zu einer tragenden Säule der wehrmedizinischen Forschung im Sanitätsdienst der Bundeswehr.

BwKrhs Berlin stellt die Evaluation verschiedener Simulationsmodelle in der chirurgischen Ausbildung, den Einsatz einer Online-Videosprechstunde und die Entwicklung fortschrittlicher, in den Knochen implantierbarer Prothesensysteme vor. Das Psychotraumazentrum am BwKrhs Berlin beschreibt die Evaluation pferdegestützter Therapien für PTBS-Patienten. BwKrhs Hamburg befasst sich mit der Evaluation molekularer Diagnostik für tropische Parasitosen.

Auch für die militärpsychologische Forschung war im Jahr 2020 die Covid-19 Pandemie von Relevanz. Das Psychotraumazentrum am BwKrhs Berlin berichtet über eine zivilmilitärische Zusammenarbeit, in deren Rahmen der Einfluss von Covid-19 auf Angst, Aggression und Ärger bei Krankenhauspersonal und einer von Covid-19 betroffenen Hochrisikopopulation untersucht wurde.



Flottillenarzt Enrico Georgi
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr
München

institutfuermikrobiologie@bundeswehr.org

Oberregierungsrätin Dr. Katrin Zwirgmaier
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr
München

institutfuermikrobiologie@bundeswehr.org

Welcome on Board – SARS-CoV-2-Diagnostik auf hoher See

Unter den beengten Verhältnissen an Bord von Schiffen und Booten können sich Fälle von COVID-19 schnell ausbreiten. Am Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr wurden daher in Zusammenarbeit mit dem Marinesanitätsdienst Nachweisverfahren entwickelt, um direkt an Bord von seegehenden Einheiten eine zuverlässige SARS-CoV-2-Diagnostik auf Basis von PCR-Tests durchführen zu können.

Die rasante Ausbreitung von SARS-CoV-2 in der ganzen Welt stellte insbesondere auch den Marinesanitätsdienst vor enorme Herausforderungen. An Bord von Schiffen können sich COVID-19-Erkrankungen schnell ausbreiten und durch behandlungsbedürftige Fälle sowie notwendige Maßnahmen zur Ausbruchseindämmung die Auftragserfüllung gefährden. Gleichzeitig ist die Nutzung von Laborkapazitäten an Land nur selten möglich. Der schnellen vor-Ort-Diagnostik kommt deshalb im maritimen Einsatz eine besondere Bedeutung zu.

Anfang April 2020 erhielt das Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr (IMB) den Auftrag, für den Marinesanitätsdienst unverzüglich eine COVID-19-Diagnostik auf dem Einsatzgruppenversorger (EGV) BERLIN einzurichten. Die Herausforderung bestand darin, kurzfristig ein Laborverfahren bereitzustellen, um den PCR-Test auf einem mit nur zwei Fluoreszenzkanälen vergleichsweise einfachen Marinegerät zu etablieren, zu validieren und alle Materialien rechtzeitig auf die BERLIN zu verbringen. Nachdem bereits nach wenigen Stunden ein baugleiches PCR-Gerät an das IMB nach München gebracht wurde, konnte bereits einen Tag später mit den ersten Test-



Abb. 1: Spezialpaket auf dem Flugdeck. Last-minute-Lieferung von speziellen, temperaturempfindlichen Reagenzien zur COVID-19-Diagnostik durch einen Hubschrauber Sea King Mk41 des Marinefliegergeschwaders 5 aus Nordholz am 8. April 2020 (Quelle: 2020 Bundeswehr/Dr. Laumann)



Abb. 2: Videokonferenz mit dem Einsatzgruppenversorger BERLIN. Die bereits vor Jahren etablierte Möglichkeit, telemedizinische Beratung für seegehende Einheiten zu realisieren, erleichterte die Einweisung des Personals an Bord enorm (Quelle: 2020 Bundeswehr/Dr. Wölfel)

Oberstabsveterinär Dr. Fee Zimmermann
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr
München

institutfuermikrobiologie@bundeswehr.org

Oberstarzt PD Dr. Roman Wölfel
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr
München

institutfuermikrobiologie@bundeswehr.org

läufen begonnen werden. Nach Validierung an Patientenproben wurden Reagenzien, Arbeitsanweisungen und Software zur Geräteprogrammierung in luft- und wasserdichten Transportkisten verpackt und durch Marineflieger auf die bereits in der Nordsee kreuzende BERLIN verbracht (Bild 1). Direkt nach Eintreffen wurde durch einen eingeschifften medizinisch-technischen Laboratoriumsassistenten (MTLA) ein erster Testlauf durchgeführt. Dieser erste, per Telemedizin aus München begleitete Systemtest konnte nur fünf Tage nach dem ersten Entwicklungsauftrag erfolgreich abgeschlossen werden (Abb. 2).

Als kritische Größe stellte sich im weiteren Verlauf allerdings die Verfügbarkeit von Laborpersonal heraus. Der aus Kiel eingeschiffte MTLA musste bereits nach wenigen Wochen den EGV wieder verlassen. Ab Sommer 2020 waren aber erste, auch patientennah einsetzbare PCR-Tests verfügbar, die ohne spezielle Laborerfahrung zu bedienen sind. Das IMB erhielt daher erneut den Auftrag, die Leistungsparameter eines als Point-of-Care-Test- (POCT-) System konzipierten PCR-Gerätes für einen möglichen Einsatz bei der Marine zu bewerten.

Wiederum stand durch den unmittelbar bevorstehenden Einsatz der deutschen Fregatte HAMBURG (Abb. 3) zur Durchführung der Evaluation nur ein enges Zeitfenster von wenigen Arbeitstagen zur Verfügung. Mit erheblichem Personaleinsatz

gelang es in dieser kurzen Zeit, am IMB insgesamt 199 Testläufe mit dem zu bewertenden Gerät durchzuführen. Bei vergleichender Testung gegen ein etabliertes PCR-System aus der stationären Routinediagnostik mit standardisiertem SARS-CoV-2-Kulturmaterial und exakt quantifizierten RNA-Präparationen lag die Nachweisgrenze des POCT-Systems nahe an dem Routine-PCR-System. Insbesondere im Vergleich zu ebenfalls am Institut untersuchten Antigenschnelltesten überzeigte das POCT-System mit deutlich besseren Leistungsparametern.

Durch die Ausrichtung des IMB als translationales Ressortforschungsinstitut gelang es in den beiden hier dargestellten Fällen sehr schnell, unmittelbare Nutzenanwendung aus laufenden Forschungsarbeiten abzuleiten. Beispiele wie diese zeigen die Stärken der Ausrichtung modernster militärmedizinischer Forschungskapazitäten an den Bedürfnissen und Anwendungsfällen der Streitkräfte. Mit diesen Fähigkeiten ist die Bundeswehr auch für zukünftige Herausforderungen gut aufgestellt.



Abb. 3: Fregatte HAMBURG. Das Schiffslazarett wurde Ende Juli 2020 für den Einsatz EUNAVFOR MED Irini mit einem Point-of-Care-Testsystem zur Diagnostik bei V.a. COVID-19 direkt an Bord ausgestattet (Quelle: 2008 Bundeswehr/Winges)

Major Simone Rothmiller
Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr
München

Institut fuer Pharmakologie und Toxikologie@bundeswehr.org

Oberstleutnant d. R. Prof. Dr. Annette Schmidt
Universität der Bundeswehr München,
Institut für Sportwissenschaft
Neubiberg

info@unibw.de

Störung von regenerativ wirkenden Stammzellen durch Schwefellost-Vergiftung als mögliche Ursache für die chronische Wundheilungsstörung

Das Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr forscht an Toxizitätsmechanismen chemischer Kampfstoffe, um Antidote zu entwickeln. Der chemische Hautkampfstoff Schwefellost wurde in den letzten Jahren wiederholt in Syrien eingesetzt. Als mögliche Ursache für die dadurch ausgelöste Wundheilungsstörung konnte die Schädigung regenerativer Stammzellen identifiziert werden.

Der chemische Hautkampfstoff Schwefellost (S-Lost) schädigt hauptsächlich Augen, Lunge und die Haut. Nach einer klinischen Latenzzeit ohne Symptome, die eine schnelle und effiziente Dekontamination erschwert, treten Hautrötungen und später Blasenbildung der exponierten Haut auf. Die Wundheilung ist stark verzögert und gerade bei schwerwiegenden Vergiftungen entstehen chronische Wunden, die oft ein Hauttransplantat notwendig machen. Durch die Einfachheit der chemischen Synthese sowie verschiedener Altlasten aus dem zweiten Weltkrieg besteht nach wie vor eine hohe terroristische Gefahr durch S-Lost, obwohl chemische Kampfstoffe durch das Chemiewaffenübereinkommen international verboten sind.

Gerade durch den komplexen Wirk- und Schädigungsmechanismus stellt S-Lost eine Herausforderung dar, die die Entwicklung einer kausalen Therapie erschwert. Die dadurch bestehende wehrmedizinische Lücke unterstreicht die Notwendigkeit der Forschung zur Therapieverbesserung und Antidotentwicklung.

Da das Hauptproblem nach der S-Lost Vergiftung die gestörte Wundheilung ist, liegt die Vermutung nahe, dass regenerativ

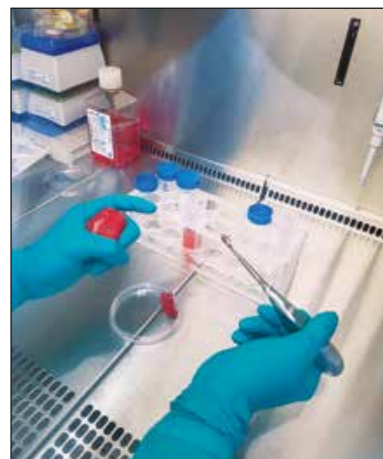


Abb. 1: Isolation von humanen mesenchymalen Stammzellen aus dem Knochenmark von Hüftköpfen

wirkende, körpereigene Stammzellen durch eine Exposition mit S-Lost geschädigt werden. Diese mesenchymalen Stammzellen (MSC), die eine essentielle Rolle bei der Heilung von Hautwunden spielen, werden nach einem Gewebeschaden rekrutiert und können hier über verschiedene Mechanismen modulativ und regenerativ wirken. Um die MSC direkt untersuchen zu können, haben wir im Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr in Kooperation mit dem Helios Amper-Klinikum in Dachau das Verfahren zur Isolation von MSC aus humanem Knochenmark etabliert (s. Abbildung 1). Hierfür verwenden wir den Hüftkopf als anfallendes Operationsrestgewebe, welcher normal fachgerecht nach einer Hüftgelenk-Operation entsorgt werden würde.

Unsere neuesten Erkenntnisse zeigen, dass S-Lost Vergiftung eine so genannte Seneszenz in MSC auslöst. Seneszenz wurde zuerst im Zusammenhang mit dem Altern beschrieben, welche auf die Verkürzung der Telomere, der „Schutzkappen“ des Erbguts, zurückgeführt wurde. Darüber hinaus kann eine Seneszenz durch einen nicht reparierten DNA-Schaden oder oxidativen Stress in Zellen induziert werden. Gerade das ist der Haupttoxizitätsmechanismus nach einer S-Lost Vergiftung, was die Vermutung einer S-Lost induzierten Seneszenz nahe legt.

Tatsächlich konnte gezeigt werden, dass eine einmalige Vergiftung mit einer noch nicht blasenbildenden Konzentration eine Seneszenz in humanen MSC auslösen kann, was durch die blaue Färbung deutlich wird (s. Abbildung 2 und 3). Diese seneszenten MSC können sich nicht mehr teilen und zeigen eine signifikant verringerte Migration. Zusätzlich sekretieren sie eine Vielzahl an proinflammatorischen Faktoren. Eine S-Lost Vergiftung könnte also die regenerativen Stammzellen so

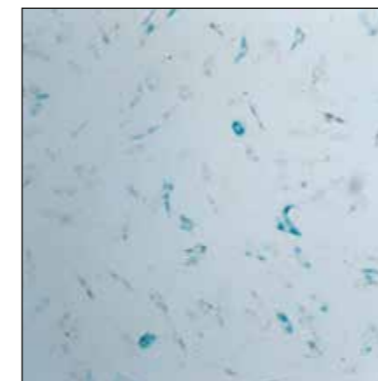


Abb. 2: Nicht seneszente mesenchymale Stammzellen

schädigen, dass sie nicht mehr zu dem Gewebeschaden migrieren können oder bzw. und zusätzlich im Gewebe zu einer chronischen Entzündungsreaktion führen. Dadurch könnten die S-Lost induzierten seneszenten MSC möglicherweise die Ursache für die chronische Wundheilungsstörung sein. Durch eine selektive Eliminierung dieser Zellen müsste also die Wundheilung verbessert werden können. Bei diesem innovativen Therapieansatz zeigte ABT-263, ein Inhibitor von anti-apoptischen Proteinen, initiales Potential.

Der neu identifizierte Pathomechanismus der S-Lost induzierten Seneszenz in MSC öffnet neue Therapiemöglichkeiten. Langfristig sollen verschiedene Substanzen getestet werden, um die durch S-Lost Vergiftung gestörte Wundheilung zu verbessern. Solch eine kausale Therapie ist zur Behandlung exponierter Soldatinnen und Soldaten besonders in Zusammenhang mit einem Auslandseinsatz dringend nötig.

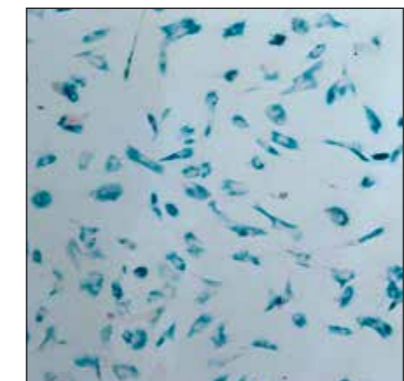


Abb.3: Seneszente mesenchymale Stammzellen 21 Tage nach einer einmaligen Exposition mit 40 µM Schwefellost, angefärbt über den Marker Seneszenz-assoziierte β-Galactosidase

Oberstarzt Dr. Ulrich Rohde
 Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr
 Koblenz

InstPraevMedA@bundeswehr.org

Oberstarzt Prof. Dr. Dr. Dieter Leyk
 Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr
 Koblenz

InstPraevMedA@bundeswehr.org

Effiziente und valide Beurteilung körperlicher Leistungsfähigkeit bei der Personalgewinnung und wehrmedizinischen Begutachtungen: Das neue „KI-KLF-Verfahren“

Negative gesellschaftliche Gesundheits-/Leistungstrends wirken sich zusehends auf Soldatinnen und Soldaten aus. Die korrekte Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit wird daher immer wichtiger. Das neue „KI-KLF“ ist ein effizientes und valides Überprüfungsverfahren, das hervorragend im Rahmen der Personalgewinnung und der wehrmedizinischen Begutachtung eingesetzt werden kann.

Viele militärische Belastungen in Ausbildung und Einsatz, wie z. B. Marschieren, Bewegungen im Gelände mit Ausrüstung oder Retten von Verwundeten, stellen hohe Anforderungen an Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit. Eine adäquate körperliche Leistungsfähigkeit (KLF) ist dabei zum einen Voraussetzung für das erfolgreiche Ausführen vieler militärischer Tätigkeiten (Leistungsaspekt) und zum anderen auch ein wichtiger präventiver Faktor zum Zweck des langfristigen Erhalts von Gesundheit und Leistungsfähigkeit (Präventionsaspekt). Die KLF ist damit Grundlage für das Erwerben und den Erhalt der Einsatzbereitschaft.

Durch Dauersitzen im Beruf, Verkehr, Freizeit und andere ungünstige Alltagsgewohnheiten verschlechtern sich jedoch seit Jahren Gesundheit, Belastbarkeit und körperliche Leistungsfähigkeit in der Bevölkerung, aber auch bei vielen Soldatinnen und Soldaten. Angesichts der physisch fordernden Tätigkeiten in der Bundeswehr werden daher zuverlässige und aussagestarke Verfahren zur Ermittlung der KLF immer wichtiger. Diese dürfen im Rahmen von Personalgewinnungsverfahren und wehrmedizinischen Begutachtungen aber nur einen geringen



Abb. 1: Die Parameter des „KI-KLF“ können mit geringen Ressourcenbedarf erhoben werden und sind starke Prädiktoren für die konditionellen Fähigkeiten Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer mit Bezug zu einem militärischen Standardanforderungsprofil

Prof Dr. Dieter Hackfort
 Deutsche Sporthochschule Köln,
 Forschungsgruppe Leistungsepidemiologie
 Köln

Leistungsepidemiologie@dshs-koeln.de

Dr. Thomas Rütter
 Deutsche Sporthochschule Köln,
 Forschungsgruppe Leistungsepidemiologie
 Köln

Leistungsepidemiologie@dshs-koeln.de

Ressourcenbedarf an Personal, Zeit, Material und Infrastruktur in Anspruch nehmen.

Vor diesem Hintergrund wurde in einem Verbundforschungsvorhaben des Instituts für Präventivmedizin der Bundeswehr, der Deutschen Sporthochschule Köln und der Universität der Bundeswehr München das Kategorisierungsinstrument „KI-KLF“ entwickelt, mit dem die KLF anhand einfach zu erhebender Prädiktoren in drei Leistungskategorien eingestuft werden kann. Für die Entwicklung wurde eine Vorauswahl an Prädiktoren für die konditionellen Fähigkeiten Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit getroffen, die über multiple lineare Regressionen gegen ein allgemeinmilitärisches Anforderungsprofil (Soldaten-Grundfitness-Tool SGT) als Bezugskriterium getestet wurden. Die endgültige Parameterauswahl erfolgte (i) hinsichtlich der Aufklärung des Kriteriums SGT Gesamtzeit und (ii) unter Berücksichtigung des personellen, zeitlichen, materiellen und infrastrukturellen Ressourcenbedarfs.

Die Prädiktoren des „KI-KLF“ (Fettfreie Masse, isometrische Maximalkraft Armbeuger- und Greifmuskulatur, Sprinttest und 1.000 m-Lauf des Basis-Fitness-Tests, Geschlecht) besitzen eine hohe Varianzaufklärung (korrigiertes R²: 0,714) und erlauben eine hinreichend genaue Vorhersage der KLF mit Bezug zu einem allgemeinmilitärischen Anforderungsprofil (Abb. 1).

Das „KI-KLF“ ist ein effizientes und praxisbezogenes Verfahren, mit dem die KLF hinsichtlich der Anforderungen von Verwendungen valide und zuverlässig in einem Ampelsystem („Grün“-„Gelb“-„Rot“) kategorisiert werden kann (Abb. 2). Aufgrund des geringen Ressourcenbedarfs (Zeit, Personal, Material und Infrastruktur) eignet es sich hervorragend für den Einsatz bei der Personalgewinnung und bei wehrmedizinischen Begutachtungen (z. B. auch Allgemeine Verwendungs-fähigkeitsuntersuchung – Individuelle Grundfertigkeiten (AVU-IGF)).

Die Verwendung von „KI-KLF“ kann z. B. im Annahmeverfahren ermöglichen, Soldatinnen und Soldaten bereits in der Grundausbildung (GA) mit einem adressatengerechten Training gezielt zu fördern. Dadurch könnten u. a. auch die Drop-Out Quoten in der GA gesenkt werden.

In der wehrmedizinischen Begutachtung kann das „KI-KLF“ einen weiteren erheblichen Informationsgewinn erbringen: Die Zusammenführung von Gesundheits- und Leistungsdaten eröffnet vielfältige Optionen hinsichtlich Prävention, Ausbildung und Einsatzvorbereitung. Außerdem könnte ein wichtiger, derzeit nicht verfügbarer Lagebildbeitrag für die Führung der Bundeswehr geliefert werden.

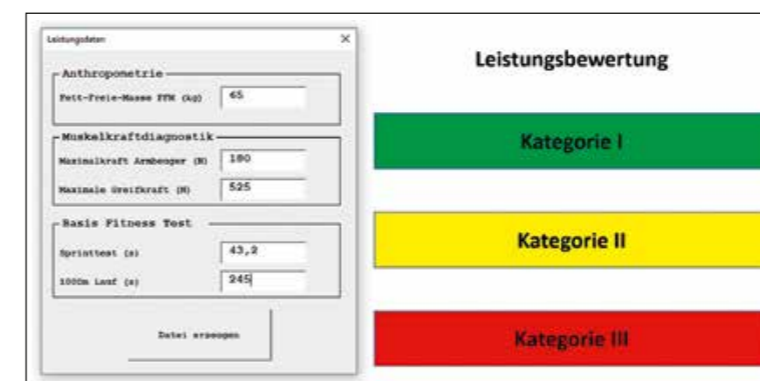


Abb. 2: Mit den erhobenen Daten kann die Leistung valide und zuverlässig bewertet und in einem Ampelsystem („Grün“-„Gelb“-„Rot“) kategorisiert werden

Oberstabsarzt
Simone Schüle
Institut für Radiobiologie
der Bundeswehr
München

Institut fuer Radiobiologie
@bundeswehr.org

Oberstabsarzt
Dr. med. Patrick Ostheim
Institut für Radiobiologie
der Bundeswehr
München

Institut fuer Radiobiologie
@bundeswehr.org

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

Institut fuer Radiobiologie
@bundeswehr.org

Oberstarzt Prof. Dr. med.
Michael Abend (M.Sc.)
Institut für Radiobiologie
der Bundeswehr
München

Institut fuer Radiobiologie
@bundeswehr.org

Dr. rer. nat.
Simone Eckstein
Institut für Mikrobiologie
der Bundeswehr
München

Institut fuer Mikrobiologie
@bundeswehr.org

Dr. rer. nat.
Susann Handrick
Institut für Mikrobiologie
der Bundeswehr
München

Institut fuer Mikrobiologie
@bundeswehr.org

Oberstarzt
PD Dr. med. Roman Wölfel
Institut für Mikrobiologie
der Bundeswehr
München

Institut fuer Mikrobiologie
@bundeswehr.org

Aufbau und Implementierung zusätzlicher SARS-CoV-2-Testkapazitäten am Institut für Radiobiologie der Bundeswehr

Die SARS-CoV-2-Pandemie führte zu einem rasch wachsenden Bedarf an diagnostischen Tests und Laborkapazitäten in Deutschland. Am Institut für Radiobiologie der Bundeswehr (InstRadBioBw) wurde daher in Kooperation mit dem Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr (InstMikroBioBw) ein teilautomatisierter, fach- und institutsübergreifender Arbeitsablauf für die SARS-CoV-2-Diagnostik implementiert.

SARS-CoV-2 hat spätestens seit März 2020 die Welt fest im Griff. Insbesondere im Frühjahr 2020 führte die SARS-CoV-2-Pandemie zu einem rasch wachsenden Bedarf an diagnostischen Tests und Laborkapazitäten in Deutschland. Um dem befürchteten Engpass an diagnostischen Tests entgegenzuwirken, wurde daher am InstRadBioBw versucht, bereits bestehende Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR) – Infrastrukturen für die SARS-CoV-2 Diagnostik zu verwenden. Die bestehende hochleistungsfähige PCR-basierte Diagnostik war zwar für radiobiologische Fragestellungen vielfach erprobt und validiert, die Durchführung jeglicher Virusdiagnostik, SARS-CoV-2 eingeschlossen, stellte bis dato jedoch ein Novum dar. Ziel war es daher, in enger Zusammenarbeit mit dem InstMikroBioBw, schnellstmöglich die bestehenden Arbeitsabläufe so für die SARS-CoV-2-Diagnostik umzustellen, dass bei Bedarf bis zu 200 zusätzliche Proben/Tag getestet werden können.

Zuerst mussten die vorhandenen Laborgeräte am InstRadBioBw mit entsprechender Software speziell für die Virusdiagnostik aufgerüstet und das benötigte Verbrauchsmaterial beschafft werden. Im Anschluss konnte die Virusdiagnostik innerhalb

von wenigen Wochen durch mehrere Testläufe etabliert und validiert werden und erreichte einen Qualitätsstandard, der den Daten des akkreditierten Testlabors des InstMikroBioBw entsprach. Besonders hervorzuheben war dabei der entstandene, weitgehend automatisierte, fach- und institutsübergreifende Arbeitsablauf (siehe Abb. 1) mit dem Ziel einer Schnell- und Hochdurchsatzdiagnostik von SARS-CoV-2 Proben. Hierfür wurden die virusinaktivierten Patientenproben durch die teilautomatisierte Laborrobotik (siehe Abb. 1 B) verarbeitet und für den direkten Virusnachweis vorbereitet. In der anschließend durchgeführten „multiplexing“ quantitativen Real Time PCR (qRT-PCR, siehe Abb. 1 C), dem aktuellen Goldstandard der SARS-CoV-2-Diagnostik, wurden simultan mehrere Zielgene gleichzeitig detektiert, um die Spezifität und Sensitivität des direkten Virusnachweises zu erhöhen. Die Ergebnisinterpretation der qRT-PCR und die abschließende Diagnosestellung erfolgte durch die Spezialisten des InstMikroBioBw (siehe Abb. 1 D).

Beide Institute trugen demnach mit ihrer Expertise entscheidend dazu bei, dass die Testkapazität im Frühjahr 2020 signifikant erhöht werden konnte – das InstMikroBioBw mit der Virusinaktivierung der Patientenproben und der Auswertung der qRT-PCR Daten und das InstRadBioBw mit der Bereitstellung der teilautomatisierten RNA-Isolation und der Durchführung der qRT-PCR.

Der Schlüssel für den erfolgreichen, fach- und institutsübergreifenden Aufbau und der Implementierung der SARS-CoV-2-Diagnostik am InstRadBioBw war zweifelsohne die reibungslose Zusammenarbeit zwischen beiden Instituten. Durch diese und das bereits zuvor bestehende hohe Arbeits- und Leistungsniveau beider Institute konnte neben der erfolgreichen Etablierung der SARS-CoV-2-Diagnostik am InstRadBioBw auch die Dauer der Etablierung von mehreren Monaten auf wenige Wochen reduziert werden.



Abb. 1:
Schematische Darstellung des institutsübergreifenden, teilautomatisierten Arbeitsablaufes
A) Probenaufbereitung und Virusinaktivierung am InstMikroBioBw
B) Teilautomatisierte RNA-Isolation mit dem QIAGEN QIASymphony® und
C) qRT-PCR mit dem QuantStudio™ 12K OA Real-Time PCR System am InstRadBioBw
D) Ergebnisinterpretation und Diagnosestellung am InstMikroBioBw

RDir Dr. Ulrich Wesemann
Psychotraumazentrum der Bundeswehr
Berlin

bwkrhsberlinpsychotraumazentrum@bundeswehr.org

Oberstarzt Dr. Gerd Willmund
Psychotraumazentrum der Bundeswehr
Berlin

bwkrhsberlinpsychotraumazentrum@bundeswehr.org

Einfluss von COVID-19 auf Angst, Aggression und Ärger bei Krankenhauspersonal und Betroffenen

COVID-19 war weltweit die bestimmende Herausforderung des Jahres 2020. In einer zivil-militärischen Zusammenarbeit wurde der Einfluss von COVID-19 auf Angst, Aggression und Ärger bei Krankenhauspersonal und einer von COVID-19 betroffenen Hochrisikopopulation untersucht. Aus den Ergebnissen abgeleitete Empfehlungen für das Krankenhauspersonal und zum Umgang mit den Betroffenen werden dargestellt.

Aufgrund der rasanten Ausbreitung, der Überlastung von Gesundheitsreinrichtungen und der hohen Mortalität der Betroffenen war COVID-19 global das bestimmende gesundheits- und gesellschaftspolitische Thema des Jahres 2020. Der Bedrohungscharakter inklusive aller Beschränkungen stellte eine Herausforderung für die psychische Gesundheit dar.

In einer zivil-militärischen Zusammenarbeit wurde der Einfluss von COVID-19 auf Angst, Ärger und Aggression untersucht. Dafür brachte der Psychologische Dienst der Bundeswehr, vertreten durch das Psychotraumazentrum am BwKrhs Berlin, seine Expertise zur Psychotraumatologie ein. Diese umfasst für zivile Populationen unter anderem Untersuchungen zu Terror oder Amok bei intentionalen, Verkehrs- oder Flugunfällen bei akzidentellen oder Bildschirmauswertungen von Extremereignissen bei beruflichen Traumatisierungen. Die Klinik für Kardiologie und Angiologie des Westdeutschen Herz- und Gefäßzentrums der Universität Duisburg-Essen war der zivile Partner. Die Klinik bildet das gesamte Spektrum der zeitgenössischen Herz-Kreislaufmedizin ab und gehört



Abb. 1: COVID-19 stellt die Betroffenen und die Behandelnden vor große psychische Herausforderungen. Hier exemplarisch die stationäre Versorgung und Überwachung von Patientinnen und Patienten mit COVID-19 (Foto: Thilo Pulpanek; Bundeswehrkrankenhaus Berlin; ©Wesemann et al. 2021)

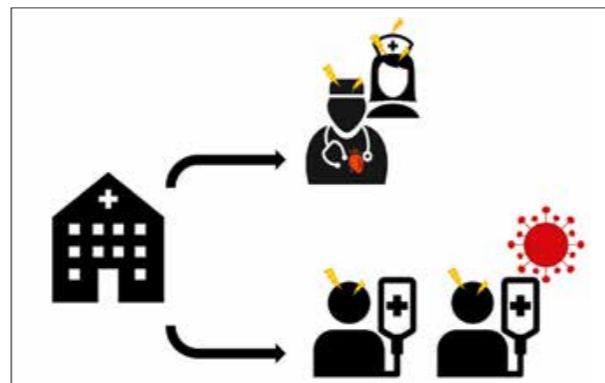


Abb. 2: Grafische Darstellung zur Veranschaulichung des zweiarmigen Studiendesigns mit Krankenhauspersonal und Betroffenen (Vektorgrafiken: Vecteezy.com, Gestaltung: Charlyn Braun; Wehrmedizinische Monatsschrift Ausg. 3-4/2021)

Univ.-Prof. Dr. Tienush Rassaf
Universität Duisburg-Essen,
Klinik für Kardiologie und Angiologie
Essen

kardiologie@uk-essen.de

Priv.-Doz. Dr. Johannes Siebermair
Universität Duisburg-Essen,
Klinik für Kardiologie und Angiologie
Essen

kardiologie@uk-essen.de

zu den führenden kardiovaskulären Maximalversorgern weltweit. In dieser Forschungskooperation wurden deutschlandweit die ersten psychometrischen Daten in einem zweiarmigen Studiendesign mit behandelndem Personal sowie den betroffenen Patientinnen und Patienten erhoben und publiziert.

Im ersten Studienarm mit den Behandlern konnte nachgewiesen werden, dass direkter Kontakt zu Patientinnen oder Patienten mit COVID-19 zu weniger angstspezifischen Symptomen oder Ärger führte als indirekter oder kein Kontakt. Dies wird auf die Überzeugung, sich im Patientenkontakt gut vor einer Infektion schützen zu können, zurückgeführt. Solche Kontrollüberzeugungen lassen sich durch den Arbeitgeber positiv beeinflussen. Effektive Schutzmaßnahmen innerhalb der Einrichtungen und durch die Führung transparente Vermittlung davon sind entscheidend.

Weibliches Personal gab in einem Ärgerausdrucks-Inventar höhere Werte an als seine männlichen Kollegen. Dies wird durch die Doppelbelastung von Familie und Beruf erklärt, die laut Statistischem Bundesamt bei Frauen häufiger vorkommt. Gerade in Zeiten des Lockdowns mit Homeschooling und Schließungen von Kindertages- und Betreuungseinrichtungen kam dies stärker zum Tragen.

Im zweiten Studienarm wurden stationär aufgenommene Patientinnen und Patienten mit COVID-19 und zusätzlich vorliegenden schweren Lungen-, Herz-Kreislauf- oder onkologischen Erkrankungen untersucht. Hier fand sich eine erhöhte Prävalenzrate von 38 % für posttraumatische Belastungsstörungen (PTBS). In den meisten Studien mit vergleichbaren Einschlusskriterien – aber ohne COVID-19 – liegt die Rate unter 10%. Bereits die lebensbedrohlichen Vordiagnosen stellen ein medizinisches Trauma dar. Das zusätzliche Vorliegen von COVID-19 resultiert in einer sehr ungünstigen medizinischen Prognose. Als Risikofaktor für PTBS innerhalb dieser Population konnte Ärger als stabiles Persönlichkeitsmerkmal identifiziert werden. Ärger konnte bis zu 25% der Varianz der posttraumatischen Belastungssymptomatik aufklären und damit vor allem für die Prävention interessant sein. Ein routinemäßiges Screening oder das Einholen eines psychologischen Konsils wird bei Risikopatientinnen und -patienten dringend empfohlen, um psychische Störungen nicht zu übersehen.

Durch die Fortsetzung der wissenschaftlich-psychokardiologischen Kooperation sollen Erkenntnisse gesammelt werden, um die Behandlung weiter zu optimieren.



Abb. 3: CT im thorakalen Querschnitt eines Patienten ohne COVID-19. Das Lungenparenchym zeigt sich seitengleich belüftet.

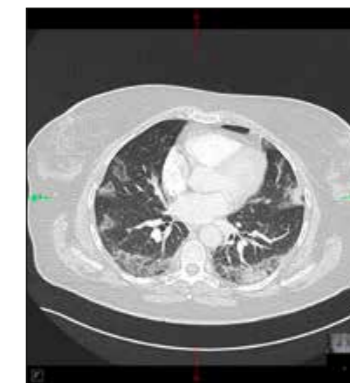


Abb. 4: Thorakales CT einer Patientin mit COVID-19 Infektion. Im Lungenparenchym finden sich beidseits schwielige Indurationen in den basalen Lungenabschnitten

ORR Dr. Kai Köhler
 Psychotraumazentrum der Bundeswehr
 Berlin

Oberstarzt Prof. Dr. Peter Zimmermann
 Psychotraumazentrum der Bundeswehr
 Berlin

bwkrhsberlinpsychotraumazentrum@bundeswehr.org

bwkrhsberlinpsychotraumazentrum@bundeswehr.org

Randomisiert kontrollierte Studie zur Wirksamkeit von pferdeunterstützter Intervention und Therapie bei Einsatzfolgestörungen von aktiven und ehemaligen Angehörigen der Bundeswehr

Das Psychotraumazentrum der Bundeswehr Berlin führt im Auftrag des BMVg eine randomisiert kontrollierte Studie zur pferdeunterstützten Therapie bei Einsatzfolgestörungen von Bundeswehrangehörigen durch, um die Wirksamkeit und mögliche Einflussfaktoren zu untersuchen. Das Studiendesign vergleicht zwei unterschiedliche Interventionsarten der pferdegestützten Therapie mit einer „treatment as usual“-Bedingung.

Seit Anfang der 90iger Jahre haben über 400.000 deutsche Soldatinnen und Soldaten an Auslandseinsätzen der Bundeswehr (Bw) teilgenommen. Annähernd 90% von ihnen waren dabei hohen Belastungen und nahezu 50% mit extremen, potentiell traumatischen Ereignissen ausgesetzt. Bis zu 25% der Soldatinnen und Soldaten zeigten nach ihrer Rückkehr psychische Erkrankungen. Ein Teil dieser Soldatinnen und Soldaten berichten von länger andauernden Problemen wie Konzentrationsstörungen, Reizbarkeit, Vermeidungsverhalten und Albträumen, die einer Posttraumatischen Belastungsstörung (PTBS) aber auch anderen Einsatzfolgestörungen wie Anpassungs-, Angst- und somatoforme Störungen sowie Depressionen zugeordnet werden können.

Allerdings liegen derzeit bei Soldatinnen und Soldaten der Bw zwischen auslösendem Ereignis und der Inanspruchnahme von Hilfe im Mittel 5 Jahre. Aus dieser Chronifizierung resultiert, wie in Studien nachgewiesen, eine niedrigere Wirksamkeit der leitliniengerechten Therapiemethoden im Vergleich zu zivilen Patienten.



Abb. 1: Ausschließlich ausgesuchte, therapieerfahrene Pferde werden für die Studie genutzt (Quelle: PIZ BAPersBw)



Abb. 2: Ehemalige Einsatzsoldaten setzen sich in dem Projekt über sechs Wochen intensiv mit den Therapiepferden auseinander. Eine traumatherapeutische Bearbeitung erfolgt dabei nicht (Quelle: PIZ BAPersBw)

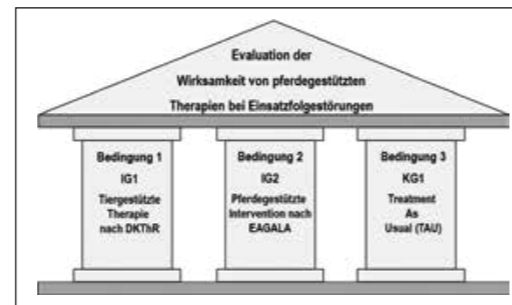


Abb. 3: Vereinfachte Darstellung der drei Studienarme des Evaluationsprojekts (Quelle: Dr. Kai Köhler)

RDir Dipl.-Psych. Alexander Varn
 Kommando Sanitätsdienstliche Einsatzunterstützung
 Weißenfels

kdosaneinsustgtrpsych@bundeswehr.org

Oberstarzt Dr. Gerd Willmund
 Psychotraumazentrum der Bundeswehr
 Berlin

bwkrhsberlinpsychotraumazentrum@bundeswehr.org

Eine Möglichkeit dies auszugleichen, könnte im therapeutischen Einsatz von Tieren liegen. Gerade Hunde und Pferde werden zunehmend in Interventionen bei der Sozialarbeit, in der Familienberatung und als Ergänzung in die Therapie eingebunden. Internationale Studienergebnisse zeigen, dass durch tiergestützte Interventionen eine Reduzierung von Angst-, Trauma- und Depressionssymptomen mit verbessertem Selbstfinden, sozialer Unterstützung und weniger Therapieabbrüche erreicht werden kann. Bei US-Veteranen zeigte eine Studie zu Hippotherapie Verbesserungen bei der Selbstwirksamkeit, der Emotionsregulation, der täglichen Aufgabenerledigung sowie bei sozialer sowie emotionaler Einsamkeit.

Bei einer ersten Pilotstudie der Bw konnte eine pferdegestützte Intervention (PGI) an einem Wochenende für Paare im Prä-Post Vergleich eine Reduzierung von PTBS Symptomen (Abb. 1 und 2) nachweisen. Allerdings steht der letztendliche evidenzbasierte Nachweis der Wirksamkeit aufgrund der zu geringen Studiendichte und -qualität bislang noch aus. Daher ist das Psychotraumazentrum beauftragt worden, mittels randomisiert kontrollierter Studie (N = 200) die therapeutische Wirksamkeit einer zusätzlich zur Standardtherapie durchgeführten PGI in 3 Bedingungen (Abb. 3) zu evaluieren. Die Intervention umfasst 6 Wochen (16 h pferdegestützte Einzeltherapie) an zwei Standorten (Abb. 4).

Es werden psychometrische Testungen, physiologische Messungen (Herzratenvariabilität und Hautwiderstand) sowie Cortisol (Speichel/Haar): vor (Baseline-), während (3 + 6 Woche als Verlaufs-), sowie katamnestic (1 Woche + 3 Monate nach Interventionsende als Follow-Up-Messung) durchgeführt und statistisch ausgewertet.

Auch Auswirkungen auf die eingesetzten Pferde werden in Zusammenarbeit mit den Veterinären des Sanitätsdienstes der Bw hinsichtlich ihrer Stressbelastung (Speichelcortisol, Herzratenvariabilität, videobasierte Verhaltensbeobachtung) im Verlauf getestet (Abb. 5 und 6).

Konkret untersucht werden die folgenden Fragen:

1. Kann eine PGI negative störungsspezifische und störungsunspezifische Symptome einer Einsatzfolgestörung nachhaltig reduzieren und die subjektive Lebensqualität verbessern?
2. Sind Veränderungen durch die Therapie auch auf physiologischer Ebene im Bereich Stress nachweisbar?
3. Wirken sich PGIs auf die physiologischen Stress-Parameter bei den eingesetzten Pferden aus?

Erste Ergebnisse einer Zwischenauswertungen sollen 2022 und eine abschließende Auswertung 2024 vorliegen.



Abb. 4: Darstellung des Studienablaufs (Quelle: Dr. Kai Köhler)



Abb. 5: Darstellung der Saliva-Cortisol-Entnahme (Quelle: Frederike Wendt; Berlin)



Abb. 6: Anlage eines HRV-Messgürtels (Quelle: Frederike Wendt; Berlin)

Oberfeldarzt PD Dr. Carla Ledderhos
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin
der Luftwaffe
Fürstenfeldbruck

Oberstabsarzt Dr. Sven-Erik Sönksen
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin
der Luftwaffe
Fürstenfeldbruck

Oberleutnant Jennifer Neubig
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin
der Luftwaffe
Fürstenfeldbruck

ZentrLuRMedLwPresse@bundeswehr.org

ZentrLuRMedLwPresse@bundeswehr.org

ZentrLuRMedLwPresse@bundeswehr.org

Screeninguntersuchungen zu den funktionellen Konsequenzen repetitiver hypobarer Höhenexpositionen bei Innenbegleitpersonal von Höhensimulationskammern – Eine europäische multinationale Studie

White Matter Hyperintensities (WMH) im Gehirn gelten im Alter unter 50 Jahren als abnorme Befunde. Ihr erhöhtes Auftreten bei Berufsgruppen mit häufigen hypobaren Expositionen ist Anlass, deren gesundheitliche Unbedenklichkeit zu hinterfragen. Die vorgestellte Studie untersucht die Konsequenzen solcher Expositionen für in der Ausbildung von Piloten tätige Innenbegleiter von Unterdruckkammern.

Im MRT nachweisbare Hyperintensitäten der weißen Substanz des Gehirns (sog. white matter hyperintensities) sind unspezifische neuronale Schädigungen, die in höherem Alter häufiger werden, in der Altersgruppe unter 50 Jahren allerdings als abnorme Befunde gelten. Sie gehen mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität für Erkrankungen wie vaskulärer Demenz, Morbus Alzheimer, etc. einher und sind mit kognitiven Einbußen sowie schlechteren klinischen Verläufen verbunden. Auch begünstigen weitere kardiovaskuläre Risikofaktoren (Arteriosklerose, Hypertonie etc.) sowie bestimmte Freizeitaktivitäten, wie Tauchen und Bergsteigen, ihr Auftreten.

Trotz umfangreicher Untersuchungen der letzten Jahre ist weder die Pathogenese dieser Veränderungen noch deren funktionelle Bedeutung befriedigend geklärt.

Im flugmedizinischen Kontext führten die erhöhte Inzidenz von WMH insbesondere in jüngeren, gut untersuchten Kohorten mit beruflich bedingten, repetitiven nicht-hypoxischen, hypobaren Expositionen, wie sie z. B. bei U2-Piloten, Astronauten sowie bei in der Ausbildung von Piloten arbeitendem



Abb. 1: Blick in die Unterdruckkammer des Zentrums für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe in Königsbrück während der Unterweisung von Piloten durch einen Innenbegleiter (Quelle: Stephan Ink, Bundeswehr)

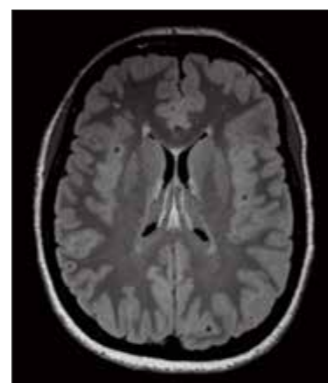


Abb. 2: T2 gewichtetes FLAIR (fluid-attenuated inversion recovery) Image mit multiplen Hyperintensitäten in der weißen Substanz im 3T MRT bei einer Versuchsperson (Quelle: Dez. „Bildgebende Diagnostik“, ZentrLuRMedLw)



Abb. 3: Portables Posturographiegerät „Tetrax IBS“ der Firma Neurodata zur Erfassung der Gleichgewichtsregulation (Quelle: Dr. Carla Ledderhos, Bundeswehr)

Dipl.-Ing. André Gens
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin
der Luftwaffe
Fürstenfeldbruck

ZentrLuRMedLwPresse@bundeswehr.org

Oberstabsarzt PD Dr. Frank Weber
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin
der Luftwaffe
Fürstenfeldbruck

ZentrLuRMedLwPresse@bundeswehr.org

Oberstabsarzt Dr. Sven Kühn
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Koblenz

BwZkrhsKoblenz@bundeswehr.org

Innenbegleitpersonal von Höhensimulationskammern auftritt, aber ebenso die Ergebnisse tierexperimenteller Studien dazu, die gesundheitliche Unbedenklichkeit derartiger Höhenexpositionen kritisch zu hinterfragen.

Daher wurde im Rahmen der Science and Technology Organization (STO) der NATO eine Arbeitsgruppe „The Impact of Hypobaric Exposure on Aviators and High-Altitude Special Operations Personnel“ gebildet. In ihr haben die deutschen Vertreter vom Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe in Fürstenfeldbruck eine klinische Studie mit Innenbegleitern von Höhensimulationskammern aus verschiedenen europäischen Nationen initialisiert, die sich mit der Prävalenz von WMH in Gehirn und Rückenmark sowie deren funktionellen Implikationen nach repetitiven, nicht-hypoxischen, hypobaren Expositionen beschäftigt.

Dafür wird das Unterdruckkammerpersonal (Abb. 1), das im Dienstgeschehen regelmäßig den relevanten Höhen ausgesetzt ist, im Vergleich zu einer nach Alter und Geschlecht gematchten Gruppe ohne entsprechende Expositionen (HKS-Aufenthalte, Tauchgänge und Bergsteigen) in der Anamnese, untersucht. Neben einer Anamnese und 3T MRT-Scans des Gehirns (Abb. 2) und des Rückenmarks werden funktionelle Tests zur Gleichgewichtsregulation (Posturographie) (Abb. 3), der Hör- und Sehbahn

mittels akustisch und visuell evozierter Potenziale (AEP/VEP) (Abb. 4) und des Augenfundus mittels optischer Kohärenztomographie (OCT) (Abb. 5) sowie psychometrische Tests (Abb. 6) durchgeführt.

Bislang wurden 49 Personen (21 Innenbegleiter, 28 Kontrollpersonen) untersucht. Die bisherigen Daten der noch andauernden Studie lassen keine Gruppenunterschiede in mittlerer Zahl und mittlerem Volumen der WMH erkennen. Allerdings weisen 56 % der Innenbegleiter aber nur 46 % der Kontrollpersonen mehr als 5 WMH im Gehirn auf. Daneben findet sich die bereits aus der Literatur bekannte Korrelation von Zahl und Volumen der WMH mit dem Alter. Die meisten WMH (58 % aller WMH) sind subkortikal im Frontallappen lokalisiert, im Occipitallappen des Gehirns gab es bisher in keiner Gruppe WMH. Gleiches gilt für das Rückenmark. Was die funktionellen Konsequenzen von WMH angeht, findet sich bislang nur bei den psychometrischen Daten eine Tendenz zu geringen Unterschieden zwischen den Gruppen.

Die Ergebnisse dieser Studie werden eine bessere Abschätzung des beruflichen Risikos von entsprechend belasteten Personal erlauben.

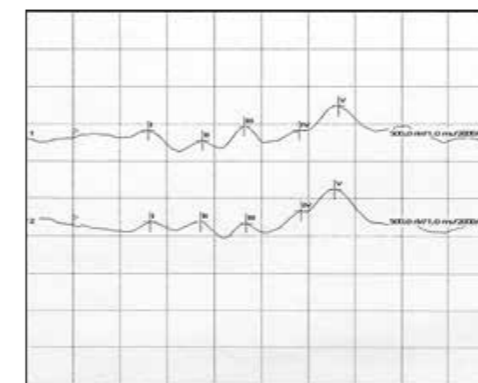


Abb. 4: Beispiel für ein akustisch evoziertes Potential (AEP) zur funktionellen Untersuchung der Hörbahn (Quelle: Dezernat „Neurologie/Psychiatrie/Klinische Psychologie“, ZentrLuRMedLw)

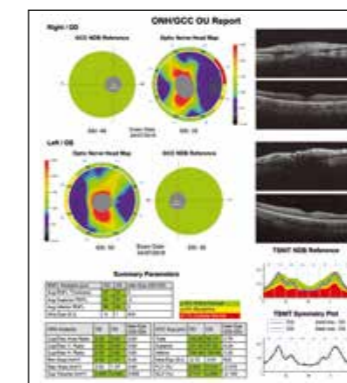


Abb. 5: Beispiel für einen Teilbefund der optischen Kohärenztomographie (OCT) bei einer Versuchsperson (Quelle: Dezernat „Augenheilkunde“, ZentrLuRMedLw)



Abb. 6: Versuchsperson bei der Durchführung des Wiener Determinationstestes (Quelle: Dr. Carla Ledderhos, Bundeswehr)

Oberstabsarzt Dr. med. Sebastian Klapa
Schiffahrtsmedizinisches Institut der Marine
Kronshagen

Dr. rer. nat. Wataru Kähler
Schiffahrtsmedizinisches Institut der Marine
Kronshagen

schiffmedinstm@bundeswehr.org

schiffmedinstm@bundeswehr.org

Immunologische Veränderungen durch hyperbaren Sauerstoff – Wie beeinflusst dienstliches Tauchen die Immunantwort?

Wechselnde Umweltfaktoren induzieren eine Vielzahl von Immunreaktionen. Dienstliches Tauchen führt zu einer unphysiologischen Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks (Hyperoxie) mit möglichen immunologischen Folgen. Immunzellen von gesunden Probanden nach definierter Hyperoxie zeigen eine Aktivierung der erworbenen zellulären Immunantwort sowie eine Aktivierung regulatorischer T-Helferzellen.

Umweltfaktoren beeinflussen im hohen Maße das menschliche Immunsystem. Nicht nur akute oder chronische Infektionen, auch Stress, bestimmte Nahrungsmittel oder selbst ein geändertes Schlafverhalten führen zu Veränderung der immunologischen Homöostase.

Physiologisch herrscht in bestimmten Körperregionen ein Zustand verminderter Sauerstoffverfügbarkeit (Hypoxie) wie zum Beispiel in schlechter durchbluteten Geweben. Jedoch können sich unter krankhaften Veränderungen auch in sonst gut durchbluteten Bereichen hypoxische Zustände einstellen, wie z.B. bei einem Lungenödem oder bei lokalen Entzündungen. Die hierbei durch Hypoxie bedingten Immunreaktionen sind sehr gut erforscht und zeigen eine Adaptationsfähigkeit des Körpers durch lokal induzierte Veränderungen der Immunzellen. Hierbei spielt der sogenannte Hypoxie-induzierbare Faktor 1-alpha (HIF-1alpha) eine zentrale Rolle. Dieser wird durch Hypoxie in den Zellen aktiviert und löst folgend eine Reihe von immunologischen Reaktionen aus. Es kommt zu einer Vermehrung und Aktivierung bestimmter T-Helfer Zellen. Diese wiederum erlauben es dem Körper, effektiver zu reagie-



Abb. 1: Kampfschwimmer der Deutschen Marine



Abb. 2: Experimental-Druckkammer am SchiffMedInstM

Bente Rieger
Schiffahrtsmedizinisches Institut der Marine
Kronshagen

schiffmedinstm@bundeswehr.org

ren. Auf der anderen Seite werden jedoch auch regulatorische T-Zellen durch HIF-1alpha aktiviert, die wiederum eine überschießende Immunreaktion lokal unterbinden können.

Dienstliches Tauchen bedingt durch die vorhandene Druckerhöhung eine unphysiologische Erhöhung des Sauerstoffpartialdruckes (Hyperoxie), welche durch die Nutzung von reinem Sauerstoff um ein Vielfaches verstärkt wird (Abb. 1). Im Vergleich zur Hypoxie ist über Immunreaktionen unter Hyperoxie sehr wenig bekannt. Jedoch zeigten Tiermodelle einen möglichen immunsuppressiven Effekt bei wiederholter Applikation von hyperbarem Sauerstoff.

Ein aktuelles Projekt am Schiffahrtsmedizinischen Institut der Marine Kronshagen (SchiffMedInstM) untersucht die Wirkung von hyperbarem Sauerstoff auf die Immunkompetenz gesunder Probanden. Es erfolgt methodisch die Identifizierung der verschiedenen Immunzellen mittels Durchflusszytometrie der einzelnen Immunzellen der Probanden vor, sowie nach der jeweiligen Exposition. Isolierte Immunzellen werden in-vitro demselben Reiz in der experimentellen Druckkammer (Abb. 2) ausgesetzt, um Veränderungen von immobilisierten Zellen zu erfassen. Mögliche Rezeptorveränderungen werden darüber hinaus mittels quantitativer Echtzeit-PCR validiert.

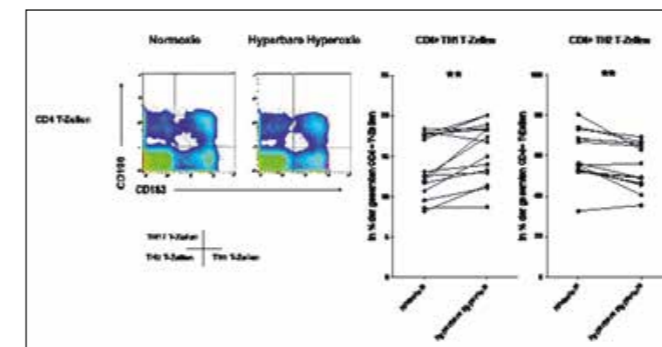


Abb. 3: Durchflusszytometrische Analyse von CD4+ T-Helferzellen von gesunden Probanden unter Normoxie sowie nach anschließender Exposition mit hyperbarem Sauerstoff (Hyperoxie)

Oberstabsarzt Tatjana Noy
1. UGschw San
Eckernförde

pressestellekiel@bundeswehr.org

Im Vergleich zu den Studienergebnissen bei Hypoxie zeigen die aktuellen Ergebnisse überraschenderweise ein ähnliches Bild unter Hyperoxie. Die Immunzellen zeigen sowohl ex vivo als auch in-vitro eine deutliche Aktivierung zu sogenannten Effektor-T-Zellen. Diese polarisieren zu TH1-Helferzellen bei gleichzeitiger Reduktion des Anteils von TH2-Helferzellen (Abb. 3). Ferner induziert die applizierte hyperbare Hyperoxie, eine Aktivierung von regulatorischen T-Zellen, die wiederum eine überschießende und somit fehlgeleitete Immunantwort supprimieren könnten (Abb. 4).

Zusammenfassend weisen diese Ergebnisse auf ein dynamisches Gleichgewicht hin, wobei Änderungen der Normoxie zur Hypoxie oder Hyperoxie eine vergleichbare Immunreaktion bedingt.

Weitere Studien sind notwendig, um die Komplexität dieser Reaktion zu untersuchen, insbesondere im Hinblick auf die funktionellen Folgen und immunologischen Langzeitfolgen.

Erkenntnisse sind hierbei nicht nur relevant für die Nutzung des dienstlichen Tauchens, sondern auch im Hinblick auf die Nutzung der hyperbaren Sauerstoffgabe bei Patienten.

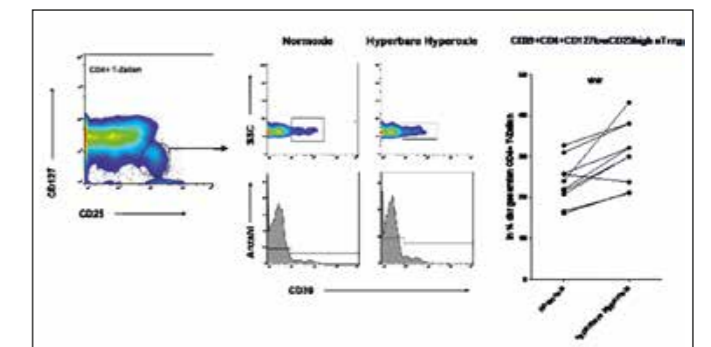


Abb. 4: Durchflusszytometrische Analyse von regulatorischen T-Zellen von gesunden Probanden unter Normoxie sowie nach anschließender Exposition mit hyperbarem Sauerstoff (Hyperoxie)

Oberfeldarzt Priv.-Doz. Dr. med. David Alexander Back
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlinKlinik14Unfallchirurgie@bundeswehr.org

Oberstabsarzt Dr. med. Katharina Estel
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlinKlinik14Unfallchirurgie@bundeswehr.org

Einsatz der Online-Videosprechstunde im Sanitätsdienst der Bundeswehr

Die digitale Transformation des Gesundheitswesens führt zu einer deutlichen Erweiterung diagnostischer und therapeutischer Möglichkeiten. Ein Sonderforschungsprojekt der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie des Bundeswehrkrankenhauses Berlin mit dem Cyber Innovation Hub der Bundeswehr sollte den Nutzen der Online-Videosprechstunde für den Sanitätsdienst der Bundeswehr untersuchen.

Im Rahmen der digitalen Transformation des Gesundheitswesens werden zunehmend neue Anwendungen zur Unterstützung des Alltags für Patienten und medizinisches Personal entwickelt und eingesetzt. Online-Videosprechstunden (O-VS) haben dabei in den letzten Jahren auch in Deutschland eine gesetzliche Basis erhalten und wurden bereits vor der Covid-19-Pandemie eingeführt. Ihr Einsatz bringt Vorteile mit sich, wie die Ortsunabhängigkeit der Vorstellung, Vermeidung längerer Anfahrten, wie auch eine Reduktion von Wartezeiten.

Das Sonderforschungsprojekt 23K4-S-10 1921 an der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie des Bundeswehrkrankenhauses (BwKrhs) Berlin (Abb. 1) untersuchte den Einsatz der O-VS in den Schnittstellen Fachärzte-Truppenärzte-Patienten. Ziel war die Analyse der Akzeptanz dieses Angebots bei den einzelnen Nutzergruppen und inwieweit bestehende Prozesse durch diese Technologien sinnvoll ergänzt oder optimiert werden könnten.

Das Vorhaben wurde seit 2018 mit den verschiedenen Partnern entwickelt – führend dabei mit dem Cyber Innovation Hub der



Abb. 1: Wappen des Bundeswehrkrankenhauses Berlin

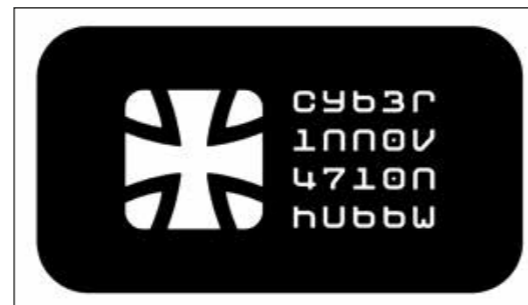


Abb. 2: Logo des Cyber Innovation Hub der Bundeswehr

Oberstabsarzt Prof. Dr. med. Christian Willy
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlinKlinik14Unfallchirurgie@bundeswehr.org

Major Gerhard Gordon Borchardt
Zentrum für Softwarekompetenz der Bundeswehr
Euskirchen

ZSwKBwpressearbeit@bundeswehr.org

Bundeswehr (CIHBw) (Abb. 2). Weitere enge Abstimmungen erfolgten mit dem Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw) sowie der S6-Abteilung und dem Datenschutzbeauftragten des BwKrhs Berlin.

In einem ersten Projektteil erfolgte die technische und organisatorische Etablierung der Abläufe in der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie des BwKrhs Berlin ab August 2019 (Abb. 3). Hierbei wurde nach einem vorangegangenen fachärztlichen Kontakt neben einer geplanten „live“ Verlaufskontrolle der Patienten in der Klinik jeweils eine zusätzliche O-VS durchgeführt. Neben einer Nutzer-Evaluation wurden zudem O-VS- und „live“-Befunde miteinander verglichen.

In einem zweiten Projektteil wurde ab März 2020 die Nutzung von O-VS v. a. bei der konsiliarischen Vorstellung von Patienten durch Truppenärzte bei Ärzten der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie des BwKrhs Berlin evaluiert. Die Akzeptanz des Angebots wurde nach jedem Termin von den teilnehmenden Ärzten und Patienten evaluiert.

Insgesamt zeigten sich die über 120 teilnehmenden Patienten und Ärzte zufrieden mit den Abläufen der O-VS. Insbesondere die Atmosphäre wurde von dem überwiegenden Teil als sehr

angenehm bewertet. Technische oder organisatorische Probleme konnten gut identifiziert und Schlussfolgerungen gezogen werden. Auch qualitativ waren O-VS-Befunde oft vergleichbar mit „live“-Befunden – v. a. hinsichtlich der Therapieempfehlungen. Zudem zeigten die Ergebnisse neue Möglichkeiten für die Kommunikation zwischen BwKrhs und regionalen Sanitätseinrichtungen mit einer Beschleunigung von Empfehlungen für Diagnostik und Therapie, Begleitung konservativer Therapieansätze bis hin zur Stellung von OP-Indikationen. Vielen Patienten und ihren Einheiten konnten, bei gleichzeitiger Einsparung dienstlicher Ressourcen, dadurch lange Anfahrten erspart werden.

Mit den erworbenen positiven Erfahrungen kann das Projekt insbesondere vor dem Hintergrund der Covid-19-Pandemie eine Grundlage für die zukünftige telemedizinische Ausrichtung des Sanitätsdienstes darstellen. In Zukunft ist nicht nur eine Ausweitung auf andere klinische Fachbereiche oder die allgemeinen truppenärztlichen Sprechstunden denkbar. Mittelfristig könnte analog zu zivilen Planungen auch eine Verbindung mit Formen eines elektronischen Rezepts oder einer „kzH“-Empfehlung erfolgen. Auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Unterstützung der Analyse von Krankheitssymptomen und Terminierung von O-VS wird derzeit erforscht.



Abb. 3: Beispielhafte Videosprechstunde mit einem Patienten (Quelle: Bundeswehr / Steve Back)

Oberarzt Prof. Dr. med. Christian Willy
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlinKlinik14Unfallchirurgie@bundeswehr.org

Dr. Tobias Weigel
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
Würzburg

info@isc.fraunhofer.de

Entwicklung einer bakterienundurchlässigen Haut-Metall-Konnection für transkutane osseointegrierte Prothesensysteme (TOPS)

Herkömmliche Amputationen werden bis heute mit einem den Stumpf umgreifenden Schaft versorgt. Nach der fast 2500-jährigen Geschichte dieser Therapieform entwickelte sich in den letzten 15 Jahren eine Behandlungsoption, bei der ein Implantat in den Markraum des amputierten Röhrenknochens eingeführt und durch die Haut nach außen geleitet wird, um dort mit der Prothese konnektiert zu werden. Dieser Hautdurchgang erzeugt ein Infektionsrisiko für Weichgewebe und Knochen. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC wird eine dauerhafte physiologische Verbindung des Implantats mit der Haut entwickelt, so dass dieses Stoma als Infektquelle nicht mehr besteht.

Neben dem Bundeswehrkrankenhaus Berlin als einer der ersten Anwender der transkutanen osseointegrierten Prothesensysteme (TOPS) in Deutschland, wird die neue Prothesenversorgungstechnologie weltweit in ca. 15 Kliniken durchgeführt. TOPS verbessert die bisherige Stumpfversorgung dahingehend, dass die Prothese direkt im Oberschenkelknochen verankert wird und hieraus nach ausreichender Osseointegration eine direkte physiologische Kraftübertragung zwischen Körper und Prothese resultiert (Osseoperzeption). Zudem werden Haut-Komplikationen durch den herkömmlichen Prothesenschaft, die auch jungen geübten Amputierten das uneingeschränkte Tragen der Prothese unmöglich machen, vermieden. Allerdings verbleibt bei der TOPS-Technik der Hautdurchgang (Stoma), welcher immer eine Quelle für eine oberflächliche oder tiefe Infektion des Weichgewebes (Muskel, Haut) und im ungünstigen Fall auch des Knochens darstellen kann.

Die Entwicklung einer mechanisch belastbaren und bakterien-dichten Verbindung zwischen dem Implantat und der Haut könnte das Infektionsrisiko deutlich senken.



Abb. 1: Links: die herkömmliche Amputationsstumpfversorgung mit Fixation der Prothese mittels eines um den Stumpf angebrachten Schaft. Rechts: Fixation mittels eines in den Markraum des Knochens eingebrachten Implantates, an das nach seinem Hautdurchtritt das gleiche moderne Prothesensystem angedockt werden kann (Quelle: Dr. Aschoff, Hannover)

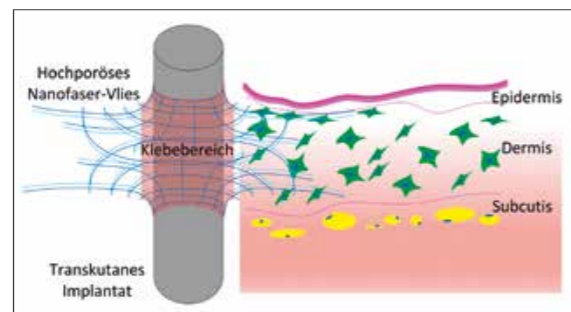


Abb. 2: Schematische Zeichnung des entwickelten Konzepts zur physiologischen Verbindung der Haut mit dem transkutanen Implantat (Quelle: Fraunhofer ISC)



Abb. 3: Klebung des Nanofaservlieses an einen Metallzylinder als Implantat (Quelle: Fraunhofer ISC)

Dr. Jörn Probst
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
Würzburg

info@isc.fraunhofer.de

Prof. Dr. rer. biol. hum. Heike Walles
Otto von-Guericke-Universität
Magdeburg

info@ovgu.de

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISC/TLZ-RT (Translationszentrum für Regenerative Therapien) erfolgt die Entwicklung eines Konzeptes, welches das Stoma am Hautdurchgang auf physiologischem Wege verschließen kann. Diese Verbindung weist auf einer Seite die synthetische Verbindung zum Implantat auf und auf der anderen Seite die möglichst natürliche Integration in die umliegende Haut über einen synthetisch-physiologischen Gradienten. Die Integration dieser Verbindung in das Hautgewebe erfordert spezielle Materialien und Strukturen. Zum Einsatz kommen dafür langzeit-stabile Materialien mit proteinähnlichen Oberflächenfunktionalitäten und physiologisch vergleichbaren mechanischen Eigenschaften. Um eine möglichst natürliche Hautintegration zu erreichen, muss auch die Struktur des Materials dem natürlichen Bindegewebe der Dermis nachempfunden werden. Die Erzeugung von Nanofasern über Elektrosponnen führt zu Strukturen in der Größenordnung von Kollagenfasern. Zusätzlich erfolgt über 3D-Strukturierungsprozesse eine drastische Erhöhung der Porosität zwischen den Fasern. Dies erlaubt, dass Zellen in das Fasernetzwerk eindringen können und über den Aufbau eigener Strukturproteine das Material in der Dermis verankern.

Abschließend kann die Ausbildung einer Epidermis über dem integrierten Faservlies eine bakterien-dichte und regenerations-

fähige Barriere erzeugen. Bisherige Untersuchungen an in-vitro Modellen zeigen für die entwickelten Faservliese eine erfolgreiche Integration in Hautmodelle, sowie ein reduziertes inflammatorisches Potential und werden anschließend über in-vivo Modelle weiter charakterisiert. Zum Implantat hin erfolgt eine Klebung, welche das Vlies mit dem transkutanen Element verbindet. Über eine lokal begrenzte Polymerisationsreaktion wird das Faservlies mit dem Implantat kovalent verbunden. Hierbei muss die optimale Zusammensetzung des Klebematerials gefunden werden, um die mechanischen Eigenschaften auf diese Anwendung anzupassen. Für eine möglichst langhaltige Verbindung mit der Haut ist ein Gradient der Elastizität zwischen dem Metallimplantat und dem Hautgewebe nötig, um Spannungsspitzen bzw. Sollbruchstellen in dieser Implantat-Haut-Konnection zu vermeiden.

Nach der erfolgreichen Konzeptentwicklung und Demonstration müssen die einzelnen Abschnitte und Komponenten feinjustiert werden, um alle nötigen Sicherheitsaspekte für die zukünftige klinische Anwendung zu erfüllen.

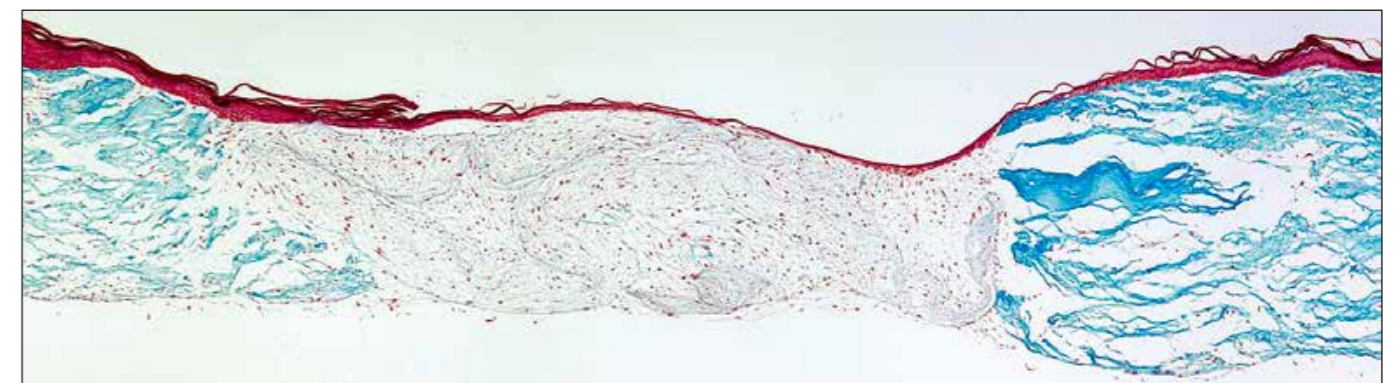


Abb. 4: Im verwendeten Hautmodell kann das entwickelte Faservlies in das Gewebe integriert werden und den Wundverschluss durch Ausbildung der Epidermis (rot) fördern (Quelle: Fraunhofer ISC)

Oberfeldarzt Dr. med.
Thorsten Hauer
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlin@bundeswehr.org

Leutnant (SanOA)
Katja Schneider
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlin@bundeswehr.org

Oberstarzt Dr. med.
Niels Huschitt
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlin@bundeswehr.org

Oberstarzt Dr. med.
André Lieber
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlin@bundeswehr.org

Evaluation modernster Simulationsmodelle in der notfallchirurgischen Ausbildung

Einsatzchirurgen der Bundeswehr durchlaufen neben ihrer klinischen Facharztweiterbildung ein spezielles Ausbildungscurriculum, um bestmöglich auf die vielfältigen Herausforderungen bei der chirurgischen Versorgung schwerverletzter Soldatinnen und Soldaten im Auslandseinsatz vorbereitet zu sein. Ziel der vorliegenden Studie war die vergleichende Untersuchung etablierter Simulationsmodelle zur Vermittlung notfallchirurgischer Fertigkeiten mit neuen, innovativen Simulationsmodellen.

Die Ausbildung einsatzbereiter Chirurgen stellt für die Bundeswehr eine besondere Herausforderung dar. Zum einen muss die Versorgung krisentypischer Verletzungsmuster erlernt werden, die in Deutschland selten vorkommen, deren Beherrschung aber für die Auslandseinsätze der Bundeswehr unverzichtbar ist. Zum anderen stehen in den medizinischen Behandlungseinrichtungen im Einsatz nicht alle operativen Fachdisziplinen zur Verfügung, sodass zumindest die Notfalleingriffe der komplementären chirurgischen Fächer in einem definierten Umfang vermittelt und in Übung gehalten werden müssen. Zur Vermittlung technischer Fertigkeiten werden menschliche Leichen (human cadavers, HC) und narkotisierte Schweine (Live Tissue Training, LTT; s. Abb. 1) eingesetzt. Die Nutzung menschlicher Körperspender und lebender Tiere zur Vermittlung chirurgischer Fertigkeiten verpflichtet in besonderer Weise, die Methodik der Ausbildung kontinuierlich zu verbessern und den beabsichtigten Ausbildungserfolg zu evaluieren, letztlich mit dem Ziel, alternative Ausbildungsmethoden zu entwickeln, um den Bedarf an Körperspendern und Tieren zu reduzieren oder sie (im Idealfall) zu ersetzen. Technische Simulationsmodelle (Human Patient Simulators, HPS; s. Abb. 2) sind Nach-

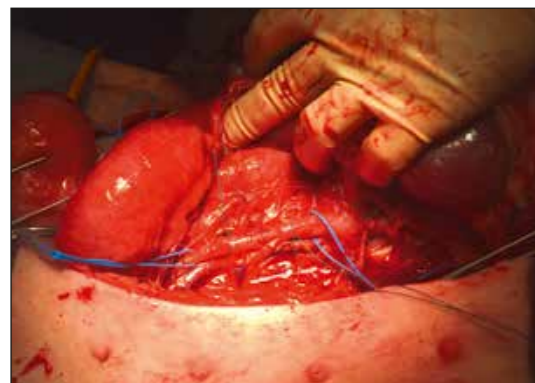


Abb. 1: Anlage eines temporären Gefäßshunts am Tiermodell

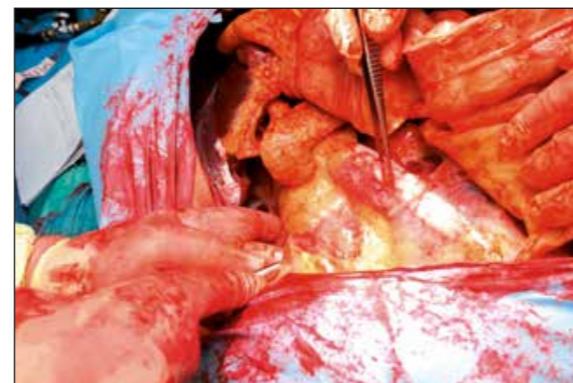


Abb. 2: Operationssitus am Notfalllaparotomie-Trainer der Firma Strategic Operations. Bei diesem Modell sind die Organaufhängungen und Verschiebeschichten realitätsnah umgesetzt. Gut zu erkennen sind hier der retroperitoneale Überzug von Vena cava und Aorta sowie die Gerota-Faszie

Oberstarzt Dr. med.
Gerd-Dieter Willmund
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Berlin

BwKrhsBerlin@bundeswehr.org

Dr. Asja Maaz
Charité – Universitätsmedizin Berlin
Berlin

presse@charite.de

Prof. Dr. med. Harm Peters
Charité – Universitätsmedizin Berlin
Berlin

presse@charite.de

bildungen menschlicher Körper, die in vielen medizinischen Bereichen zur Standardausbildung genutzt werden. Zur Vermittlung komplexer chirurgischer Manöver fehlten bisher geeignete Trainingsmodelle. Eine vielversprechende innovative Simulationstechnologie stellen perfundierte menschliche Leichen (perfused human cadavers, PHC; s. Abb. 3) dar, deren Gefäßsystem mithilfe extrakorporaler Pumpensysteme mit Kunstblut gefüllt wird, um eine Durchblutung des Gewebes zu erzeugen.

Ziel der Studie war es zunächst, im Rahmen einer Fokusgruppen-Diskussion Anforderungen an ein ideales Simulationsmodell (SM) für die notfallchirurgische Ausbildung zu definieren und nachfolgend die neuen Simulationsmodelle (HPS, PHC) durch ein Expertengremium bewerten zu lassen. Der Vergleich mit etablierten SM (HC, LTT) erfolgte im Rahmen des Einsatzchirurgie-Lehrgangs der Bundeswehr (Training Einsatzchirurgie, TEC) durch Teilnehmende. Es wurden folgende Aspekte erfasst: Durchführbarkeit und Realitätsnähe notfallchirurgischer Schlüsselmanöver mit den Schwerpunkten Anatomie und Blutungssimulation, die subjektive Handlungssicherheit als Indikator für den Lernerfolg und das Stresserleben. Es wurden Fragebögen mit Likert-Skalen eingesetzt und sowohl deskriptiv als auch vergleichend statistisch ausgewertet.

Die untersuchten HPS erreichen derzeit noch nicht das notwen-

dige Niveau an Komplexität, da sie sowohl Defizite in der anatomischen Darstellung als auch der Blutungssimulation aufweisen, jedoch hohe Anschaffungs- und Nutzungskosten mit sich bringen. Die Anatomie von HC ist realitätsnah, die fehlende Blutung beschränkt den Einsatz jedoch auf die stressarme Ausbildung von Einzelfertigkeiten. Logistische Herausforderungen spielen hier eine wichtige Rolle. LTT bietet realitätsnahe Gewebequalität und Blutungssimulation, allerdings unterscheidet sich die Anatomie von Mensch und Schwein teilweise erheblich. Die ethischen Bedenken im Zusammenhang mit LTT limitieren ihren Einsatz. PHC vereinen die korrekte menschliche Anatomie der HC mit der realitätsnahen Blutung von LTT. Die subjektive Handlungssicherheit der Teilnehmenden zeigte eine statistisch signifikante Steigerung durch die Teilnahme am TEC. Ein Rückschluss auf den Beitrag der einzelnen SM war nicht möglich. Subjektiv empfanden die Teilnehmenden den Lernerfolg bei der Arbeit mit LTT am größten. Die psychische Beanspruchung zeigte sich bei perfundierten SM größer als bei nicht-perfundierten (LTT > HPS > HC). Die moralischen Bedenken bei der Arbeit mit LTT waren signifikant größer als bei den anderen SM. Die kombinierten qualitativen und quantitativen Ergebnisse der Studie zeigen, dass keine der SM alle Anforderungen erfüllt. Eine Nutzung von HPS im Rahmen von Grundlagen- oder Team-Training wäre denkbar. Weder auf HC noch LTT kann aus didaktischer Sicht derzeit verzichtet werden, eine Integration von PHC in das TEC erscheint sinnvoll.

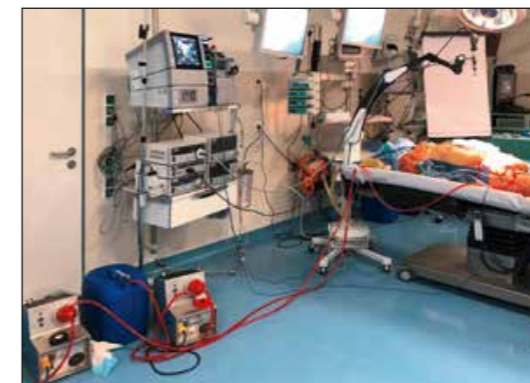


Abb. 3: Perfundierte Körperspender. Extrakorporales Pumpensystem der Keck School of Medicine der University of Southern California (USC) im Rahmen des Trainings Einsatzchirurgie der Bundeswehr in Wendisch Rietz



Abb. 4: Blutende A. femoralis communis am perfundierten Körperspender

Oberfeldarzt Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Konrad Steinestel
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Ulm

BwKrhsUlm@bundeswehr.org

Oberfeldarzt Dr. med. Daniel Gagiannis
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Ulm

BwKrhsUlm@bundeswehr.org

Nachweis von Autoantikörpern als Risikofaktor für einen schwerwiegenden Verlauf und bleibende Lungenschäden nach Infektion mit SARS-CoV-2

Das Lungenversagen nach Infektion mit dem neuartigen Coronavirus sowie Risikofaktoren für bleibende Lungenschäden sind bislang unzureichend verstanden. In einer prospektiven Studie konnte ein Team aus dem Bundeswehrkrankenhaus (BwKrhs) Ulm nachweisen, dass es bei schweren COVID-Verläufen zur Bildung von Autoantikörpern kommt, die eine zentrale Rolle für den akuten Verlauf der Erkrankung sowie die Entstehung von Folgeschäden spielen könnten.

Bei einem Teil der Infizierten mit dem neuartigen Coronavirus (SARS-CoV-2) entwickelt sich ein rasant fortschreitendes Lungenversagen bis hin zur Beatmungspflicht. Trotz rasch erzielten Fortschritten im Verständnis der Erkrankung ist unklar, welche Patienten ein Lungenversagen entwickeln und welche Pathophysiologie dieser Entwicklung zugrunde liegt.

Am BwKrhs Ulm wurden bereits ab Beginn der Pandemie COVID-19-Patienten behandelt. Im Rahmen eines unmittelbar initiierten, prospektiven und abteilungsübergreifenden Forschungsvorhabens wurden klinische, radiologische und laborchemische Daten erhoben, um Risikofaktoren für einen schweren Verlauf der Erkrankung zu identifizieren. Zusätzlich wurden biopsisch oder im Rahmen von Obduktionen entnommene Gewebeproben verstorbener COVID-19-Patienten untersucht.

Die Studie zeigte radiologische und histopathologische Übereinstimmungen zwischen schweren Verläufen von COVID-19 und der Lungenbeteiligung im Rahmen von Erkrankungen aus dem autoimmunen/rheumatischen Formenkreis. Membranartige Ablagerungen in den Lungenbläschen (sog. diffuser Alveolar-

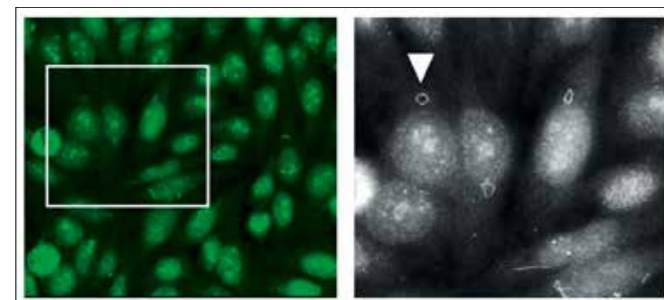


Abb. 1: Nachweis von Autoantikörpern bei COVID-19-Patienten mittels indirekter Immunfluoreszenz. Es zeigt sich ein feingranuläres/nukleoläres Färbemuster mit sog. „ring and rod“-Zeichen (Pfeilspitze)

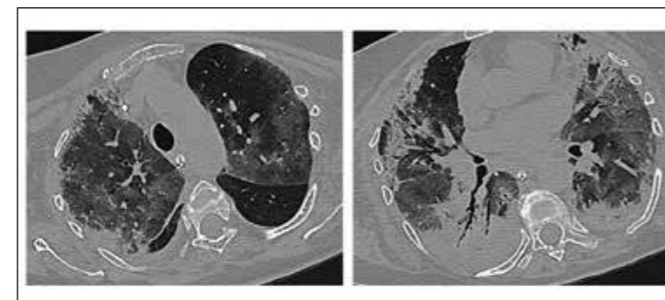


Abb. 2: Dünnschicht-Computertomografie (CT) einer 69-jährigen Patientin mit fortgeschrittener COVID-19-Erkrankung und Nachweis von Autoantikörpern (ANA-Titer 1:1000). Es zeigen sich diffuse sog. Milchglasveränderungen sowie Verdichtungen entlang der distalen Atemwege (sog. positives Bronchopneumogramm)

schaden; diffuse alveolar damage, DAD) stellen sich im CT als charakteristische Milchglaszeichnung dar. Die elektronenmikroskopisch nachweisbare Ablagerung von Bindegewebe zwischen den Lungenbläschen erschwert den Luftaustausch und trägt zum fortschreitenden Lungenversagen bei. Laborchemisch konnten durch uns erstmals Autoantikörper (antinukleäre Antikörper, ANA, sowie extrahierbare nukleäre Antikörper, ENA) bei 11/13 (84,6 %) der COVID-19-Patienten mit Lungenversagen, jedoch nur bei 1/9 (11,1 %) der COVID-19-Patienten mit leichtem Erkrankungsverlauf nachgewiesen werden ($p = 0,039$). Das Auftreten von ANA/ENA war mit der Notwendigkeit einer Intensivbehandlung (83,3 vs. 10 %; $p = 0,002$) und dem Auftreten schwerer Komplikationen vergesellschaftet (75 vs. 20 %, $p = 0,03$). In den meisten Fällen ließen sich ANA/ENA nachweisen, die mit fibrosierenden Kollagenosen (z. B. Systemsklerose) assoziiert sind. Diese Ergebnisse wurden im Oktober 2020 in *Frontiers in Immunology* publiziert.

Mittlerweile wurden unsere Befunde von unabhängigen Forschergruppen in den USA, in Griechenland und in Japan bestätigt. Es ist möglich, dass die Aktivierung von sog. toll-like-Rezeptoren nach Kontakt mit SARS-CoV-2 zur Aktivierung einer bestimmten Gruppe von Immunzellen führt (extrafollikuläre B-Zell-Aktivierung), die durch Freisetzung von Autoantikörpern einen ungerichteten Autoimmunprozess in Gang setzen. Dieses würde die Wirksamkeit von Cortisonpräparaten bei schweren COVID-19-Verläufen erklären. Da es bei Rheumapatienten mit einem vergleichbaren Autoantikörperprofil zu einer fortschreitenden Fibrose des Lungengerüsts kommen kann, ist ein ähnlicher Verlauf auch bei jungen und sportlichen Patienten nach Exposition gegenüber SARS-CoV-2 denkbar. Basierend auf den Ergebnissen unserer eigenen sowie mittler-

weile vorliegender weiterer Studien erscheint daher aus unserer Sicht eine umfassende lungenfachärztliche Abklärung (ggf. einschließlich Gewebeentnahme) sowie eine Bestimmung des Autoantikörperprofils bei soldatischen und zivilen Patienten mit Einschränkung der Lungenfunktion nach SARS-CoV-2-Infektion dringend angeraten.

Folgestudien zur Rolle der Autoimmunität im Langzeitverlauf nach COVID-19 wurden am BwKrhs Ulm sowie in nationalen und internationalen Kooperationsprojekten initiiert. Durch die Einbindung in das Deutsche COVID-Obduktionsregister und ein in Planung befindliches nationales Pandemieregister kommt dem BwKrhs Ulm eine Führungsrolle bei der Bearbeitung gewebebasierter Forschungsvorhaben mit Pandemiebezug innerhalb und außerhalb der Bundeswehr zu. Die in den letzten Jahren verstärkte interdisziplinäre Schwerpunktsetzung auf nichtneoplastische Lungenerkrankungen und Lungentumoren in der Patientenversorgung bildet dabei eine wertvolle Grundlage für künftige Forschungsarbeiten.

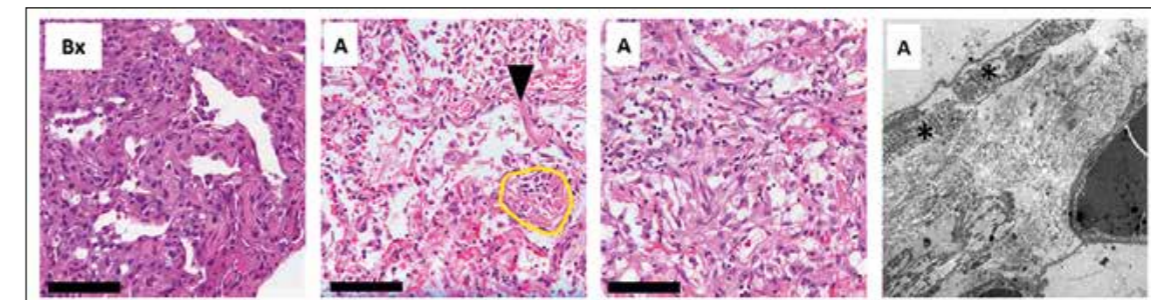


Abb. 3: Histologische und elektronenmikroskopische Analyse von Lungengewebe einer an COVID-19 verstorbenen Patientin. Die (zu Lebzeiten entnommene) Biopsie (Bx) zeigt eine Verbreiterung der Alveolarsepten und reaktive Veränderungen der Lungenepithelzellen. Im Rahmen der Autopsie zeigt sich ein diffuser Alveolarschaden (Pfeilspitze), teils in Organisation (gelbe Markierung). In der Elektronenmikroskopie zeigt sich eine Aktivierung von Bindegewebszellen (Sterne) und Ablagerung silberglänzender Bindegewebsfasern

Oberfeldarzt Prof. (APL) Dr. med. Hagen Frickmann
Bundeswehrkrankenhaus Hamburg,
Außenstelle am Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin
Hamburg

BwKrhsHamburg@bundeswehr.org

Evaluation molekularer Diagnostikverfahren für tropische Parasitenerkrankungen

Infektionen mit ein- oder mehrzelligen Parasiten werden bei soldatischen Tropenrückkehrern immer wieder beobachtet. Standardisierte, untersucherunabhängige Molekulardiagnostik kann dazu beitragen, solche Infektionen frühzeitig zu diagnostizieren und einer adäquaten Therapie zuzuführen. Die evaluierende Bewertung marktverfügbarer Diagnostikverfahren für diesen Zweck steht daher im Fokus.

Die Evaluation und fachliche Bewertung möglichst untersucherunabhängiger, molekularer Diagnostikverfahren für tropische Parasitenerkrankungen ist Gegenstand eines für den Zeitraum von 2019 – 2022 beauftragten Forschungsvorhabens, das vom Bundeswehrkrankenhaus Hamburg an der Außenstelle am Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin Hamburg, dem Nationalen Referenzzentrum für Tropische Infektionserreger, in enger Kooperation mit zivilen Wissenschaftlern bearbeitet wird.

Erkrankungen durch tropische Parasiten stellen ein Gesundheitsrisiko für Einsatzkräfte im tropischen Auslandseinsatz dar. Neben Malaria wurden insbesondere Darmparasiten und seltener systemische Parasitenerkrankungen bei deutschen Einsatzkräften wiederholt diagnostiziert. Zu den dabei häufiger nachgewiesenen Krankheitserregern gehören Lamblien (Abbildung 1), die eine Infektion des Verdauungstrakts verursachen, sowie Schistosomen (Abbildung 2), Erreger der sogenannten Bilharziose, wobei es sich um eine Wurminfektion der Blutstrombahn handelt.

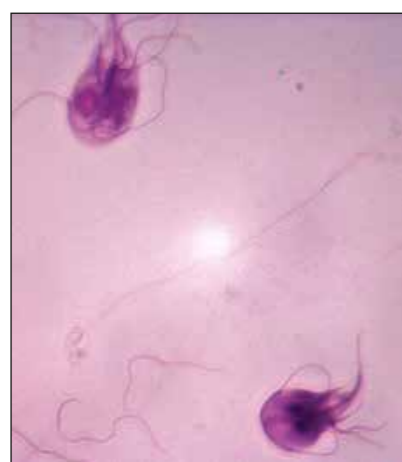


Abb. 1:
Giardia duodenalis

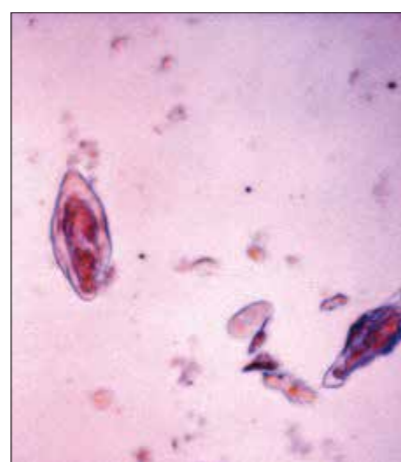


Abb. 2:
Ein Schistosomen-Ei

Bereits bei im Mai 2018 erfolgten Kooperationsbesprechungen am Militärhospital Laveran, Marseille (Abbildung 3), wo Tropenmedizin und tropenmikrobiologische Diagnostik vergleichbar stark wie am Bundeswehrkrankenhaus Hamburg abgebildet sind, wurde von einer ebenfalls großen Bedeutung tropischer Parasitenerkrankungen für die französischen Streitkräfte berichtet.

Als kritisch angesehen wurde dabei der geringe Standardisierungsgrad molekularer diagnostischer Verfahren, namentlich der Polymerasekettenreaktion (PCR), für Diagnostik und Surveillance tropischer Parasiten, wodurch eine verlässliche Risikostratifizierung durch Untersuchung größerer Probenmengen erschwert wird.

Durch die Etablierung und Bewertung molekularer diagnostischer Plattformen für den Nachweis tropischer Parasitenerkrankungen soll die Voraussetzung geschaffen werden, in qualitätsgesicherter Weise sowohl parasitologische Individualdiagnostik als auch Surveillance für die Einsatzgebiete sicherstellen zu können.

Da tropische Parasitenerkrankungen, mit wenigen Ausnahmen wie der Malaria, nicht nur selten aus den Tropen importiert werden sondern auch zumeist keine diagnostischen Notfallindikationen darstellen, ist das Interesse der Industrie an aufwändigen Testevaluationen mit dem Ziel der Kommerzialisierung eingeschränkt. Zu den seltenen kommerziellen Angeboten sind gute multizentrische Evaluationsstudien nach wie vor nicht häufig anzutreffen. Somit bleibt die Evaluierung molekularer Diagnostik tropischer Parasitenerkrankungen eine Domäne sanitätsdienstlicher Forschung und Entwicklung.

Residualprobenmaterial von diagnostischen Blutproben und Stuhlproben aus den beteiligten Institutionen, bis dato insbesondere aus dem Fundus des Bundeswehrkrankenhauses Hamburg sowie des Bernhard-Nocht-Instituts für Tropenmedizin Hamburg, wurden gemäß der ethischen Freigabe für die Testevaluationen anonymisiert eingesetzt.

Sowohl für Blutparasiten wie Plasmodien als auch für Stuhlparasiten wie im Darm anzutreffende Protozoen (einzellige Parasiten) und Würmer zeigte sich eine befriedigende bis gute Übereinstimmung selbstentwickelter und kommerzieller molekularer diagnostischer Plattformen. Insbesondere gelang der Nachweis einer hohen diagnostischen Zuverlässigkeit aller untersuchten molekularen Malaria-Diagnostikplattformen, von denen zwei bereits Einzug in die tropenmedizinische Spezialdiagnostik am Bundeswehrkrankenhaus Hamburg gefunden haben. Auch hinsichtlich der untersuchten PCRs für Darmparasiten zeigte sich eine teils gute bis sehr gute Übereinstimmung der Resultate selbstentwickelter und kommerzieller Testsysteme. Damit sind wichtige Vorarbeiten für die gemäß EU-Verordnung 2017/746 erforderlich werdende Umstellung der tropenmedizinischen Spezialdiagnostik auf kommerziell verfügbare Testsysteme im Jahr 2022 geleistet.



Abb. 3: Das Partnerkrankenhaus Laveran (Marseille) des Bundeswehrkrankenhauses Hamburg

Oberfeldarzt PD Dr. Ralf Matthias Hagen
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Koblenz

BwZKrhsKoblenzAbteilungXXIMikroBio
@bundeswehr.org

Oberstleutnant Prof. Dr. Patrick Scheid
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Koblenz

BwZKrhsKoblenzAbteilungXXIMikroBio
@bundeswehr.org

Oberstabsarzt Dr. Manuel Döhla
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Koblenz

BwZKrhsKoblenzAbteilungXXIMikroBio
@bundeswehr.org

Studie zur klinischen Evaluation und Etablierung einer Hochdurchsatz-Testung zum Nachweis für SARS-CoV-2-Infektionen

Am Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Bonn die klinische Erprobung und Evaluierung eines Massentest-Verfahrens zum Nachweis von SARS-CoV-2-Infektionen. Es soll eine Diagnostik im Hochdurchsatz ermöglichen, die zur dringend notwendigen Erhöhung der limitierten Testkapazitäten für SARS-CoV-2 in Deutschland beitragen kann.

Mit dem Ziel der Ausbreitungsverhinderung von SARS-CoV-2 gibt es weltweit Anstrengungen, die Unterbrechung von Infektionsketten durch sichere Identifizierung und Isolierung infizierter Personen zu erreichen. Grundlage hierfür ist die valide diagnostische Testung einer Vielzahl von Personen. Die derzeitigen diagnostischen Methoden sind jedoch technisch bedingt im Probendurchsatz limitiert. Kapazitätsgrenzen und Engpässe werden recht schnell erreicht, die Ergebnisse liegen oft erst Tage später vor.

Mit dem Ziel einer zukünftigen Erhöhung der Testkapazitäten bei gleichzeitiger Nutzung hochsensitiver Nachweismethoden erfolgt in zivil-militärischer Kooperation zwischen dem Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz (BwZKrhs) und dem Universitätsklinikum Bonn die klinische Erprobung und Evaluierung eines Hochdurchsatz-Testverfahrens (LAMP-Seq) für SARS-CoV-2.

Das Hochdurchsatz-Testverfahren basiert auf aktuellen molekularbiologischen Techniken („next generation sequencing“) die durch beschleunigte DNA-Sequenzierung eine Erhöhung des



Abb. 1: Abstrichprobe in der Routinediagnostik
(Quelle: Bundeswehr/Michael Laymann)

Oberstleutnant Dr. Carsten Balczun
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Koblenz

BwZKrhsKoblenzAbteilungXXIMikroBio
@bundeswehr.org

Prof. Dr. Jonathan Schmid-Burgk
Universitätsklinikum Bonn
Bonn

redaktion@ukbonn.de

Prof. Dr. Martin Exner
Universitätsklinikum Bonn
Bonn

redaktion@ukbonn.de

Probendurchsatzes ermöglichen. Eine individuelle Markierung mittels molekularer Barcodes ermöglicht es im LAMP-Seq-Verfahren zudem tausende Patientenproben gleichzeitig zu untersuchen und dabei ein positives Testergebnis eindeutig einer individuellen Probe zuzuordnen zu können.

Bereits im Rahmen der Validierung des Verfahrens (in Zusammenarbeit mit dem Massachusetts Institute of Technology in den USA) konnte eine nahezu vollständige diagnostische Übereinstimmung mit dem aktuellen Goldstandard der SARS-CoV-2-Diagnostik (RT-qPCR) nachgewiesen werden.

Mit dem Verfahren werden die Skalierungshürden derzeitiger Testansätze, die Extraktion viraler RNA und die individuelle qPCR überwunden. Zudem sind die personellen und logistischen Anforderungen gegenüber der Goldstandard-Methode reduziert.

Im Rahmen der Standard-Testung auf SARS-CoV-2 während der Patientenaufnahme am BwZKrhs Koblenz, werden die gewonnenen Abstrichproben (bei Einwilligung des Patienten) für die Testung mittels LAMP-Seq verwendet (Abbildung 1). Unter Nutzung der im Rahmen der Routinediagnostik etablierten diagnostischen Prozessierung mittels RT-qPCR (Abbildung 2) werden die Patientenproben unter Einhaltung der datenschutz-

rechtlichen Vorgaben (anonymisiert) am Universitätsklinikum Bonn parallel getestet. Somit kann ein valider Methodenvergleich (bzgl. Sensitivität und Spezifität etc.) erfolgen.

Ziel ist die vollständige prozessuale Einbindung des Verfahrens als neue, schnelle und sichere Diagnostikmethode am BwZKrhs Koblenz unter entsprechender struktureller Einbindung der Abt. XXI (Mikrobiologie und Krankenhaushygiene). Die Erlangung der (vorläufigen) klinischen Zulassung des Verfahrens durch das Robert Koch-Institut/Paul-Ehrlich-Institut wird von den Kooperationspartnern angestrebt.

Die Weiterentwicklung des Verfahrens hin zu vollständiger Erreger-spezifischer Genomsequenzierung für die Infektionskettenaufklärung im Rahmen des Ausbruchsmanagements bietet potentielle Einsatzmöglichkeiten in der Differentialdiagnostik weiterer Infektionserreger. Mittelfristig ist die Weiterentwicklung des Verfahrens hin zu einer kleineren, mobilen Plattform insbesondere für die Infektkettenaufklärung, z. B. im Rahmen eines RDOIT-Public Health-Einsatzes (RDOIT: Rapidly Deployable Outbreak Investigation Team) avisiert.

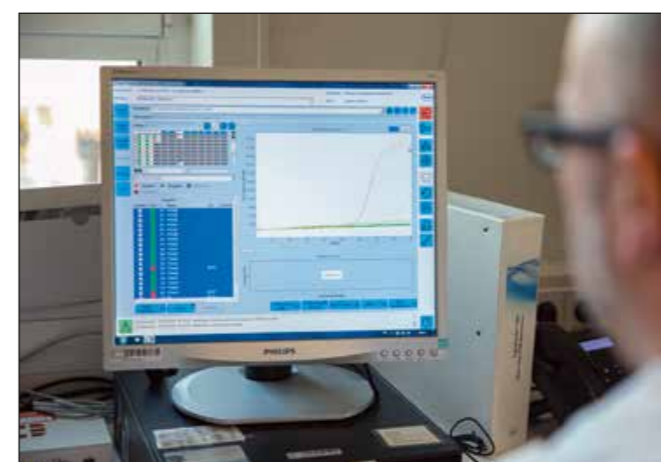


Abb. 2: Auswertung der Diagnostik auf SARS-CoV-2 durch RT-qPCR
(Quelle: Bundeswehr/Michael Laymann)

3

Militärgeschichtliche und Sozialwissenschaftliche Forschung

Das Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr (ZMSBw) betreibt militärgeschichtliche und sozialwissenschaftliche Forschung im Auftrag des Bundesministeriums der Verteidigung, um mit den dabei gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnissen die öffentlichen Diskussionen über Militär und Sicherheit in Deutschland aktiv mitzugestalten. Das ZMSBw erforscht die deutsche Militärgeschichte nach den allgemein anerkannten Methoden und Standards der Geschichtswissenschaft unter Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zwischen Militär, Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Kultur.

Mit seiner sozialwissenschaftlichen Forschung leistet das ZMSBw einen Beitrag zur Fortentwicklung der Sozialwissenschaften sowie zur wissenschaftsbasierten Politikberatung. Die Verschränkung der Geschichtswissenschaft sowie der Sozialwissenschaften erweitert die Möglichkeiten auf dem Gebiet der Forschung und der Anwendung ihrer Ergebnisse in der historischen Bildung.

Das ZMSBw leistet einen Beitrag zum Verständnis der Rolle von Streitkräften in einer pluralistischen Gesellschaft. In der thematischen Verschränkung mit der Militärgeschichte tragen die Sozialwissenschaften zur Erforschung und Deutung neuer Konflikte und besonderer Einsatzszenarien der Bundeswehr bei.

Die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des ZMSBw sind mit ihren Forschungen Teil der wissenschaftlichen Community. Sie pflegen Kontakte zu Organisationen, Institutionen und Dienststellen des In- und Auslandes sowie zu inner- wie außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Zunehmend wichtig ist die Kooperation mit anderen Institutionen der Bundeswehr, die ausbilden, forschen und erziehen. Die Einsätze der Bundeswehr unterstützt das ZMSBw mit historischen und sozialwissenschaftlichen Analysen.



Oberstleutnant Dr. Hans-Peter Kriemann
Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr
Potsdam

ZMSBwEingang@bundeswehr.org

Der Afghanistaneinsatz in historischer Perspektive – Ein neues Forschungsprojekt des Zentrums für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr

Der Afghanistaneinsatz steht inzwischen paradigmatisch für die Auslandseinsätze der Bundeswehr, die auch weiterhin ein wichtiger Teil ihres Auftrags sein werden. Seine Analyse ist daher ein künftiger Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit am Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr (ZMSBw). Eine am 27. Oktober 2020 unterzeichnete Vereinbarung ermöglicht nun den Zugang zu Unterlagen für die Erforschung dieses Einsatzes.

Der Afghanistaneinsatz der Bundeswehr besitzt in verschiedener Hinsicht eine herausgehobene Bedeutung. Politisch ist er ein Markstein deutscher Sicherheitspolitik: Kaum ein Einsatz der Bundeswehr war so personal- und kostenintensiv, keiner besaß eine solche militärische Intensität, keiner war für die Bundeswehr so verlustreich und forderte die deutsche Politik und die Streitkräfte so sehr. Die dort gemachten Erfahrungen prägten den Umgang mit den neuen Bedrohungen und vermittelten Vorstellungen davon, wie Prävention, Frieden und Sicherheit künftig gewährleistet werden könnten. Militärisch steht der Afghanistaneinsatz deswegen nicht nur symbolisch für die Auslandseinsätze der Bundeswehr, sondern ihm kommt eine paradigmatische Bedeutung zu.

Seine Erforschung wird daher ein künftiger Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit am ZMSBw sein. Die Verschränkung von Neuester Militärgeschichte und Sozialwissenschaften erweitert dabei ganz erheblich das Spektrum der Möglichkeiten. Wichtige Stationen waren bisher ein Workshop am Bundesarchiv-Militärarchiv im Juni 2019 mit dem Ziel der Nutzung von dort vorhandenem Archivmaterial und von Unterlagen



Abb. 1: Ausbildung im Gelände



Abb. 2: Internationaler Afghanistan Workshop 2019

auch innerhalb der dreißigjährigen Schutzfrist sowie die Zustimmung zum Projekt durch den Wissenschaftlichen Beirat des BMVg für das ZMSBw am 15. November 2019.

Für das ZMSBw ist die Pflege von Kontakten zu Institutionen und Dienststellen des In- und Auslands sowie zu Forschungseinrichtungen und Universitäten von zentraler Bedeutung für die eigene Forschung. Das gilt gerade für ein Projekt wie dieses. Ende November 2019 fand daher in Kooperation mit dem Niederländischen Institut für Militärgeschichte ein internationaler Workshop mit Forschern aus 14 verschiedenen Staaten und Organisationen am ZMSBw statt.

Ohne Archivquellen, aber eben auch die Unterlagen der Bundeswehr, ist die Erforschung des Afghanistaneinsatzes kaum möglich – die Bundeswehr bliebe wie bisher eine „Black Box“, eine große Unbekannte. Daher wurde nun eine Kooperationsvereinbarung zwischen dem Einsatzführungskommando der Bundeswehr und dem ZMSBw geschlossen, die den Forschenden den Zugang zu dessen Unterlagen ermöglicht. Das Projektteam, das sich zunächst auf den ISAF-Einsatz von 2001 bis 2014 konzentriert, will über den Zugang zu diesen Unterlagen zusammen mit Quellen aus dem Bundesarchiv-Militärarchiv diesen Einsatz rekonstruieren und analysieren. Damit unterstreicht die vorliegende Vereinbarung auch die Bedeutung von Kooperationen mit anderen Institutionen und Dienststellen in der Bundeswehr.

Wie bei allen Publikationen des ZMSBw wirkt das Afghanistan-Projekt nicht nur in die wissenschaftliche Community. Es leistet auch einen Beitrag zur politischen und öffentlichen Bildung und Diskussion. Da die Auslandseinsätze auf absehbare Zeit einen wichtigen Auftrag der Bundeswehr darstellen werden,

wird die Diskussion darüber weitergehen. Dabei wird es auch um die deutsche Rolle und die Ausgestaltung künftiger Beiträge in diesen internationalen Einsätzen gehen.

Gleichzeitig ist diese Forschung auch für die Bundeswehr unverzichtbar. Zum einen geht es dabei um die Perspektive von unten, um das Taktische, aber auch das Operative – kurz die soldatische Erfahrungsebene. Genau das bestimmte im Fall des Afghanistaneinsatzes die Wahrnehmung durch die zivile Öffentlichkeit. Schließlich hat der Einsatz die Bundeswehr selbst in vielen Bereichen verändert: nicht nur bei Ausrüstung, Ausbildung und Taktik, sondern auch kulturell. Auch um solche Themen wird es in diesem Projekt gehen und auch um die Frage nach der Bedeutung der Afghanistan-Erfahrung für die Tradition der Bundeswehr.

Das mehrjährige Forschungsprojekt umfasst fünf Bände mit Beiträgen verschiedener Autoren und wird das große Narrativ der Afghanistan-Einsätze von 2001 bis 2014 in seinen verschiedenen Dimensionen und Facetten sowohl auf der internationalen als auch der nationalen Ebene erforschen.



Abb. 3: Zeichnung Kooperationsvereinbarung

Oberstleutnant Dr. Klaus Storkmann
Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr
Potsdam

ZMSBwEingang@bundeswehr.org

Tabu und Toleranz – Der Umgang der Bundeswehr mit Homosexualität von 1955 bis zur Jahrtausendwende

Im Auftrag des BMVg erforschte das Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr den Umgang mit homosexuellen Soldaten in der Geschichte der Bundeswehr erstmals wissenschaftlich. Bis zur Jahrtausendwende galt eine gleichgeschlechtliche Orientierung als Ausschlusskriterium für die Karriere als Offizier oder Unteroffizier sowie als Sicherheitsrisiko.

Die Studie stützt sich neben der umfangreichen Überlieferung im Bundesarchiv, Abt. Militärarchiv, und zahlreichen Gerichtsurteilen der Truppendienst- und Verwaltungsgerichte vor allem auf mehr als 60 befragte Zeitzeugen. Auf dieser Grundlage geht sie wichtigen Fragen zur Geschichte homosexueller Soldaten in der Bundeswehr nach. So werden unter anderen die strafrechtliche und bundeswehrinterne disziplinare Ahndung von homosexuellen Handlungen von Soldaten untersucht, die damalige Bewertung der Homosexualität als Sicherheitsrisiko hinterfragt und die laufbahnrechtlichen Konsequenzen bekannt gewordener Homosexualität analysiert.

Bis 1979 wurden sich bei der Musterung zu erkennen gebende oder erkannte homosexuelle Männer konsequent ausgemustert. Seitdem begründete Homosexualität allein keine Untauglichkeit mehr; nunmehr galt für homosexuelle Männer: Wehrpflicht ja, Karriere nein. Vom Verfasser der Studie befragte Zeitzeugen berichteten anschaulich und glaubhaft vom hohen psychischen Druck, unter dem homosexuelle Unteroffiziere und Offiziere dienten. Auf der anderen Seite bestätigten viele Zeitzeugen aber auch, dass ungeachtet der Vorschriften die Toleranz in der Trup-



Abb. 1: Der als Zeitsoldat verpflichtete Gefreite Dierk Koch wurde 1964 wegen bekannt gewordener Homosexualität fristlos nach § 55 Abs. 5 Soldatengesetz aus der Bundesmarine entlassen



Abb. 2: Der Skandal um die Entlassung des Generals Günther Kießling brachte im Januar 1984 auch den Umgang mit, anders als Kießling, tatsächlich homosexuellen Soldaten ins mediale Interesse. Das BMVg musste dementieren, diesbezügliche Listen zu führen

pe viel größer war als es die Vorschriften eigentlich zuließen. Diese sprachen als homosexuell erkannten Männern generell die Eignung zum unmittelbaren Vorgesetzten sowie zum Ausbilder ab – und zwar pauschal und ausdrücklich ohne Bewertung des Einzelfalls. Ausschlaggebend waren ein antizipierter Autoritätsverlust und damit eine angenommene Gefahr für die Disziplin der Truppe. Die Bundeswehr blockierte generell und unabhängig von den bislang gezeigten Leistungen jegliche Weiterverpflichtung, insbesondere die Übernahme zum Berufssoldaten. Bis Ende der 1990er Jahre scheiterte jeder Versuch von Betroffenen an Verwaltungsgerichten, auf dem Klageweg eine Aufweichung der Restriktionen zu erreichen. Die Rekonstruktion ausgewählter Lebensläufe von betroffenen Soldaten bot die Chance, individuelle Schicksale konkret und detailliert nachzuzeichnen. Damit werden die aus der abstrakten Vorschriftenlage resultierenden Konsequenzen anschaulich und nachvollziehbar.

Homosexualität galt zudem als Sicherheitsrisiko. Neue, 1988 in Kraft getretene Richtlinien stuften zwar nur noch Offiziere und Unteroffiziere, die ihre Homosexualität dienstlich nicht offen bekannten, als potentiell erpressbar ein. Doch machten es weiterbestehende Restriktionen betroffenen Soldaten nahezu unmöglich, sich zu „outen“. Die Zeit brachte diesen Konflikt schon im Januar 1984, während der Wörner-Kießling-Affäre, auf den Punkt: „Durch die Diskriminierung [wurde] überhaupt erst die Erpressbarkeit geschaffen“, „die Bundeswehr [schuf] sich ihre eigenen Sicherheitsrisiken“. Einen Ausweg aus diesem von BMVg im Januar 2000 selbst so bezeichneten „Dilemma“ konnte es nur durch eine Änderung der Haltung der Bundeswehr zur Homosexualität geben. Diesen von den Betroffenen lange erhofften und geforderten Schritt ging der Dienstherr

im Jahr 2000 durch Entscheidung von Minister Rudolf Scharping – gegen den hartnäckigen Widerstand der militärischen Führung.



Abb. 3: Der Bundesweite Arbeitskreis schwuler Soldaten (BASS) forderte mit Unterstützung des Schwulenverbandes in Deutschland (SVD) in den 1990er Jahren die Abschaffung aller gegen gleichgeschlechtlich orientierte Offiziere und Unteroffiziere bestehenden Restriktionen

4

Geowissenschaftliche Forschung

Unter dem Begriff Geofaktoren werden alle natürlichen und anthropogenen Gegebenheiten der Erde (Klima, Wetter, Geländere relief, Gewässer, Bewuchs, Bebauung etc.) verstanden, die bei militärischen Fähigkeiten und im Rahmen von militärischen Operationen von Bedeutung sein können. Die vielfältigen und anspruchsvollen Aufgaben der Bundeswehr lassen den Bedarf an qualitätsgesicherten Informationen über die raumzeitliche Variabilität von Geofaktoren stetig wachsen. Dies gilt sowohl bei Einsätzen im Rahmen des internationalen Krisenmanagements als auch bei der Landes- und Bündnisverteidigung und bei der humanitären Not- und Katastrophenhilfe.

Um aktuelle geowissenschaftliche Entwicklungen für die Bundeswehr verfügbar zu machen und bedarfsorientiert nach neuen geowissenschaftlichen Methoden und Verfahren zu suchen, wird im Geschäftsbereich des Bundesministeriums der Verteidigung angewandte geowissenschaftliche Forschung betrieben. Zuständig hierfür ist die zentrale Dienststelle des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr: Das Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr (ZGeoBw). Innerhalb der prozessorientierten Aufbauorganisation des Zentrums werden die Forschungsaktivitäten in der Abteilung „Angewandte Geowissenschaften“ gebündelt. Dem „Add-on-Prinzip“ folgend, werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (FuE) dann zielgerichtet initiiert und vorgenommen, wenn es nach entsprechender Prüfung keine Möglichkeit gibt, den FuE-Bedarf durch Rückgriff auf Ergebnisse von externen Stellen der Hochschul- und Wissenschaftslandschaft zu decken oder wenn staatliche Sicherheitsinteressen dies erfordern.

FuE-Aktivitäten werden als GeoInfo-Fachprojekte mit eigenem Personal und Mitteln, durch Vergabe oder als Kombination beider Verfahren durchgeführt. Fachlich unterstützt wird das ZGeoBw dabei durch einen mit nationalen und internationalen Kompetenzträgern besetzten wissenschaftlichen Beirat.

Als langfristige Schwerpunkte der geowissenschaftlichen Forschung liegt der Fokus auf den Anwendungsfeldern „Big Data Analytics“ und „Künstliche Intelligenz“ im GeoInfo-Kontext, „Virtuelle und Erweiterte Realitäten“, „GeoInfo-Datenmanagement“ und „Qualität von Online Services“ sowie auf der weiteren Entwicklung im Bereich „Positionsbestimmung, Navigation und Zeitfestlegung“. Die Vielfalt der betrachteten geowissenschaftlichen Fachdisziplinen und das Erfordernis, auf Bedarfsänderungen im Rahmen der GeoInfo-Unterstützung auch kurzfristig reagieren zu können, setzt Flexibilität voraus sowie die Kompetenz, sich stets auch ad hoc mit Themen außerhalb der Schwerpunktbereiche befassen zu können.

Die beiden nachfolgenden Beispiele aus der geowissenschaftlichen Forschung verdeutlichen einmal mehr die Bandbreite der vielfältigen FuE-Aktivitäten des ZGeoBw.



Simulation: Weiterentwicklung Regionales Ozeanmodell

Die in der Unterabteilung Geoinformation im Marinekommando eingesetzten GeoInfo-Kräfte unterstützen die Marine bei der Planung und Durchführung ihrer weltweiten Übungen und Einsätze. Dafür wird ein operationelles Ozeanmodell für die Vorhersage der Meeresströmungen und Schichtungen der Wassersäule benötigt. Auf Basis einer hydrodynamisch-numerischen Modellsimulation werden der gegenwärtige und zukünftige Zustand des Ozeans berechnet.

Neue akustische Sensorik, wie z. B. Flank und Towed Array Sonare, stellen spezielle Anforderungen an die Genauigkeit sowie die räumliche und zeitliche Auflösung der Ozeanvorhersage im dreidimensionalen Operationsraum. Die Modellierung der vertikalen Schichtungsverhältnisse dient der Vorhersage der hydroakustischen Bedingungen für den Einsatz von U-Booten, der Bereitstellung der Eingangsdaten für Tactical Planning Aids, sowie der akustischen Unterwasserkommunikation und findet Anwendung in der Missionsplanung für Unterwassergeräte und Taucher sowie bei der Strömungsvorhersage; hierbei insbesondere bei der Vorhersage der Oberflächendrift.

Das Überleben von Personen im Wasser hängt neben der Wassertemperatur entscheidend von den benötigten Search and Rescue (SAR)-Suchzeiten ab. Diese lassen sich durch Kenntnis und genaue Vorhersage des Verdriftens infolge der Meeresströmungen entscheidend verkürzen. Aber auch die Sicherheitsbehörden interessieren sich, z. B. im Zusammenhang mit Flucht- und Migrationsbewegungen über das Mittelmeer und der Nachverfolgung und Eindämmung der Schleuserkriminalität, für die Strömungsverhältnisse in

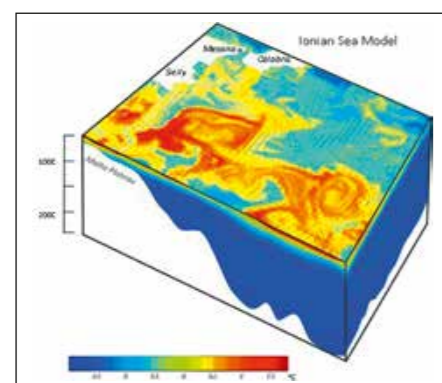


Abb. 1: 3D-Ozean (Quelle: U. Paul, MarKdo)

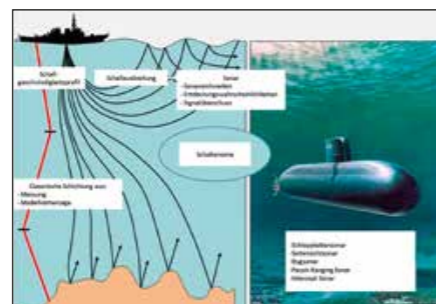


Abb. 2: U-Boot im Modellozean (Quelle: Marine, www.die-marine.de)



Abb. 3: Der neue High Performance Computer am DMRZ. (Quelle: DWD NEC TWL-KOM RZ II Ludwigshafen)

den relevanten Seegebieten. Oft treiben Menschen in völlig überladenen, offenen Booten ohne Kraftstoff tagelang mit der Meeresströmung. Aus den Strömungsverhältnissen lässt sich sowohl deren Ausgangsort zurückverfolgen als auch die voraussichtliche Zielposition errechnen.

Die Kenntnis und Vorhersage der vertikalen Schichtung der Wassersäule ist für U-Boote und die U-Boot-Bekämpfung von besonderem Interesse, weil sich daraus die Sonarbereichsbedingungen ermitteln lassen. Für die Minenjagd gehen die Schallgeschwindigkeitsfelder in gleicher Weise in die Berechnung der Detektionswahrscheinlichkeiten ein. Auch die Dichte des Meerwassers kann für alle Seegebiete vorhergesagt werden, denn diese ändert sich mit der Temperatur, dem Salzgehalt und dem Druck. Die Kenntnis der Dichte ist z. B. notwendig zur Bestimmung des Auftriebs „Trimm“ von Unterwassergerät.

Zur Beurteilung von Risiken durch Unterwasserschall werden hydroakustische Vorhersagen erstellt, welche sich u. a. aus der Meeresschichtung ableiten. Dazu werden sogenannte „Risikokarten“ erstellt, welche Gebiete ausweisen, in denen bei Schalleintrag durch aktives Sonar oder Unterwassersprengungen Gefahr für die Lebewesen im Wasser bestehen kann.

Grundlage für diese Vorhersagen sind Simulationen des Ozeans, die durch den Routinebetrieb eines hydrodynamisch-numerischen Ozeanmodells auf dem High Performance Computer (HPC) des Deutschen Meteorologischen Rechenzentrums (DMRZ, Anteil Bw) berechnet werden. Derzeit laufen am DMRZ acht Ozeanmodelle im Routinebetrieb: Ionische See, Straße von Gibraltar, östliches Mittelmeer, westliches Schwarzes Meer, Golf von Aden, Ostküste von Somalia, zentrales Mittel-

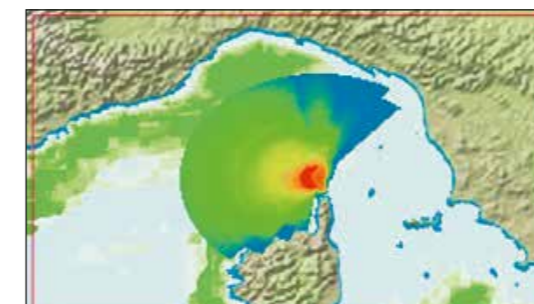


Abb. 4: Gefährdungskarte Unterwasserschall (Quelle: NATO)



Abb. 5: Search and Rescue Suchgebiete. Gute Strömungsvorhersagen reduzieren die Suchzeiten erheblich (hier 53 %) (Quelle: Marine, SAR-Leitstelle)

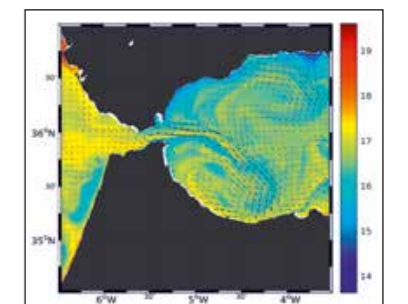


Abb. 6: Starker Einstrom in die Straße von Gibraltar (Quelle: MarKdo)

meer und Straße von Hormus. Am Beispiel der Ionischen See zeigt Abbildung 1 die errechnete Temperaturverteilung. Andere Parameter wie Meeresströmungen, Salzgehalt, Schallgeschwindigkeit, Dichte, Sonarverhältnisse können ebenso dargestellt werden.

Ziel der Weiterentwicklung des Regionalen Ozeanmodells ist die Verbesserung der Effizienz und Qualität der Vorhersagen. Das zukünftige Modell soll in Realzeit mit aktuellen Daten aus dem meteorologischen Modell ICON (Icosahedral Nonhydrostatic) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) mit gekoppelten Oberflächenrandbedingungen versorgt werden. Die seitlichen ozeanographischen Randbedingungen werden aus dem europäischen Globalmodell MERCATOR eingespeist. Darüber hinaus ist geplant, in dem zukünftigen Fachprojekt „Globales Ozeanmodell“ diese Randwertversorgung der regionalen Ozeanmodelle ausfallsicher und schnell bereitzustellen.

Dr. Lars Wiegand
Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr,
Gruppe Meteorologie beim Deutschen Wetterdienst (DWD)
Offenbach

ZGeoBwEingang@bundeswehr.org

HEARTS und der Stand der Forschung im Bereich Ausbreitungsmodellierung von Schadstoffen im ZGeoBw

Die Ausbreitungsmodellierung von Schadstoffen ist ein wichtiger Baustein in der meteorologischen Beratungsfunktion des Zentrums für Geoinformationswesen der Bundeswehr (ZGeoBw), sowohl für den militärischen als auch den zivilen Einsatz. Die Forschung in dem Bereich konzentriert sich neben der Verbesserung bestehender Verfahren auch auf die Entwicklung wissenschaftlich komplexerer Ansätze.

HEARTS (Hazard Estimation for Atmospheric Release of Toxic Substances) ist ein Beratungstool für die Ausbreitung von chemischen, biologischen und nuklearen Schadstoffen, welches im ZGeoBw entwickelt wurde und militärische sowie zivile Organisationen unterstützt. HEARTS benötigt Prognosen des Windes und der Stabilitätsverhältnisse in der atmosphärischen Grenzschicht, welche aus den numerischen Wettervorhersagen (NWV) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bezogen werden. Aus diesen und den speziellen Eigenschaften des Materials, für das eine Prognose zu erstellen ist, wird ein Beratungsprodukt erzeugt (siehe Abb. 1). Um vor Ort nach einem Ereignis zeitnahe Entscheidungen treffen zu können, wurde bei HEARTS auf eine zeitkritische Berechnung geachtet, damit die Auswirkungen möglichst begrenzt bleiben. Die Handlungsfähigkeit des Bedarfs-trägers und die Kontrolle über die Situation wird dadurch maßgeblich beeinflusst.

HEARTS ist ein Gauß-Puff-Verfahren, welches gaußförmige Wolken in der Horizontalen verlagert. Den Vorteilen eines zeitlich schnellen und quellortgenauen Verfahrens mit benutzer-spezifischer GUI (graphical user interface – grafische Benutzer-



Abb. 1: HEARTS Ausbreitungsrechnung – Anzahlkonzentration [ppm] eines unbekanntes Stoffes (6-h-Vorhersage) (Quelle: ZGeoBw III 4 (2))

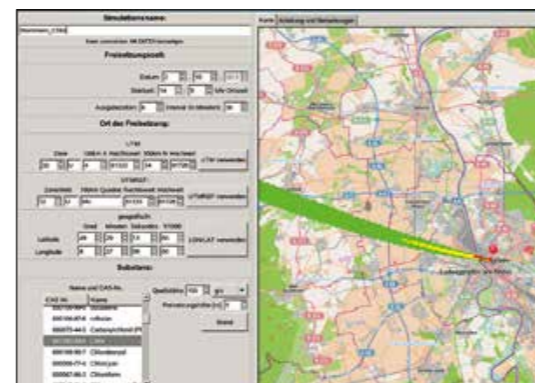


Abb. 2: Benutzerspezifische GUI von HEARTS – hier für Nutzer „Wettervorhersage Leitstand DWD“ und „Meteorologische Vorhersagezentrale ZGeoBw“ (Quelle: ZGeoBw III 4 (2))

oberfläche – siehe Abb. 2), stehen Nachteile entgegen: u. a. keine vertikale Advektion, keine subskalige Orographie, niedrige zeitliche Auflösung (1 h) der Wetterinformationen. Im wissenschaftlichen Kontext der Ausbreitungsmodellierung von Schadstoffen ist dieses Verfahren nicht mehr state-of-the-art. Aus diesem Grund fokussierte sich die Forschung in enger Zusammenarbeit von ZGeoBw und DWD im Jahr 2020 auf die Erforschung und Adaption von wissenschaftlich fortgeschritteneren Verfahren. Ein Lagrangesches-Partikel-Dispersions-Modell (LPDM), welches im DWD entwickelt wurde und weiterentwickelt wird, wäre für den Nahbereich (< 50 km) und schnelle Verfügbarkeit (< 30 min) geeignet. Erste Tests auf dem in 2020 in Betrieb genommenen NEC HPC (high performance computing) lassen dieses Verfahren schnell genug für zeitkritische Einsätze erscheinen. Hier ist vor allem der Einbau von Schadstoffen ein gegenwärtiger Stand der Forschung.

Das „Gegenstück“ zu Lagrangescher Modellierung ist die Eulersche Berechnung, bei der Windfeld und Schadstoffkonzentrationen auf einem festen Gitter berechnet werden. Die kompletten meteorologischen Informationen liegen bei Eulerscher Simulation zeitlich viel höher aufgelöst vor, der Zeitschritt des Modells liegt im zweistelligen Sekundenbereich. Die vom DWD betriebene NWV basiert auf letzterem Prinzip. Eulersche Modelle bieten bessere Resultate, wenn es um großräumige und längerfristige Simulationen geht, die ein Vielfaches der verwendeten Gitterweite erfassen. Mit jetzt schon zeitlich besserer und in Zukunft feinerer vertikaler und horizontaler Auflösung der Modelle wird es möglich sein, Ausbreitungsrechnungen auch für kleinräumige und kurzfristige Szenarien „eulersch“ zu prognostizieren. Das im Karlsruher Institut für Technologie mit dem DWD entwickelte ICON-ART beinhaltet

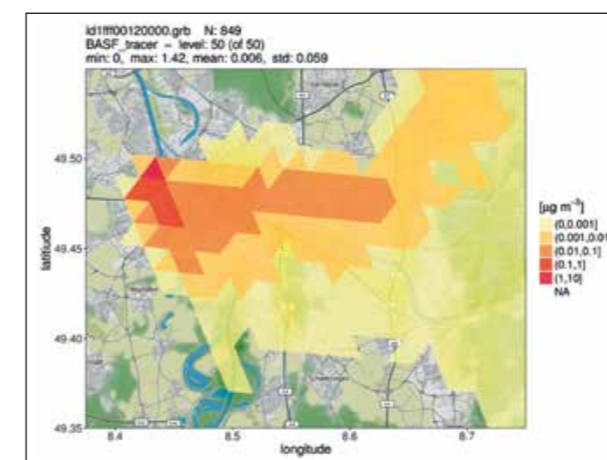


Abb. 3: ICON-ART Ausbreitungsrechnung – Massenkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] eines unbekanntes Stoffes (12-h-Vorhersage, 1 km horizontale Auflösung, 50 vertikale Schichten, Darstellung der untersten Schicht) (Quelle: ZGeoBw III 4 (2))

die Möglichkeit, u. a. reaktive Spurengase in der Atmosphäre zu prognostizieren. Die Entwicklung des Modells für kleinere räumliche Skalen sowie die Flexibilität dieses Systems, schnell verfügbar und in kürzester Zeit ein aussagefähiges Produkt zu Verfügung zu haben, ist im Moment Teil der Forschung (siehe Abb. 3).

Für den Nahbereich (50 m bis wenige Kilometer) war auch PALM4U (PARallelized Large-eddy simulation Model for Urban applications) Gegenstand erster Untersuchungen. Auf Grund der Einbindung eines Chemiemoduls und der Anbindung von PALM4U an die NWV des DWD ist diese Entwicklung weiterzuverfolgen. Im Moment sind die technischen Ressourcen zu knapp, um ein zeitkritisches Produkt erzeugen zu können. Hierbei bleibt die Entwicklung der Rechenkapazitäten der nächsten HPC-Generationen abzuwarten.

Analysen der Verfügbarkeit, Anwendbarkeit und Leistungsfähigkeit existierender und im Text genannter Ausbreitungsmodelle waren in 2020 in Arbeit und sind es weiterhin in Zusammenarbeit mit dem DWD in den nächsten Jahren.

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 zukünftiger Konflikte zu berücksichtigen, die zunehmend „hybrid“ geführt werden.

Es werden hier einige Beispiele aus dem breiten Spektrum an Forschungsaktivitäten vorgestellt. Diese reichen von internationalen Aktivitäten bis hin zu ganz speziellen IT-Sicherheitsaufgaben, beleuchten unterschiedlichste Anwendungen der Künstlichen Intelligenz und untersuchen Herausforderungen von hybriden Konflikten.

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



Hans Peter Stuch
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
 und Ergonomie FKIE
 Wachtberg
 info@fkie.fraunhofer.de

Arne Schwarze
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
 und Ergonomie FKIE
 Wachtberg
 info@fkie.fraunhofer.de

Erkennung hybrider Bedrohungen für urbane Operationen

In heutigen und zukünftigen Konflikten haben hybride Bedrohungen hohe Relevanz. Sie kombinieren physische Kräfte und (Des-)Informationskampagnen, reguläre und irreguläre Kräfte und nutzen Grauzonen in Rechtsfragen und Zuständigkeiten aus. Die im Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE entstehende Lösung ermöglicht die Erkennung und Bewertung hybrider Bedrohungen in der Missionsplanung und -durchführung.

Hybride Bedrohungen sind als Zusammenspiel des Einsatzes von physischen Kräften und (Des-)Informationskampagnen, regulären und irregulären Kräften sowie dem gezielten Ausnutzen von Grauzonen in Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten nicht grundsätzlich neu. Durch die digitale und globale Natur heutiger und zukünftiger Konflikte spielen sie allerdings eine zunehmend entscheidende Rolle für die Missionsplanung. Der Kern hybrider Bedrohungen ist genau das, was sich nicht klar zuordnen lässt. Es geht darum, die Entscheidungsfindung der Gegenseite zu beeinflussen, zu verwirren, zu demoralisieren, Kräfte Dritter für eigene Zwecke zu mobilisieren. Diese Aktivitäten laufen verdeckt ab, um Ursprung und Intention zu verschleiern. Was auf den ersten Blick wie eine Reihe von Zufällen, Aktionen einzelner Gruppierungen ohne Zusammenhang oder Missverständnissen erscheinen kann, basiert im Hintergrund auf einem wohlgedachten System: Es geht um nichts anderes als die Erschütterung des „Center of Gravity“ und damit der Grundfesten der Betroffenen.

Im Vorhaben „Erkennung hybrider Bedrohungen für urbane Operationen“ wird eine Entscheidungsunterstützung für die

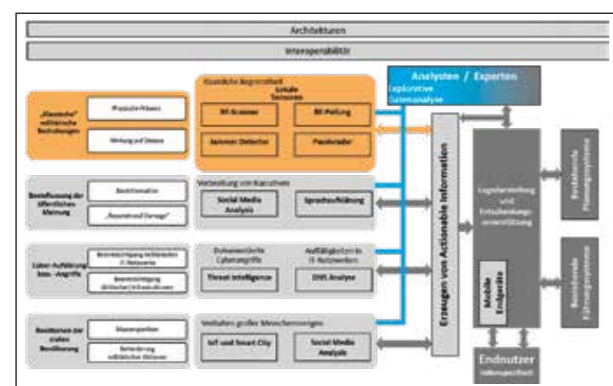


Abb. 1: Struktur des Demonstrators

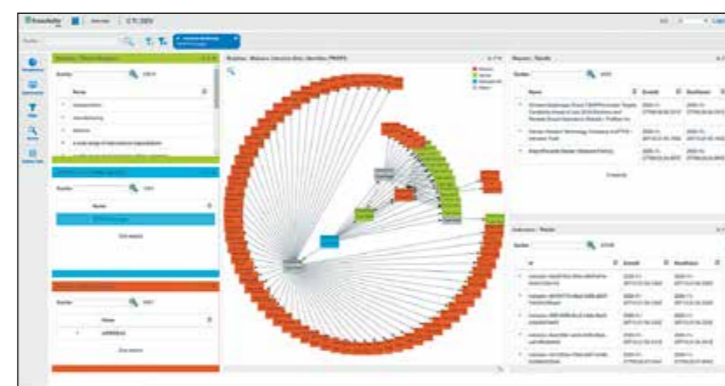


Abb. 2: Dashboard zur explorativen Datenanalyse für den Sensor „Cyber Threat Analysis“

Missionsplanung entwickelt, um hybride Bedrohungen zu erkennen und zu bewerten. Die Idee: Flexibel erweiterbare Sensorik- und Analysemodule liefern Informationen relevanter Domänen. Erkenntnisse über physische Bewegungen, Effekte im elektromagnetischen Spektrum sowie Aktionen im Cyber- und Informationsraum werden zusammengeführt, um eine umfassende Bewertung von Risiken für die Missionsplanung und -durchführung zu erhalten.

Die Herausforderung dabei ist die große Vielfalt bezüglich Zeit, Raum und Relevanz von Informationen. Die Peilung eines UAV (Unmanned Aerial Vehicle) lässt sich klar in Zeitpunkt, Ortskoordinaten und Messungengenauigkeit festhalten, allerdings nur in Echtzeit und innerhalb der Sensorreichweite. Bei Handlungen im Cyber- und Informationsraum hingegen sind Ort und Zeitpunkt einer Wirkung in der physischen Welt versetzt. Das Vorhaben nutzt eine breite Spanne an Sensoren des FKIE und kombiniert diese in einem Demonstrator (siehe Abbildung 1).

Die Unterstützung des Missionsplanungsprozesses im Blick habend, wird in diesem Vorhaben eine fiktive Verleugung, angelehnt an Defender Europe 20, als Rahmen für die Evaluation gewählt. So können real gesammelte Daten und Erfahrungen aus der US-Verleugung einfließen. Hinzu kommen aktuelle Erkenntnisse aus der COVID-19-Pandemie sowie den damit zusammenhängenden Protestbewegungen. Durch die Zusammenführung in einen übergreifenden Use Case entsteht die Möglichkeit, die Lösung für eine Missionsplanung mit vielfältigen Facetten zu evaluieren.

Der Mehrwert für die militärischen Nutzer entsteht durch die umfassende Unterstützung unterschiedlicher Rollen in



Abb. 3: Dashboard zur explorativen Datenanalyse für den Sensor „Social Media Analysis“

Missionsplanung und -durchführung. Von der sensornahen Datenvorverarbeitung durch Aufklärer über die Lagebewertung durch Experten und Analysten bis hin zur Zusammenführung in einer übergreifenden Lage findet die Aufbereitung statt. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen beispielsweise unterschiedliche Ansichten für die explorative Datenanalyse durch Experten und Analysten für die Einschätzung der Bedrohungslage in Cyber- und Informationsraum. Eine durchgängige Lösung entsteht durch die rollenspezifische Einbindung mobiler Endgeräte sowie Schnittstellen zu bestehenden Missionsplanungs- und Führungsinformationssystemen (siehe Abbildung 1).

Grundsatz der Lösung ist, dass die Nutzer in ihren unterschiedlichen Rollen bestmöglich unterstützt werden, jedoch keine Vollautomatisierung vorgesehen ist. Datenumfang und Komplexität bei der Erkennung und Bewertung von hybriden Bedrohungen können nur durch die geeignete Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine adressiert werden. Die Ausgestaltung dieses Zusammenspiels wird intensiv mit unterschiedlichen Stakeholdern (siehe Abbildung 4) abgestimmt.



Abb. 4: Stakeholder der Bundeswehr und internationaler Einrichtungen

TRDir Stefan Rechmeier
 Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung
 der Bundeswehr (BAAINBw)
 Koblenz

BAAINBwPosteingang@bundeswehr.org

Interoperables Cloud Computing (IOCC)

Die Studienergebnisse „Interoperables Cloud Computing (IOCC)“ haben grundlegende Erkenntnisse und technologische Grundlagen für die Einführung von Cloud-Computing in die Bundeswehr aufgezeigt und damit wertvolle Beiträge für die Etablierung einer zukunftssicheren IT-Infrastruktur geliefert. Nach Abschluss der Studienaktivitäten werden diese Ergebnisse unmittelbar im HERKULES Folgeprojekt aufgegriffen und umgesetzt.

Die seit 2012 etablierte F&T-Studienreihe IOCC wurde in 2020 beendet. Aus den ursprünglich auf die zunächst theoretische Analyse von Cloud Technologien für den Einsatz in der Bundeswehr angelegten Studienaktivitäten sind mittlerweile konkrete technische Ansätze sowie die unmittelbare Erprobung dieser Ansätze hervorgegangen.

Die in 2019 untersuchte Multivendorenfähigkeit des VMware Cloud Stacks konnte in der auf Hardware unterschiedlicher Vendoren implementierten Cloud Demonstratorumgebung mittels verschiedener Testszenarien als tragfähig bestätigt werden. Diese Umgebung steht nunmehr einsatzbereit zur Verfügung und kann für die Erprobung von Anwendungsfällen inklusive zugehöriger Softwareanwendungen genutzt werden.

Ein Schwerpunkt der Studienreihe IOCC in 2020 lag in der Erprobung von Container Plattform Komponenten auf Basis VMware PKS unter Nutzung Kubernetes Cluster wie in Abbildung 1 dargestellt. Dieses Konglomerat wird wesentliche Anteile der zu etablierenden Cloud Infrastruktur darstellen,

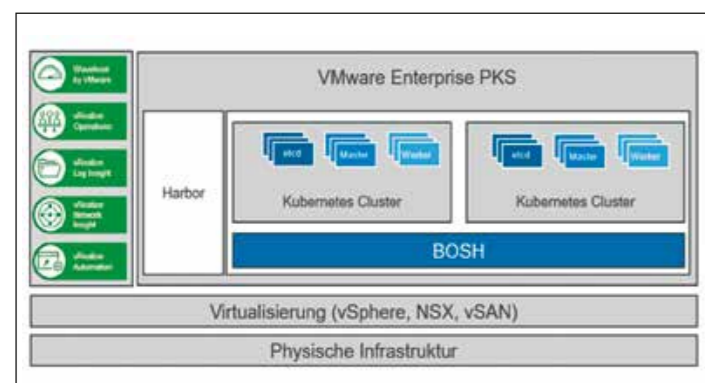


Abb. 1: Container Plattform (Quelle: BWI GmbH)

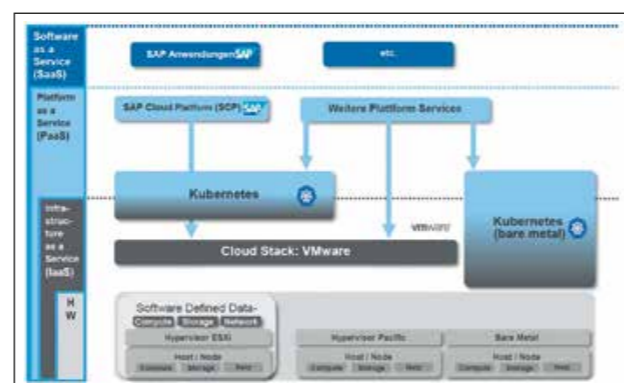


Abb. 2: Architektur pCloudBw (Quelle: BWI GmbH)

auf die bestehende IT-Services/Anwendungen der Bundeswehr migrieren werden.

Die zugrundeliegende Architektur über Hardware (Compute, Storage, Network), Infrastruktur as Services (VMware und Kubernetes) und Plattform Service-Anteile (hier beispielhaft die SAP Cloud Platform (SCP)) hin zur Anwendungsschicht (SaaS) ist die Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 3 gibt einen Einblick in das funktionale Zielbild der Cloud Infrastruktur. Wesentliche Anteile dieses Zielbildes werden ab 2021 im Rahmen einer Leistungserweiterung (wir Experten nennen es Lösungsincrement) des HERKULES Folgeprojektes (HFP) mit dem primären IT-Dienstleister der Bundeswehr BWI umgesetzt. Diesbezüglich stehen technische IT-Services ebenso im Fokus der Betrachtungen wie Services, die sich mit der Migration bestehender Anwendungen auf eine Cloud basierte IT-Infrastruktur beschäftigen.

Technische IT-Services betreffen die Anteile Storage, Virtualisierung, Operating System (OS) und Container auf der Infrastrukturebene. Darüber hinaus werden Plattformdienste wie VDI (Virtual Desktop Infrastructure), Big Data und Web Application Platform adressiert. Geo Information Services (GIS) und SAP Services stellen weitere nutzerbezogene IT-Services bereit, für die die Cloud eine infrastrukturelle Basis liefern wird.

Die Studienreihe IOCC hat für alle der genannten Services substantielle Beiträge liefern können, die die weitere Entwicklung hin zur vollumfänglichen Cloud Infrastruktur entscheidend prägen werden.

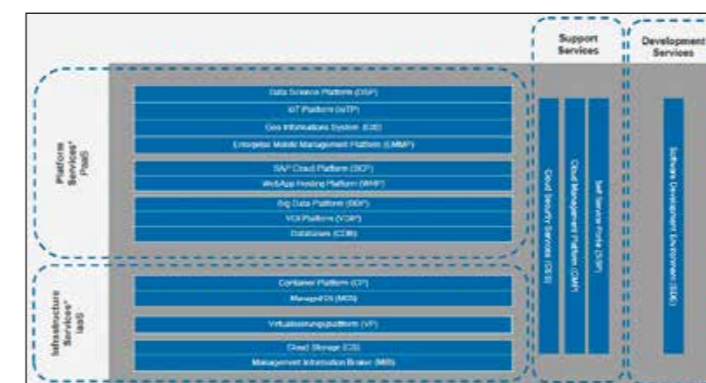


Abb. 3: Funktionales Zielbild pCloudBw (Quelle: BWI GmbH)

Cloud Computing wird wesentlichen Einfluss auf die künftige Ausprägung der IT-Infrastruktur der Bundeswehr entfalten. Einerseits werden die technischen Rahmenbedingungen hinsichtlich Leistungsaufnahme und Klimatisierung die bauliche und physikalische Ausgestaltung des Rechenzentrumsverbunds für den Geschäftsbereich des BMVg (RzV GB BMVg) entscheidend prägen. Auf der anderen Seite sind es Aspekte wie Skalierbarkeit, Self Service und Prozesse der Serviceanpassung (Stichwort: DevOps), die vor allem organisatorische Konsequenzen nach sich ziehen werden.

DevOps (Development & Operations) und die damit verbundene agile Vorgehensweise (Abbildung 4) werden darüber hinaus Auswirkungen auf die Bereitstellungsmechanismen von Softwareprodukten haben. Überlegungen zur damit einhergehenden CI/CD-Pipeline (Continuous Integration & Continuous Delivery/Deployment) waren ebenfalls Gegenstand der F&T-Studie IOCC.

Technologische Weiterentwicklungen (z. B. Bare Metal (aka Metal as a Service (MaaS))) werden die IT-Infrastruktur ebenso beeinflussen wie organisatorische Überlegungen (Migrationspläne) auf der Umsetzungsebene. Im Rahmen dieser Überlegungen wird der ebenfalls im Rahmen IOCC entwickelte Prozess „Migration as a Service“ vor dem Hintergrund der ebenfalls aus IOCC heraus abgeleiteten Cloud-Computing Referenzarchitektur für die Bundeswehr (CCRABw) herangezogen.

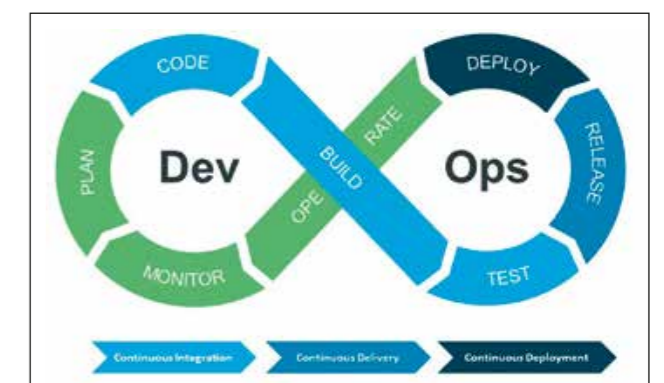


Abb. 4: DevOps (Quelle: BWI GmbH)

Wetterdatensteuerung

„Train As You Fight – Fight As You Train“ – Das Beachten von Wetterauswirkungen auf militärische Operationen ist unabdingbar, in Realität sowie Ausbildung und Übung. Eine Fähigkeitslücke hierbei betrifft Simulationssysteme des Heeres (SimSys). Mithilfe von Modelldaten des Deutschen Wetterdienstes soll diese für das konstruktive SimSys GUPPIS geschlossen werden, perspektivisch auch für weitere SimSys und Simulatoren.

Der Erfolg jedweder militärischen Operationsplanung und -durchführung ist in starkem Maße abhängig von der Berücksichtigung unterschiedlichster Geofaktoren. Neben topographischen, geologischen oder biologischen Faktoren kommt der Berücksichtigung des Wetters eine besondere Bedeutung zu (Abb. 1). So beeinflussen meteorologische Faktoren u. a. die generelle Einsatzfähigkeit von Waffensystemen, Aufklärungssystemen, Truppenteilen und Einsatzgeräten, sowie deren effektive Wirkung (Abb. 2). Bisher werden Wettererscheinungen in den Simulationssystemen des Heeres nur rudimentär und ohne physikalische Plausibilitätsprüfung abgebildet, wobei Verläufe einzelner physikalischer Größen unabhängig voneinander definiert werden müssen, sodass zum Beispiel ein Schneefallereignis direkt nach sommerlichen Bedingungen eintreten kann.

Ziel des Projektes Wetterdatensteuerung ist es, die Simulationssysteme des Heeres mittels einer eigenständigen Software-/Datenbanklösung mit realistischen Auswirkungsdaten für die abgebildeten Entitäten mit verschiedenen, regionsspezifischen, sich räumlich sowie zeitlich dynamisch ändernden Wetterlagen



Abb. 1: Gewitter – ein stark lokal begrenztes Phänomen mit starken Auswirkungen (Quelle: Pixabay)



Abb. 2: Radfahrzeug unterwegs bei schwierigen Untergrundbedingungen

zu versorgen. Abgebildet bzw. errechnet werden sollen die Auswirkungen der Wetterbedingungen auf militärische Operationen, um den beübten Ebenen bzw. Stäben ein realitätsnahes Lagebild stellen zu können. Ziel der ersten Entwicklungsstufe der Wetterdatensteuerung ist die initiale Versorgung des konstruktiven Simulationssystems GUPPIS, welches am Gefechtssimulationszentrum des Heeres (Abb. 3) neben einem weiteren konstruktiven Simulationssystem und einem virtuellen Simulationssystem betrieben wird, im operativen Betrieb zu realisieren. Zudem wird damit das theoretisch erarbeitete und exemplarisch in Studien belegte Prinzip der Berechnung der Auswirkungen außerhalb des Simulationssystems sowie die Bereitstellung über ein definiertes, standardisiertes Ausgabeformat umgesetzt und für den operativen Betrieb verifiziert. Darauf aufbauend sollen zukünftig weitere Simulationssysteme und ggf. Simulatoren mit diesen Daten versorgt werden können.

Als Quelldaten werden die Daten von numerischen Wettermodellen des Deutschen Wetterdienstes im standardisierten Austauschformat sowie waffensystemspezifische Einsatzgrundsätze, taktische Einsatzgrundsätze sowie technische Eigenschaften Verwendung finden. Diese Quelldaten werden in einer Dateistruktur für eine spätere Verwendung gespeichert. Es wird keine Echtzeitversorgung mit zum Zeitpunkt der Simulation aktuell herrschenden Wetterbedingungen geben. Vielmehr werden sich meteorologische Bedingungen dem Ausbildungsziel unterordnen. Somit können auch Extremwetterereignisse simuliert werden.

Die Auswirkungsdaten werden anlassbezogen, orientiert an beteiligten Systemen bzw. Entitäten, Übungszweck und -ziel aus den archivierten Wetterdaten a priori erzeugt und dem

Simulationssystem als Ausgangsdatensatz zur Verfügung gestellt. Zur Qualitätssicherung und Plausibilitätsprüfung wird es ein Modul zur Visualisierung und Editierung der Auswirkungsdaten geben, mit Hilfe dessen auch Briefingunterlagen für die beübte Ebene erzeugt werden können. Erste abgenommene Arbeitspakete sind das Grobkonzept sowie das daraus entwickelte, präzisiertere Feinkonzept, in welchem Softwarearchitektur, Schnittstellendesign, Benutzerschnittstelle, Use-Cases und Formate detailliert beschrieben sind.

Anstehende Aufgaben sind die Entwicklung der simulationspezifischen Auswirkungsmodelle (SiAM), der Benutzerschnittstelle, die browserbasiert ausgelegt ist und der Rahmensoftware, die alle Module unter einer Oberfläche vereint. Der Projektabschluss ist für das vierte Quartal 2021 geplant.



Abb. 3: Gefechtssimulationszentrum Heer (Quelle: Gefechtssimulationszentrum Heer)

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

info@fkie.fraunhofer.de

CWIX unter COVID-19 Bedingungen – Die Perspektive der Communications Focus Area

Aufgrund von COVID musste die NATO CWIX (Coalition Warrior Interoperability Exercise) von Bydgoszcz in Polen auf eine dezentrale Online-Veranstaltung umgestellt werden. Diese gravierende Änderung in der letzten Planungsphase stellte die Communications Focus Area mit ihren Low-Level-Netzwerk- und taktischen Experimenten vor besondere Herausforderungen, die mittels spezieller VPN-Lösungen und einer verteilten Online-Datenanalyse bewältigt wurden.

Die CWIX ist die wichtigste Interoperabilitätsveranstaltung der NATO. Die auf der CWIX vertretenen Führungs- und Informationssysteme umfassen das gesamte Spektrum der Kommunikation und Informationsverarbeitung und stellen die aktuellen und zukünftigen Fähigkeiten der NATO und ihrer Partnerstaaten experimentell dar.

Traditionell konzentrierte sich die CWIX auf Interoperabilitätstests der strategische Ebene mit drahtgebundener Netzwerkinfrastruktur. Ein wichtiger Fokus ist dabei das Federated Mission Networking (FMN), dessen Entwicklung nach einem Spiralmodell erfolgt. Spirale 4 befasst sich dabei als erste mit dem taktischen Bereich und Mobilität. Die daraus resultierenden neuen Anforderungen und Schnittstellen müssen von den unteren Funk- und Netzwerkschichten bis hin zu den Anwendungen berücksichtigt werden.

Ein Schwerpunkt der Communications Focus Area (Comms FA) in Bezug auf FMN lag für 2020 auf der Verifizierung von Spiral 4 mit Erweiterungen des Protected Core Networking (PCN) und dem Joined Dismounted Soldier System (JDSS) als erster Schritt



Abb. 1: Fahrzeugexperimente mit Funk



Abb. 2: Wellenform Interoperabilitätstests

in den taktischen Bereich. Darüber hinaus legte die Comms FA den Grundstein für die Erforschung von taktischen Technologien im Zusammenhang mit Spiral 5+.

Auch im Rahmen einer normalen CWIX-Übung haben die Experimente in der Comms FA besondere Planungsanforderungen, bspw. Antenneninstallationen für Funkgeräte (siehe Abb. 1 a/b) und die Planung und Beantragung militärischer Frequenzen. Diese Schritte wurden bereits durchgeführt, als während der finalen Planungskonferenz die Entscheidung für eine vollständig verteilte CWIX 2020 aufgrund von COVID-19 getroffen wurde. Innerhalb eines kurzen Zeitraums musste eine Alternative für kolokalisierte Experimente gefunden werden. Um dies zu erreichen, wurden dedizierte Layer-2 Virtual Private Networks (VPN) entworfen und eingerichtet (siehe Abb. 2), die virtuelle Ethernet-Kabel zwischen den verteilten Laboren ermöglichen. Darüber hinaus wurden Funknetz-Emulatoren und ein spezielles Framework zur Datenerfassung und Echtzeitanalyse eingerichtet. Für JDSS-Tests war die Layer-3-CWIX-VPN-Infrastruktur ausreichend.

Um den Explorationsprozess z. B. für FMN Spiral 5+ zu unterstützen, sind zudem detaillierte Einblicke in das Experiment von Vorteil. Dies gilt hier besonders, um den gewohnt hohen Standard für die Dokumentation der Experimente im neuen verteilten Umfeld aufrechtzuerhalten. So wurde in diesem Jahr auch kurzfristig eine skalierbare Mess- und Analyseinfrastruktur im Layer-2 VPN eingeführt, die die Datenerfassung und Korrelation über mehrere Layer, eine einheitliche Datenverteilung und -protokollierung, Mechanismen zur Verarbeitung/Analyse/Speicherung von Informationen mit Hilfe von Big-Data-Mechanismen und die Live-Visualisierung von Daten unterstützt.

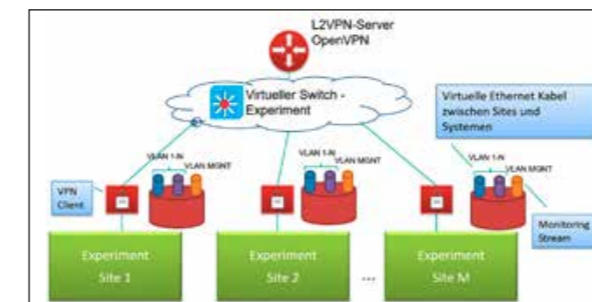


Abb. 3: Layer-2 VPN Aufbau

Ein Beispiel für eine Live-Visualisierung und Analyse eines Routing-Experiments im taktischen Bereich mit zwei nationalen und einer gemeinsamen Koalitions-Domäne ist in Abb. 3 dargestellt. Es wurde eine Spaltung des Funknetzes innerhalb einer der nationalen Domäne durchgeführt, so dass die andere nationale Domänen als Transit fungierte. Dies wurde mittels OLSRv2 als Koalitions-Routing-Protokoll umgesetzt. Die resultierende Netzwerktopologie inklusive einer Datenflussanalyse ist in Abb. 4 dargestellt.

So wurde durch die Einführung von Layer-2-VPNs für Netzwerexperimente zwischen verteilten Labors und eine zusätzliche Integration von Live-Experiment-Analysemechanismen die erfolgreiche Ratifizierung von FMN Spiral 4 und eine solide Basis für Spiral 5+ im taktischen Bereich sichergestellt. Darüber hinaus dienen diese Maßnahmen dem Aufbau einer langfristig nutzbaren Infrastruktur für die Vorbereitung von Experimenten innerhalb der verschiedenen FMN Communities auch zwischen den CWIX-Übungen und für eine mögliche zukünftige hybride CWIX.

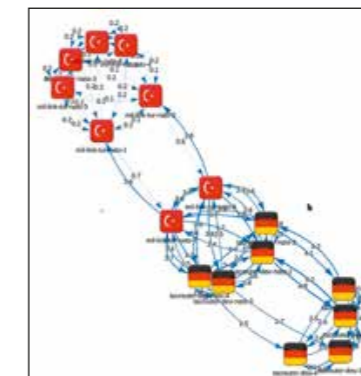


Abb. 4: Koalitionsnetz vor nationalem Split

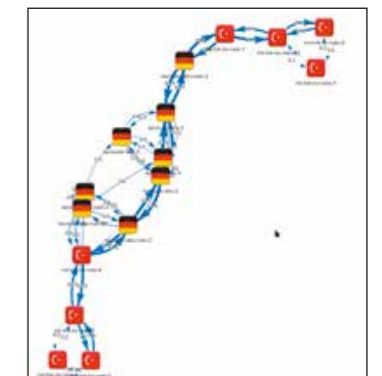


Abb. 5: Koalitionsnetz nach nationalem Split

Dr. Volker Krebs
Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik
und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw)
Koblenz

BAAINBwPosteingang@bundeswehr.org

Ronny Schröder
Atos SE Deutschland
München

info@atos.net

Automatisierung und Künstliche Intelligenz am Beispiel der Forschungsstudie „ErzUntGlas“

Während aktuell im Rahmen der Digitalisierung landbasierter Operationen (D-LBO) die Basis zur vernetzten Operationsführung realisiert wird, wird in der Forschungsstudie „ErzUntGlas“ (Erzeugung eines gläsernen Gefechtsfeldes zur Unterstützung dynamischer Operationen) die Automatisierung auf dem zukünftigen Gefechtsfeld untersucht.

Bis 2023 soll taktisches Teaming zwischen Soldaten und unbemannten fliegenden Systemen an realen Szenarien zusammen mit dem Heer unter Einsatzbedingungen gezeigt werden. Während es für den Nutzer von solchen Systemen eine ergonomische Herausforderung sein wird, ist es technologisch der Schritt in die Automatisierung von Prozessen mit Hilfe von unterschiedlichsten Arten von künstlicher Intelligenz.

In einem ersten Demonstrationsversuch wurde jetzt gezeigt, wie die unterschiedlichen Systeme zusammenwirken. Das physikalische taktische Netzwerk besteht aus militärischen und zivilen Funkkomponenten, realisiert durch ein Software Defined Radio mit einem stand-alone funktionsfähigen Mobilfunksystem. Da sich die Netzwerktopologie im Einsatz ständig ändern wird, werden KI-Verfahren für optimiertes Routing verwendet.

Von dieser physikalischen Schicht werden davon unabhängige Microservices verwendet, um diensteorientiert über standardisierte Schnittstellen weitere Führungsinformationssysteme anzubinden, was beispielhaft für den Infanteristen der Zukunft



Abb. 1: Infanterist der Zukunft mit Führungssystem TACNET



Abb. 2: Vernetzung von unterschiedlichen Führungssystemen

Matthias Kopp
Atos SE Deutschland
München

info@atos.net

(Tacnet, Abb. 1) und ein israelisches taktisches Führungssystem (Fireweaver) gezeigt wurde (Abb. 2).

Neben dieser Integration von menschlichen Nutzern eines solchen Systems (Infanteristen, Besatzungen von Gefechtsfahrzeugen, Gefechtsstände) werden die unbemannten Systeme eingebunden, die sowohl für zur Verbesserung der physikalischen Verbindung mit Hilfe von Kommunikationsdrohnen als auch für die automatisierte Aufklärung verwendet werden. Was momentan noch spezialisierte Luftbildauswerter durchführen, wird zukünftig ein Deep-Learning Mechanismus in jeder Aufklärungsdrohne übernehmen und eine Vorklassifikation vornehmen.

Bei diesem Demonstrationsversuch in einem Testlabor wurden beispielhaft Personen detektiert, die über die Drohnensensorik erkannt und ins System eingebunden wurden. Beim späteren Einsatz von bis zu 16 unbemannten Systemen im Einsatz besteht dann die Herausforderung darin, den Bediener bei der Verifikation der Ergebnisse intelligent zu unterstützen und laufend ein aggregiertes Gesamtbild zu erzeugen für ein gläsernes Gefechtsfeld.

Die Routen für die Aufklärungsdrohnen werden hierbei durch eine Schwarmintelligenz abhängig von dem Geschehen am

Boden durchgeführt, wobei zwischen taktischen „High-Level“-Befehlen wie Angriffs-, Rundum- oder Verteidigungsszenarien unterschieden werden kann (Abb. 3).

Neben dieser reinen Aufklärungsfähigkeit können solche Systeme wie ErzUntGlas zusätzlich verwendet werden, um den Bekämpfungsprozess zu beschleunigen, wenn die entsprechenden Rollen und Prozesse wie Sensor, Shooter und Freigabe im System definiert sind. Hier wird der Mensch in der Prozesskette gehalten, während die Aufklärungsketten zunehmend automatisiert ablaufen.

So oder so ähnlich könnten zukünftig unsere Kampfeinheiten informationstechnisch ausgerüstet werden.

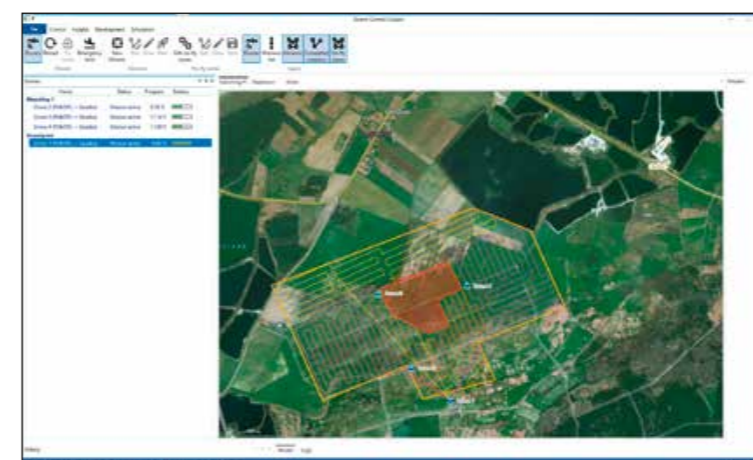


Abb. 3: Beispielhafte Wegplanung für einen Drohnenschwarm

TRDir Uwe Krosta
Wehrtechnische Dienststelle für Informationstechnologie und Elektronik
Greding

TROAR Wilfried Stautner
Wehrtechnische Dienststelle für Informationstechnologie und Elektronik
Greding

WTD81posteingang@bundeswehr.org

WTD81posteingang@bundeswehr.org

Multilateral Interoperability Programme (MIP)

Ziel von MIP ist es, einen einheitlichen Standard für den Datenaustausch zwischen heterogenen Führungsinformationssystemen zu entwickeln, damit diese multinationale und teilstreitkräfteübergreifende Einsätze effektiv unterstützen können. Mit der in diesem Jahr verabschiedeten neuen Version des Standards wurden wichtige Verbesserungen erzielt.

Bei internationalen Einsätzen z. B. im Rahmen der NATO spielt die Kommunikation zwischen den beteiligten Nationen eine wichtige Rolle. Diese findet über Führungsinformationssysteme (FüInfoSys) statt, mit denen das aktuelle Lagebild oder Befehle und Meldungen ausgetauscht werden. Da die einzelnen Nationen unterschiedliche FüInfoSys verwenden, ist ein einheitlicher Standard für den Datenaustausch erforderlich.

Hier setzt das „Multilateral Interoperability Programme“ (MIP) an, welches schon vor über zwanzig Jahren ins Leben gerufen wurde und das seine Lösung kontinuierlich hinsichtlich neuer operationeller Anforderungen und technologischer Fortschritte weiterentwickelt. Im MIP arbeiten aktuell 23 Nationen, die European Defence Agency (EDA) und das NATO Allied Command Transformation (ACT) zusammen. Ziel von MIP ist es, die semantische Interoperabilität zwischen heterogenen FüInfoSys herzustellen, damit diese multinationale und teilstreitkräfteübergreifende (Joint-Combined) Einsätze effektiv unterstützen können.

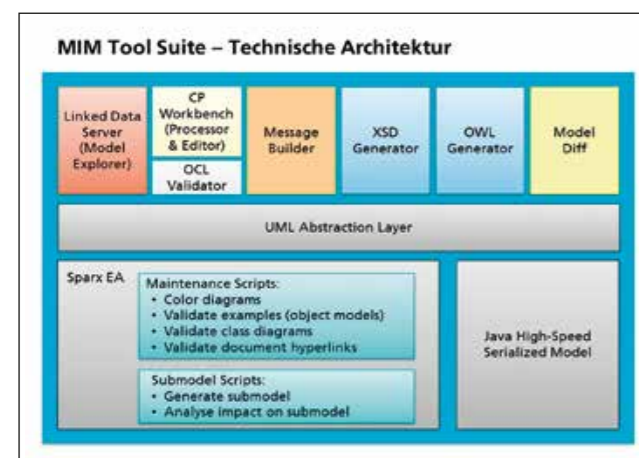


Abb. 1: Die MIM Tool Suite (Quelle: Fraunhofer FKIE)

Wichtige Produkte von MIP sind das „MIP Information Model“ (MIM) sowie die darauf aufbauende „MIP 4 Information Exchange Specification“ (MIP4-IES). An der Entwicklung beider Produkte hat von deutscher Seite das Fraunhofer FKIE maßgeblich mitgewirkt.

Das MIM ist ein Informationsmodell für den Austausch von Führungsinformationen. In den letzten Jahren wurde es stetig weiterentwickelt. Im Oktober 2020 hat MIP die Version 5.1 des MIM veröffentlicht, welche u.a. die Beschreibung von Sensoren, abgesehenen Soldaten und taktischen Zeichen besser unterstützt. Darüber hinaus deckt das MIM 5.1 weitere Anforderungen der Luftwaffe ab, welche über das Luftwaffentruppenkommando in die Standardisierung eingebracht wurden.

Gleichzeitig wurden zahlreiche Werkzeuge entwickelt, um die Modellierungsarbeiten am MIM zu unterstützen und die Verwendung des MIM zu vereinfachen. Als Beispiel sei der sog. „Message Builder“ genannt, der es ermöglicht, Meldungsformate als XML-Schemata basierend auf dem MIM zu erstellen. Die Werkzeuge wurden in der MIM Tool Suite zusammengefasst (Abbildung 1).

Die „MIP 4 Information Exchange Specification“ (MIP4-IES) beschreibt den auf Web Services basierenden Informationsaustausch, für welchen das MIP Information Model die semantische Grundlage bildet. Im Oktober 2020 wurde die neueste Version 4.3 veröffentlicht. Sie nutzt das zeitgleich verabschiedete MIM 5.1 als Grundlage. Aufgrund der positiven Ergebnisse der verschiedenen Tests, die im Laufe des Jahres durchgeführt wurden, wurde die MIP4.3IES als neuer Austauschstandard für den Bereich „Land C2“ in die Spiral 4 des Federated Mission

Networking (FMN) der NATO aufgenommen. Sie löst damit die MIP Baseline 3.1 aus dem Jahr 2012 als neuen FMN-Standard ab.

Die Arbeiten in MIP erfolgen in den MIP Working Groups (WG), die sich viermal im Jahr an der WTD 81 in Greding als International Test Site treffen (Abbildung 2). Die WTD 81 unterstützt diese Veranstaltungen administrativ (z.B. Besuchskontrollverfahren) und mit der Bereitstellung und Betreuung einer eigenen IT-Infrastruktur. Diese setzt sich aus zwei Netzwerken zusammen: Das MIP-Konferenz-LAN stellt für die Besprechungen den Zugriff auf Dokumentenserver und Drucker zur Verfügung, während das MIP-Test-LAN für die technischen Experimente genutzt wird.

Bedingt durch die SARS-CoViD-19-Pandemie konnten die Working Groups in 2020 nicht mehr vor Ort tagen und testen. Die WTD 81 hat daher eine Online-Collaboration-Plattform installiert, so dass die Working Groups virtuell abgehalten werden konnten.

Mit der Verabschiedung der neuen Version 4.3 der MIP4-IES wurde ein wichtiger Meilenstein für das Projekt erreicht. Die zukünftige Ausrichtung von MIP ist noch in der Diskussion. Es ist aber zu erwarten, dass ein weiterer Ausbau des MIM in Richtung eines Joint-Modells erfolgen wird.



Abb. 2: MIP-Arbeitsgruppensitzung bei der WTD 81

Steffen Enders, M.Sc
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
 und Ergonomie FKIE
 Bonn

Dr. Eva-Maria Hols
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung
 und Ergonomie FKIE
 Bonn

kontakt@fkie.fraunhofer.de

kontakt@fkie.fraunhofer.de

Neue Techniken im Bereich Dekompilierung

Um den Analyseaufwand für unbekannte (Schad-)Software zu senken, beschäftigt sich eine Forschungskoope-
 ration zwischen Singapur und Deutschland mit der Erforschung neuer
 Techniken im Bereich Dekompilierung. Aufbauend auf bis-
 heriger Forschung des Fraunhofer-Instituts für Kommuni-
 kation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE wird
 ein neuer Dekompilierer erforscht, welcher mehrfach mit
 einer Nutzerstudie evaluiert wird bzw. werden soll.

2019 wurden laut dem Malware Statics & Trends Report
 (AV-TEST GmbH) mehr als 100 Millionen neuartige Malware
 Samples entdeckt, welche Herausforderungen für Sicherheits-
 behörden weltweit darstellen. Um dem entgegenzuwirken,
 wurde Ende 2019 eine Forschungskoope-
 ration zwischen
 Deutschland und Singapur mit dem Hauptziel der Erkennung
 und Analyse von Malware etabliert. Da Malware üblicherweise
 nur in Binärrepräsentation ohne Quellcode vorliegt, ist der
 Fokus der Kooperation Dekompilierung. Dabei rekonstruiert
 ein Dekompilierer Strukturen und produziert aus der Binär-
 repräsentation wieder eine Quelltext-artige Ausgabe. Dadurch
 werden Analysen der Malware deutlich vereinfacht und der
 Analyseaufwand für unbekannte Binärdateien erheblich
 reduziert.

Das Fraunhofer FKIE hat bereits vor einiger Zeit den viel-
 versprechenden Ansatz DREAM++ für die Restrukturierung
 von Kontrollflussgraphen entwickelt. Dieser Ansatz dient als
 Grundlage zu weiterer Forschung im Bereich Dekompilierung.
 Dazu wurde der Ansatz DREAM++ in bestehende Dekompilierer
 integriert und sukzessive weiterentwickelt. Ursprünglich wurde

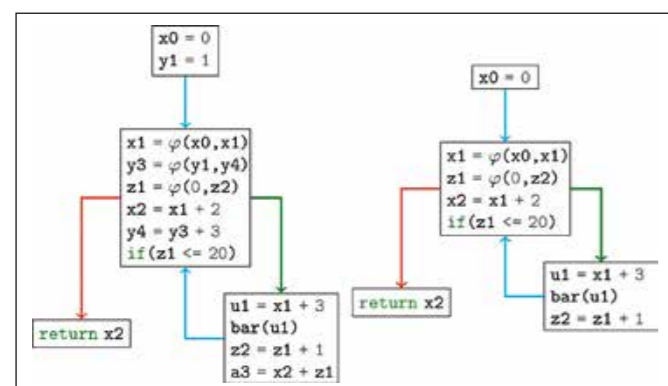


Abb. 1: Beispiel für Dead Code Elimination. Auf der linken Seite der Kontroll-
 flussgraph vor und auf der rechten Seite nach Dead Code Elimination

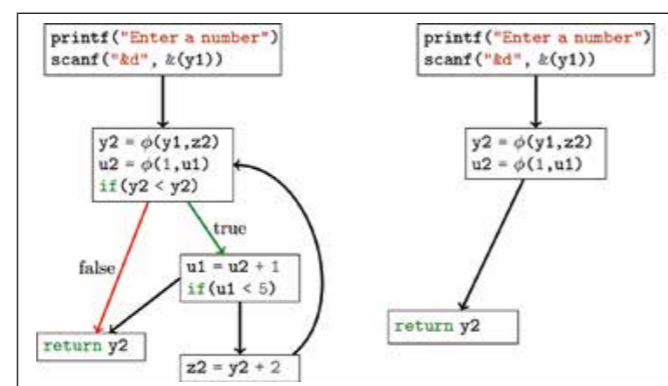


Abb. 2: Beispiel für Dead Path Elimination. Auf der linken Seite der Kontroll-
 flussgraph vor und auf der rechten Seite nach Dead Path Elimination

DREAM++ in den Hex-Rays Dekompilierer integriert. Nach-
 dem mittlerweile weitere Dekompilierer entwickelt wurden,
 fiel nach einer Evaluation die Wahl auf Binary Ninja als Platt-
 form für die weitere Forschung. Ausschlaggebend dabei waren
 die stabile und gut dokumentierte API und die Möglichkeit
 schnell neue Algorithmen für den Dekompilierer zu entwickeln.

Basierend auf der Zwischenrepräsentation von Binary Ninja
 wurde mittels des DREAM-Ansatzes ein neuer Dekompilierer
 namens dewolf erschaffen. In diesem Zuge wurden sowohl
 fundamentale Algorithmen, wie das Propagieren von Ausdrücken
 und Löschen von totem Code, als auch einige Verbesserungen
 und neue Algorithmen implementiert. Dadurch ist es gelungen,
 die Qualität des Dekompilats in Bezug auf Korrektheit und
 Lesbarkeit zu verbessern.

Ein Beispiel für eine solche Qualitätsverbesserung über einen
 verbesserten Algorithmus ist das Löschen von totem, also un-
 genutztem, Code. Im verbesserten Algorithmus werden auch
 Variablen gelöscht, die ausschließlich voneinander abhängen
 und sonst nicht verwendet werden. Dies ist in Abb. 1 beispielhaft
 dargestellt. Die Variablen y1, y2 und y4 hängen voneinander ab,
 weshalb sie in den vorherigen Algorithmen nicht als tot erkannt
 wurden. Ebenfalls verbessert wurde bspw. die Rekonstruktion
 von Switch-Statements.

Zusätzlich zu den Verbesserungen konnten neue Ansätze,
 wie das Auflösen von Identitäten und das Löschen von toten
 Pfaden, entwickelt werden. Letzteres funktioniert ähnlich
 zum Löschen von totem Code, allerdings werden anstelle von
 ungenutztem Code Pfade entfernt, die niemals erreicht werden.
 Ein Beispiel dafür ist in Abb. 2 dargestellt. Da die Bedingung

$y2 < y2$ immer falsch ist, wird ein Teil des Codes niemals erreicht
 und kann daher zugunsten einfacherer Struktur und Analyse
 entfernt werden.

Um den aktuellen Stand des Dekompilierers dewolf zu evalu-
 eren, wurde Ende Oktober eine Nutzerstudie durchgeführt.
 Im Rahmen dieser wurde dewolf mit dem aktuellen Stand der
 Technik verglichen. Als Vergleichswerkzeuge dienten dabei
 Hex-Rays IDA Pro und der Open-Source Dekompilierer Ghidra.
 Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass der entwickelte For-
 schungsdemonstrator schon ein ähnliches Niveau wie am Markt
 etablierte Dekompilierer erreicht. Dies zeigt das Potential des
 Forschungsansatzes.

Im ersten Teil der Studie wurden Ausgaben von einem der drei
 Dekompilierer gezeigt. In Abb. 3 kann beobachtet werden, dass
 die Ausgabe von dewolf bezogen auf das Verständnis scheinbar
 ähnlich gut ist wie von IDA Pro, während die Ausgabe von Ghidra
 scheinbar schlechter ist. Die Rekonstruktion des Kontrollflusses
 durch dewolf wurde als am natürlichsten bewertet.

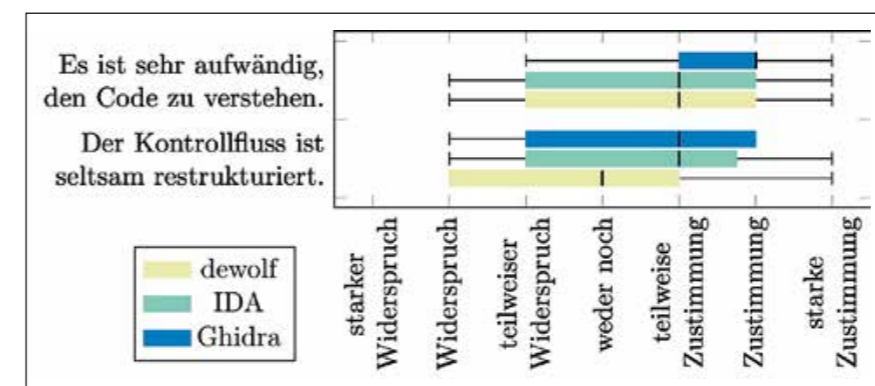


Abb. 3: Survey-Resultate für zwei Fragen der Decompiler-Survey, bei der drei Decompiler
 miteinander verglichen wurden

TORR Dipl.-Ing. Florian Johannes Wörner
Wehrtechnische Dienststelle für Informationstechnologie
und Elektronik (WTD 81)
Greding

WTD81posteingang@bundeswehr.org

Dipl.-Ing. Robert Koch
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Erlangen

info@iis.fraunhofer.de

IP-Wellenformen

Software Defined Radios (SDRs) sind seit Jahren das Schlagwort für die Leistungsfähigkeit neuer Funkgeräte. Dank der SDR-Technologie werden Wellenform-Applikationen (WFAs) situations- und einsatzgerecht ladbar. Der besondere Mehrwert dieser Funkgeräte besteht darin, dass neben den alten Wellenform-Applikationen auch neue IP-fähige WFAs in diesen SDRs nutzbar sind.

Im Projekt Streitkräftegemeinsame Verbundfähige Funkgeräteausstattung (SVFuA) wird derzeit eine IP-fähige V/UHF Wellenform (Nationale Taktische Netzwerk WFA) beschafft und noch im Jahr 2020 der Truppe übergeben werden.

Die Fraunhofer Institute FKIE und IIS untersuchen eine flexible IP-fähige Wellenform, die schnelles Prototyping zulässt. So können die nationalen Interessen und Anforderungen an eine Wellenform bei internationalen Vorhaben besser eingebracht / vertreten werden. Für den modernen taktischen Einsatz sind solche schnell anzupassenden WFAs von großem Vorteil. Die flexible WFA FLIP zeichnet sich durch ein modulares, skalierbares und rekonfigurierbares Design mit Cross-Layer Schnittstellen aus. Seit 2016 sind FKIE und IIS mit IP-fähigen Wellenformen auf der CWIX vertreten. FLIP bietet inzwischen viele taktisch und operationell relevante, erfolgreich getestete, Fähigkeiten, wie simultane Übertragung von CNR-PTT-Sprache und Daten, Mobile Ad-hoc Networking (MANET) und den Einsatz von Quality-of-Service und Cross-Layer Interface Aspekten. Die nationalen Fähigkeiten im Bereich SDR und WFAs wurden weiterentwickelt. Neue Funktionalitäten, die heute in der

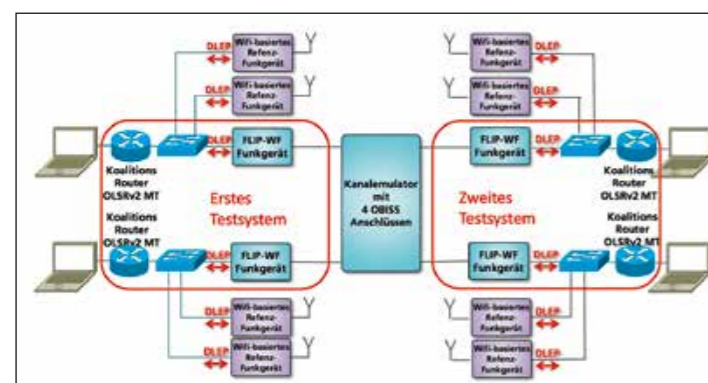


Abb. 1: Schematische Darstellung des Testaufbaus, bestehend aus den beiden Testsystemen mit jeweils zwei erweiterten Testgeräten, verschaltet durch einen Kanalemulator

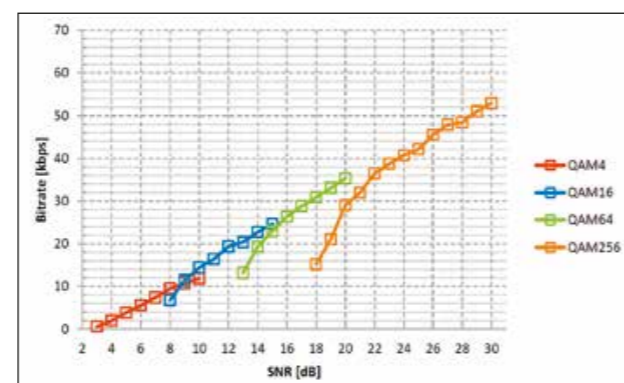


Abb. 2: Fehlerfrei übertragene Daten ohne Headerinformationen im MODERATE Kanal

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

info@fkie.fraunhofer.de

Bundeswehr eingeführte Funkgeräte nicht bieten, können nun erstmalig untersucht werden und neue Technologien lassen sich frühzeitig identifizieren, sowie schnell und kosteneffizient in der Praxis untersuchen.

In der Studie „FLIP-WF Phase 2“ wurde eine sog. Wellenform-Entwicklungs- und Portierungs-Plattform mit einem Pseudo-Kryptomodul speziell für die Bedürfnisse der FLIP angepasst. Diese ist von ihrer Architektur und ihren Eigenschaften an die SVFuA angelehnt. Die FLIP-WF wurde entsprechend der Spezifikationen der STANAG 5630 Edition 1 ergänzt und konnte auf der CWIX 2019 die Interoperabilität mit anderen Nationen (POL, BEL, NOR) erstmals nachweisen.

Das IIS hat im Projekt HDR-HF die Portierbarkeit und Leistungsfähigkeit moderner Breitband HF Wellenformen untersucht. Im Labor wurden die S/E-Module von SVFuA an die Testgeräte gekoppelt. Da das IIS die Entwicklung der OBSS Schnittstelle (Open Baseband Interface Specification for SDR), welche bei SVFuA verwendet wird, eng begleitete, konnte eine Inbetriebnahme über die bekannten Protokolle problemlos und zeitnah stattfinden. Lediglich wenige Anpassungen im protokollarischen Verhalten mussten in der Software der Testgeräte korrigiert werden, dann konnte der Kommunikationstest starten. Die Leistungsfähigkeit dieser WFA wurde im Labor und in Feld-

versuchen vermessen. Mittels eines vom IIS proprietärem IP-Gateways konnten die höheren IP-Schichten angebunden werden. Das Besondere ist der im Data Link Processor verwendete Automatic Repeat Request (ARQ) Algorithmus. Dieser gewährleistet eine zuverlässige Datenübertragung und basiert auf einer Fehlerdetektion und einem Rückkanal, mit dessen Hilfe korrekte Daten bestätigt und fehlerhafte erneut angefordert werden. So kann das System die Coderate entsprechend der Kanaleigenschaften dynamisch anpassen. Je größer das Signal zu Rausch Verhältnis (SNR) ist, desto größer die Coderate und dementsprechend auch die Datenrate.

In zwei Feldversuchen wurde die HDR-HF auf einer Funkstrecke zwischen der WTD 81 und der WTD 71 getestet. Es wurden zahlreiche Tests mit variierenden Modulationen und Codierungen durchgeführt. Alle Modulationen von 4-QAM bis zu 256-QAM kamen zur Anwendung. Durch die Hybrid-ARQ Technologie konnten Schwankungen im SNR beim Test sehr gut kompensiert werden. Die Wellenform passte sich dynamisch an die Eigenschaften des Übertragungskanal an und variierte die Coderate on the fly.

Es konnte gezeigt werden, dass breitbandige Kommunikation in der Kurzweile möglich ist und die Anwendbarkeit für IP-basierte Netzwerke gegeben ist.

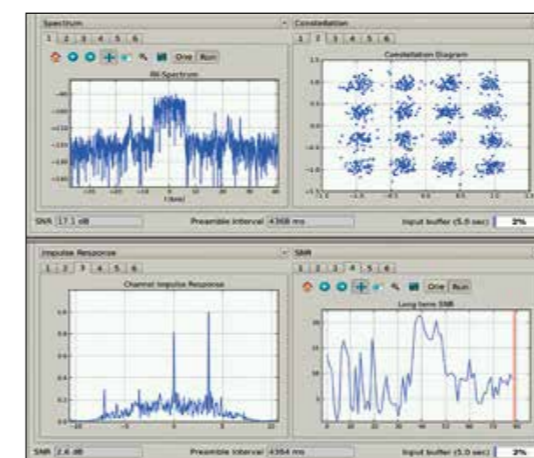


Abb. 3: Verschiedene Darstellungen der HDR-HF Wellenform



6

Anhang





Bundesministerium
der Verteidigung

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

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

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

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

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

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

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

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



Bundesamt für Ausrüstung, Informations-
technik und Nutzung der Bundeswehr
(BAAINBw)
Ferdinand-Sauerbruch-Straße 1
56073 Koblenz
Tel.: +49 (0) 261 / 400 - 0
Fax: +49 (0) 261 / 400 - 3866
E-Mail:
BAAINBwPosteingang@bundeswehr.org
Internet: www.baainbw.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
85579 Neubiberg
Tel.: +49 (0) 89 / 60 04 - 0
Fax: +49 (0) 89 / 60 04 - 35 60
E-Mail: info@unibw.de
Internet: www.unibw.de



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



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



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



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



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



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



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



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



Zentrum für Militärgeschichte und
Sozialwissenschaften der Bundeswehr
Zeppelinstraße 127/128
14471 Potsdam
Tel.: +49 (0) 331 / 97 14 - 501
Fax: +49 (0) 331 / 97 14 - 507
E-Mail: ZMSBWEingang@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



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: https://instmikrobiobw.de



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:
zentrlurmedlwpresseoea@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation



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



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



Deutsch-Französisches
Forschungsinstitut Saint-Louis
Postfach 1260
79547 Weil am Rhein
5, rue du Général Cassagnou
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




Zentrum für Softwarekompetenz der Bundeswehr
Geierstraße 7
53881 Euskirchen
Tel.: +49 (0) 22 55 / 9 45 71 - 22 02
Fax: +49 (0) 22 55 / 9 45 71 - 10 01
E-Mail: ZSwKBw@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation




Marinekommando
Kopernikusstraße 1
18057 Rostock
Tel.: +49 (0) 381 / 802 - 50
Fax: +49 (0) 381 / 802 - 32 97
E-Mail: marine@bundeswehr.org
Internet: www.bundeswehr.de/de/organisation




Gefechtssimulationszentrum Heer
Röhn-Kaserne
97772 Wildflecken
Tel.: +49 (0) 97 45 / 34 - 50 10
Fax: +49 (0) 97 45 / 34 - 50 19
E-Mail: GefSimZHGeoInfoW@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: info@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
Tel.: +49 (0) 721 / 46 40 - 123
Fax: +49 (0) 721 / 46 40 - 442
E-Mail: info@ict.fraunhofer.de
Internet: www.ict.fraunhofer.de

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

 **Fraunhofer**
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**
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) 7243 / 992 - 131
Fax: +49 (0) 7243 / 992 - 299
E-Mail: info@iosb.fraunhofer.de
Internet: www.iosb.fraunhofer.de

 **Fraunhofer**
ISC
Fraunhofer-Institut für
Silicatsforschung ISC
Neunerplatz 2
97082 Würzburg
Tel.: +49 (0) 931 / 41 00 - 0
Fax: +49 (0) 931 / 41 00 - 198
E-Mail: info@isc.fraunhofer.de
Internet: www.isc.fraunhofer.de



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



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
DLR BT
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711 / 68 62 - 81 82
Fax: +49 (0) 711 / 68 62 - 227
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/bt



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



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Methodik der Fernerkundung
DLR MF
Oberpfaffenhofen
82234 Weßling
Tel.: +49 (0) 81 53 / 28 26 68
Fax: +49 (0) 81 53 / 28 13 37
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/imf



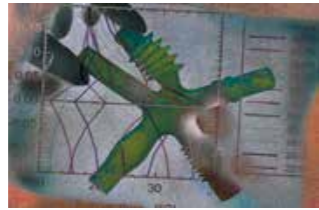
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Technische Physik DLR TP
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711 / 68 62 - 773
Fax: +49 (0) 711 / 68 62 - 788
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/tp



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
DLR AS
Bunsenstraße 10
37073 Göttingen
Tel.: +49 (0) 551 / 709-2177
Fax: +49 (0) 551 / 709-2889
E-Mail: info-pks@dlr.de
Internet: www.dlr.de/as



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

**HERAUSGEBER**

Bundesministerium der Verteidigung
Unterabteilung A III
Fontainengraben 150
53123 Bonn

GESTALTUNG UND REALISATION

Konzeptbüro Schneider, Erfstadt

INHALTLICHE BETREUUNG

Fraunhofer INT, Euskirchen

DRUCK

Warlich Druck Meckenheim GmbH, Meckenheim

STAND

Juni 2021

FOTOS

© Bundeswehr / Stephan Ink; Sarah Wetjen; Maximilian Schulz
© Bundeswehr / Marco Dorow
© Bundeswehr / Jana Neumann; Leon Rodewald
© Bundeswehr / Andre Klimke
© Bundeswehr / Sandra Herholt; Maximilian Schulz

© www.physiologie.cc
© Caters News Agency
© Elemance / Crashtest-Service.com GmbH
© Pixabay.com
© Shutterstock.com
© European Defence Agency
© NATO-STO-Report „Science & Technology Trends 2020–2040“
© Bundeswehr / Björn Wilke
© FHS Förder- und Hebeseysteme GmbH
© Airbus
© World Bank World Development Indicators
© Raleigh C, et al. (2010), Journal of Peace Research 47(5)
© ND SatCom GmbH
© Thomas Benz / just imagine
© Bundeswehr / Dr. Laumann
© Bundeswehr / Dr. Wölfel
© Bundeswehr / Ann-Katrin Winges
© Thilo Pulpanek; Bundeswehrkrankenhaus Berlin; Wesemann et al. 2021
© Charlyn Braun; Wehrmedizinische Monatsschrift Ausg. 3-4/2021
© Frederike Wendt; Berlin
© Bundeswehr / Stephan Ink
© Bundeswehr / Steve Back
© Dr. Aschoff, Hannover
© Bundeswehr / Michael Laymann
© www.die-marine.de
© DWD NEC TWL-KOM RZ II Ludwigshafen
© NATO
© Marine, SAR-Leitstelle
© BWI GmbH
© Pixabay
© NATO IST-124 / www.anglova.net

1. Ubootgeschwader, Eckernförde
Atos SE Deutschland, München
Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr,
Koblenz
Bundesministerium der Verteidigung, Bonn
Bundeswehrkrankenhaus Berlin
Bundeswehrkrankenhaus Hamburg
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Bundeswehrzentralkrankenhaus Koblenz

Seite	
01	Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin
08	Deutsche Sporthochschule Köln, Köln
09	Deutsch-Französisches Forschungsinstitut, Saint-Louis
10	DLR, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Köln
11	DLR, Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie, Stuttgart
14	DLR, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, Oberpfaffenhofen
14	DLR, Institut für Methodik der Fernerkundung, Oberpfaffenhofen
21	DLR, Institut für Optische Sensorsysteme, Berlin
26	DLR, Institut für Technische Physik, Stuttgart
26	Einsatzführungskommando der Bundeswehr, Schwielowsee
26	Fraunhofer EMI, Freiburg i. Br.
28	Fraunhofer FHR, Wachtberg
29	Fraunhofer FKIE, Wachtberg
30	Fraunhofer IAF, Freiburg i. Br.
33	Fraunhofer ICT, Pfinztal
47	Fraunhofer IIS, Erlangen
58	Fraunhofer ISC, Würzburg
58	Fraunhofer INT, Euskirchen
62	Fraunhofer IOSB, Karlsruhe, Ettlingen
63	Gefechtssimulationszentrum Heer, Wildflecken
102	Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg
102	Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, München
103	Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr, München
110	Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr, Koblenz
110	Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München
113	Kommando Sanitätsdienstliche Einsatzunterstützung, Weißenfels
114	Marinekommando, Rostock
119	ND SatCom GmbH, Immenstaad am Bodensee
120	Otto von Guericke-Universität, Magdeburg
128	Psychotraumazentrum der Bundeswehr, Berlin
138	Schiffahrtmedizinisches Institut der Marine, Kronshagen
138	Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
139	Universität Duisburg-Essen, Essen
139	Universitätsklinikum Bonn, Bonn
146	WIS, Munster
148	WIWeB, Erding
148	WTD 52, Schneizlreuth
148	WTD 61, Manching
148	WTD 71, Kiel
148	WTD 81, Greding
148	WTD 91, Meppen
148	Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr – Gruppe Meteorologie beim DWD, Offenbach
148	Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe, Fürstenfeldbruck
148	Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr, Potsdam
148	Zentrum für Softwarekompetenz der Bundeswehr, Euskirchen