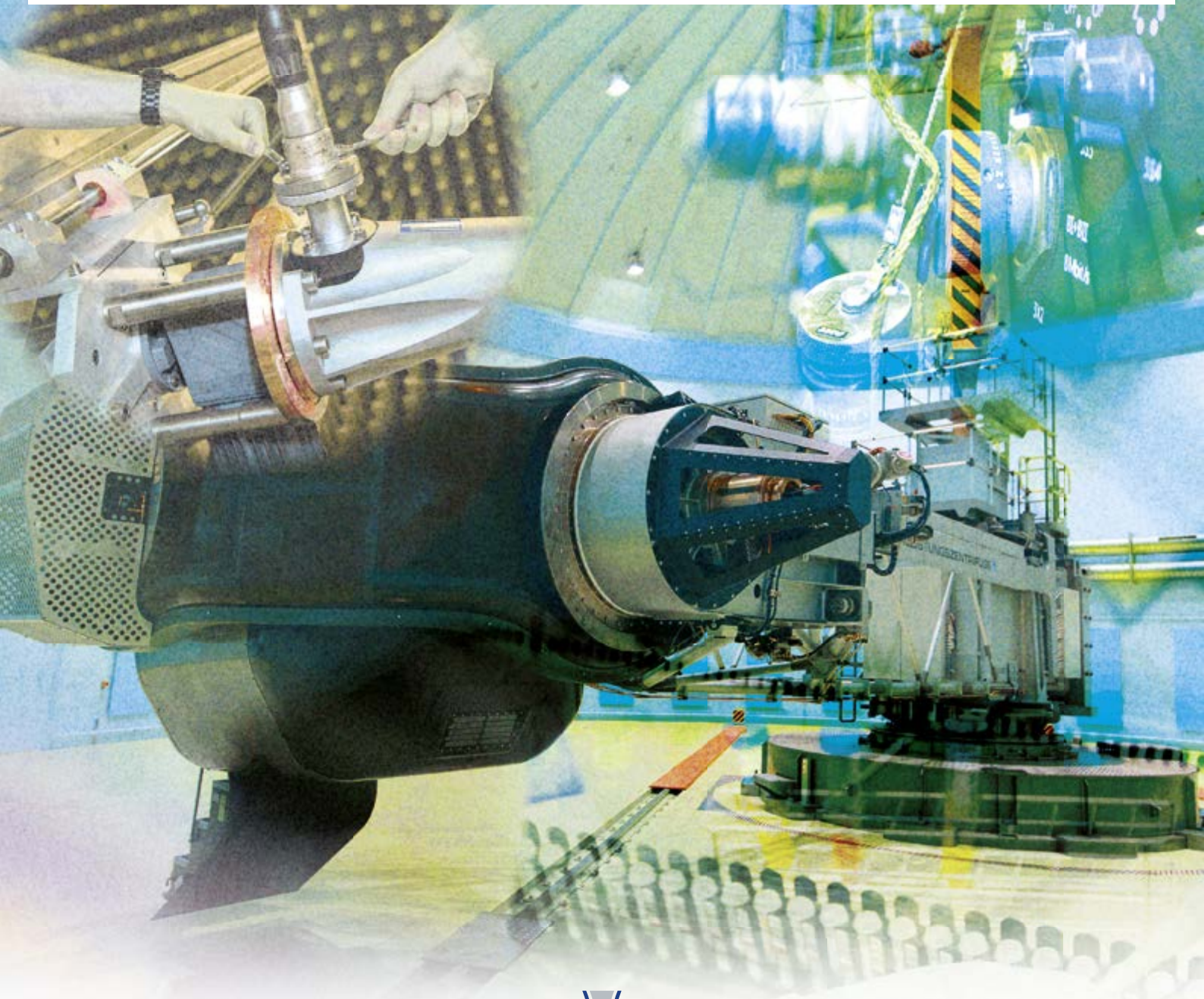




Bundesministerium  
der Verteidigung

# Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2016

Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte



**Bundeswehr**

Wir. Dienen. Deutschland.

---

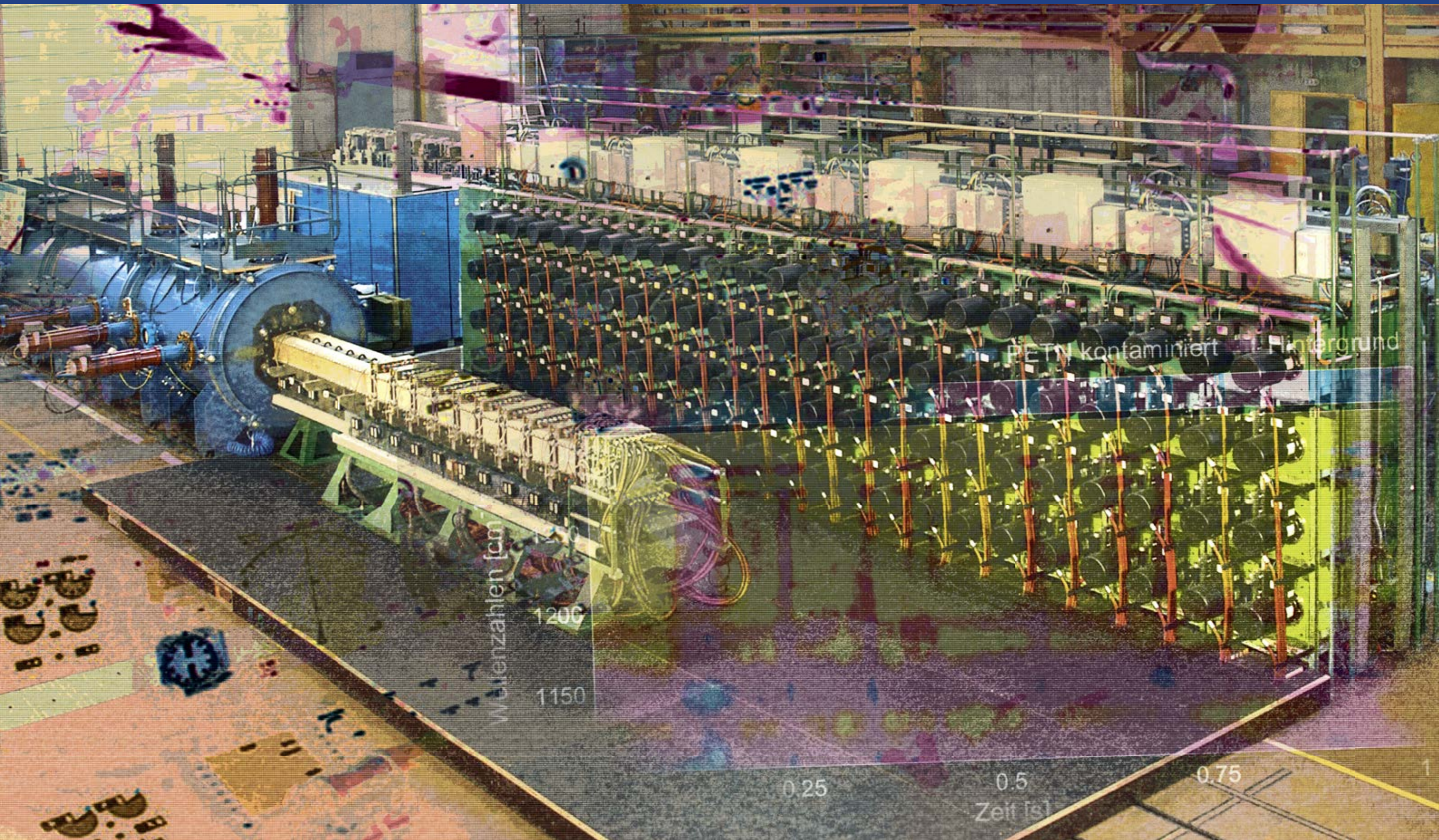
## Wehrwissenschaftliche Forschung Jahresbericht 2016

Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte

16

---











Ministerialdirigent Ralf Schnurr

Unterabteilungsleiter A II und Forschungsbeauftragter  
Bundesministerium der Verteidigung

---

## Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte

Mit der stetig wachsenden Übernahme internationaler Verantwortung durch Deutschland hat sich die Bundeswehr in den vergangenen zwei Dekaden zu einer Armee im Einsatz entwickelt.

Mit der Verabschiedung des Weißbuchs zur Sicherheitspolitik und zur Zukunft der Bundeswehr durch die Bundesregierung Mitte 2016 wurde der Landes- und Bündnisverteidigung wieder eine größere Rolle eingeräumt.

Wie die strategischen und politischen Vorgaben innerhalb der Streitkräfte umgesetzt werden, wird in den Bundeswehrdokumenten Konzeption der Bundeswehr (KdB) und Fähigkeitsprofil der Bundeswehr beschrieben. Es ist geplant, die Konzeption der Bundeswehr und das Fähigkeitsprofil als Folgedokument im Sommer 2017 zu veröffentlichen.

Angesichts der begrenzten Vorhersehbarkeit künftiger Herausforderungen muss die Bundeswehr auch zukünftig über ein breites Spektrum an Fähigkeiten verfügen, um die Aufgaben der Landes- und Bündnisverteidigung sowie Internationale Konfliktverhütung und Krisenbewältigung künftig angemessen wahrnehmen zu können.

Mit den daraus resultierenden Anforderungen wird stets auch die strategische Ausrichtung der wehrwissenschaftlichen Forschung und Technologie überprüft und angepasst.

Mit dieser Ausgabe stellen die Forschungsbereiche des Bundesministeriums der Verteidigung ausgewählte Beiträge aus den Bereichen

- der Wehrtechnischen Forschung,
- der Wehrmedizinischen und Wehrpsychologischen Forschung,
- der Militärgeschichtlichen und Sozialwissenschaftlichen Forschung,
- der Geowissenschaftlichen Ressortforschung und
- der Ressortforschung Cyber / Informationstechnik vor.



Ralf Schnurr

---



*Durch Anklicken direkt zum Artikel gelangen*

# 16

<b>Vorwort</b>	<b>06 Wehrwissenschaftliche Forschung für deutsche Streitkräfte</b>	<b>40</b> Laseroptische Nachführsysteme
		<b>42</b> Metamaterialien für Mikrowellenradome
		<b>44</b> Die elektromagnetische Kanone – ein Waffensystem der Zukunft
		<b>46</b> Materialien zur Detektion von Ultrafeinen Sprengstoffspuren zur zivilen und militärischen Sicherheit
		<b>48</b> Multikamerasystem zum Brandschutz in militärischen Fahrzeugen
		<b>50</b> Studie „Angewandtes Wissensmanagement in der Bundeswehr“
		<b>52</b> Dynamisches Mikroaktorsystem auf Basis elektrorheologischer Fluide
		<b>54</b> Hochautomatisierte Assistenzfunktionen für Offroad-Szenarien
		<b>56</b> Thermische Analyse von toxischen Chemikalien und sprengstofftypischen Verbindungen
		<b>58</b> Analyse von HPEM-Störungseffekten in Computer-Netzwerken in realistischer Umgebung
		<b>60</b> Zukünftige Methoden zur Schadensfrüherkennung auf Schiffen der Marine
		<b>62</b> Dynamische Kettenspannvorrichtung
		<b>64</b> Risikoanalysen bei der Bevorratung von Munition
		<b>66</b> Den besonderen Strömungsphänomenen in modernen Triebwerkseinlaufsystemen auf der Spur
		<b>68</b> Fortschrittliches Sendesignaldesign zur Taucherdetektion
		<b>70</b> MiDNet – Kommunizieren ohne Verbindung
		<b>72</b> Verbesserung des Insassenschutzes beim Fahrzeugcrash
<b>Teil 1</b>	<b>13 Wehrtechnische Forschung</b>	
	<b>14</b> 3D-Druck für wehrtechnische Anwendungen: Leichtbaulösungen durch numerische Designoptimierung	
	<b>16</b> 17 GHz SiGe-MIMO-Chipset für kompakte 3D-bildgebende Radarmodule zur Integration in luftgetragene Systeme und Bodenfahrzeuge	
	<b>18</b> Architekturübergreifende Detektion von Sicherheitslücken in Software	
	<b>20</b> Multisensorielle Drohnenabwehr	
	<b>22</b> Adaptive Optik für Freistrahlkommunikation	
	<b>24</b> Zertifizierung der Interoperabilität von Simulatoren	
	<b>26</b> Quantenkaskadenlaser für die Detektion von Gefahr- und Explosivstoffen	
	<b>28</b> Elektrochemische Sensorik für Explosivstoffe im Praxiseinsatz bei Seeversuchen	
	<b>30</b> Realitätsnahes MANET-Kanalmodell für die Leistungsbewertung von netzwerkfähigen Funkgeräten	
	<b>32</b> Strukturauslegung und Bewertung agiler militärischer Fluggeräte	
	<b>34</b> Gesamtentwurf von agilen und signaturarmen militärischen Flugzeugen	
	<b>36</b> Richtlinien für lärmarme UCAV-Designs	
	<b>38</b> Atmosphärische Propagation multimodiger Strahlung	

**Teil 2**

- 75 Wehrmedizinische und Wehrpsychologische Forschung**
- 76** Inmitten eines Ausbruchs: Sequenzieren im Felde
- 78** Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH) zur Identifikation hochpathogener Bakterien
- 80** Precision Cut Lung Slices als Testsystem für neue Therapieoptionen bei Vergiftungen mit phosphororganischen Verbindungen
- 82** Aktuelle Forschungen zur Verbesserung der klinischen Triage nach radiologischen und nuklearen Schadensereignissen
- 84** „Dry Air Comfort“ (DAC) – Entwicklung einer „physiologischen“ Körperkühlmethode gegen den Hitzestress in isolierender Schutzbekleidung
- 86** Wissenschaftliche Erkenntnisse für eine gesunde und zielgruppenorientierte Ernährung in der Bundeswehr im Kontext des Betrieblichen Gesundheitsmanagement
- 88** Cave Lucem – Laserangriffe auf Luftfahrzeuge
- 90** Qualifizierter Verwundetentransport an Bord von Einheiten der Deutschen Marine
- 92** Befragung zur beruflichen Mobilität in der Bundeswehr

**Teil 3**

- 95 Militärgeschichtliche und Sozialwissenschaftliche Forschung**
- 96** 57. Internationale Tagung für Militärgeschichte (ITMG) zum Thema „Materialschlachten 1916. Ereignis, Bedeutung, Erinnerung“
- 98** Militärsoziologische Forschung zur Personalgewinnung und -bindung

**Teil 4**

- 101 Geowissenschaftliche Ressortforschung**
- 102** Die Ebola-Epidemie im westlichen Afrika
- 104** Mineralstaubvorhersagen für die Einsatzgebiete der Bundeswehr
- 106** Detektion von Hohlräumen mit Methoden der Angewandten Geophysik

**Teil 5**

- 109 Ressortforschung Cyber / Informationstechnik**
- 110** Ergebnisse der Systemstudie LTE over Satellite
- 112** Schnelles Prototyping mit flexiblen IP-Wellenformen für SDRs
- 114** Sichere Navigation mit dem Enhanced Location Service für Smart Devices

**Teil 6**

- 117 Anhang**
- 118** Adressen und Kontakte
- 124** Impressum



# 1

## Wehrtechnische Forschung

Wehrtechnische Forschung und Technologie (F&T) steht am Beginn einer Wertschöpfungskette, an deren Ende der Bundeswehr zeit- und auftragsgerecht die bestmögliche Ausrüstung zur Verfügung stehen soll.

Das breite Fähigkeitsspektrum der Bundeswehr erfordert eine intensive Beobachtung und Erschließung aller für wehrtechnische Anwendungen relevanten natur- und ingenieurwissenschaftlichen Felder.

Wehrtechnische F&T-Aktivitäten stellen die für Ausrüstungsentscheidungen erforderliche Analyse- und Bewertungsfähigkeit bereit, d. h. sie analysieren technologische Entwicklungen hinsichtlich ihrer zukünftigen militärischen Verwendbarkeit bzw. ihres Bedrohungspotenzials, identifizieren strategische Interessensfelder für die Weiterentwicklung der Fähigkeiten der Bundeswehr, greifen Erkenntnisse der zivilen Forschung auf und treiben relevante Zukunftstechnologien zeitgerecht bis zur Produktnähe voran.

Die Durchführung Wehrtechnischer 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 2016 aus diesen drei Durchführungsebenen dargestellt.





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

info@emi.fraunhofer.de

Klaus Hoschke  
Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik,  
Ernst-Mach-Institut, EMI  
Freiburg

info@emi.fraunhofer.de

## 3D-Druck für wehrtechnische Anwendungen: Leichtbaulösungen durch numerische Designoptimierung

**3D-Druck-Verfahren für Metallwerkstoffe erlauben als additive Fertigungsverfahren die Herstellung von Bauteilen mit großer Freiheit bei der Form- und Werkstoffstrukturgebung. Kennt man die genauen Lastanforderungen, so kann man das optimale Leichtbaudesign für konkrete funktionale Anforderungen mit Hilfe numerischer Optimierungsverfahren berechnen und Hochleistungskomponenten herstellen.**

3D-Druck von Komponenten und Werkstoffstrukturen ermöglicht es, gezielt vorzugeben, an welchen Stellen das Ausgangsmaterial wie beispielsweise ein Metallpulver fest zu einer Struktur verbunden wird. Um Zeit, Material und Energie zu sparen, sollte man auch nur an den Stellen Strukturmaterial erzeugen, an denen es beim fertigen Bauteil benötigt wird – das Leichtbauprinzip wird zum ökonomischen Imperativ für derartige generative Fertigungsverfahren. Erfolgt der Materialaufbau schichtenweise wie bei der Lasersinterertechnologie, bei der ein Laserstrahl über ein Pulverbett geführt wird und dabei das Metallpulver mit der darunter bereits erzeugten festen Struktur umschmelzt und verbindet, so spricht man auch von „Additive Layer Manufacturing“.

Bei herkömmlichen Verfahren geschieht das Gegenteil: Ausgangsprodukt ist der Werkstoff als Vollmaterial, davon wird mit spanabhebenden, also abtragenden Verfahren wie Bohren oder Fräsen überflüssiges Material entfernt. Je weniger Material für das Tragen der erwarteten Lasten notwendig ist und überflüssige Masse in der Struktur verbleiben würde, desto mehr Zeit und Energie muss für das Abtragen von Material

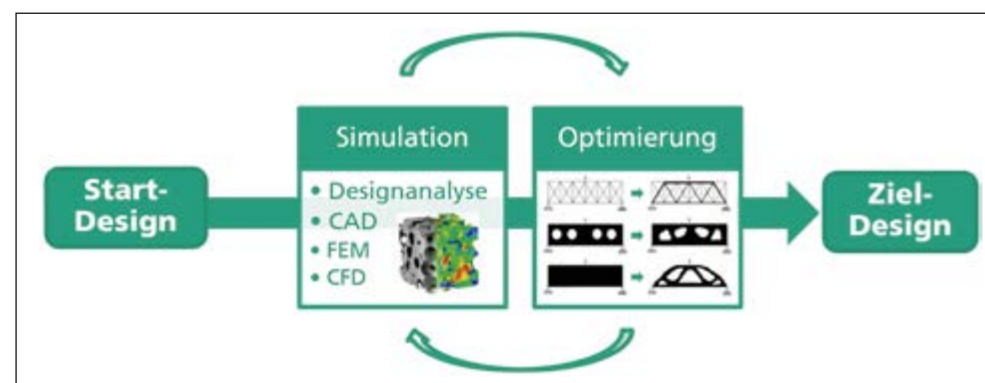


Abb. 1: Iterativer Prozess von multidisziplinären Simulations- und Optimierungsschritten

aufgewendet werden. Bei formgebenden Verfahren wie Gießen, Pressen oder Schmieden wird das Ausgangsmaterial mit Hilfe von Werkzeugen geformt oder umgeformt. Diese Verfahren sind in ihrer Formgebung stark richtungsgebunden und komplexe Strukturen nur sehr eingeschränkt herstellbar.

Hier setzen 3D-Druck-Verfahren als additive Fertigungsverfahren an. Gerade für ein Leichtbaudesign mit eher dünnen, das Körpervolumen durchsetzenden Strukturelementen, wie man sie beispielsweise vom Aufbau von Fachwerken kennt, wird nur das für die Erfüllung der Funktion notwendige Material in der Herstellung eingesetzt und nur dort Energie für die Verbindung des Pulvers zur Struktur aufgewendet, wo dies für das Zieldesign erwünscht ist. Eine Form- und Werkstoffstrukturgebung ist optimal, wenn nur dort Material eingesetzt und in solch geschickter Weise zu einer lasttragenden Struktur verbunden wird, wo es für die Funktionserfüllung der resultierenden Komponente nötig ist. Können die Anforderungen an die auszulegende Komponente mathematisch beschrieben werden und sind gute Modelle für das Verhalten der eingesetzten Werkstoffe in dem erwarteten Lastbereich erstellt, so können numerische Computersimulationen eingesetzt werden, um die optimale Form- und Werkstoffstrukturgebung zu berechnen.

So erhaltene Designlösungen können nun durch die neue Lasersinteranlage am Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI in reale Bauteile umgesetzt werden. Diese ermöglicht die generative Fertigung von nach heutigem Stand großen Metallbauteilen innerhalb eines Bauraums von 400 x 400 x 400 mm<sup>3</sup>.



Abb. 2: Numerische Designoptimierung für einen Radträger und 3D-Druck des Zieldesigns mit der Lasersinteranlage am Fraunhofer EMI zur Bauteiluntersuchung und -erprobung

Durch die Nutzung der im EMI ebenfalls zur Verfügung stehenden kurzzeitdynamischen Test- und Prüfverfahren können zunächst die Lastanforderungen auf der Basis eines Startdesigns als funktionale Anforderungen quantitativ ermittelt werden. Dabei kann die Kompetenz des EMI eingesetzt werden, extrem hohe dynamische Lastbedingungen bei wehrtechnischen Anwendungen in Experimenten unter Laborbedingungen zu realisieren und damit Werkstoffverhalten einschließlich Versagen in Werkstoffmodellen abzubilden.

So kann das EMI die Erstellung von Designrichtlinien für die Nutzung additiver Verfahren insbesondere im Hinblick auf die extrem dynamischen Lastanforderungen in der Wehrtechnik angehen, um das Potenzial additiver Herstellungsverfahren für die Bundeswehr zu nutzen. Über den Leichtbauaspekt hinausgehende Anforderungen für das Zieldesign können in der numerischen Designoptimierung mit aufgenommen werden, z. B. der Aspekt der Wärmeleitung für die Gestaltung einer thermischen Signatur.

Zu vielen Fragestellungen im Zusammenhang mit 3D-gedruckten Bauteilen für die Bundeswehr arbeitet das Fraunhofer EMI eng mit dem Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB) zusammen.



Benedikt Welp, M.Sc.  
 Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR  
 Wachtberg

Dr.-Ing. Reinhold Herschel  
 Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR  
 Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

info@fhr.fraunhofer.de

## 17 GHz SiGe-MIMO-Chipset für kompakte 3D-bildgebende Radarmodule zur Integration in luftgetragene Systeme und Bodenfahrzeuge

In zahlreichen Einsatzszenarien der Bundeswehr stellen schlechte Sichtverhältnisse ein einschneidendes Problem dar. Einsätze in Nebel, Sand- und Schneegestöber führen sehr häufig zu Gefahrensituationen für Mensch und Maschine. Das hier vorgestellte SiGe-Chipset bietet daher eine kompakte, kostenoptimierte und witterungsunabhängige Lösung für bildgebende MIMO-Radarsysteme (Multiple Input Multiple Output).

Zur Unterstützung bei Sichtnavigation leisten bildgebende Radarsysteme als nahezu witterungsunabhängige Hilfsmittel im Unterschied zu optischen Sensortechnologien einen großen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit bei Land- und Luftfahrzeugen. Viele derzeit im Einsatz befindliche Systeme beschränken sich aber entweder auf die Messung von Abständen oder sind äußerst raumgreifend. An dieser Stelle eröffnen die wachsenden Möglichkeiten der On-Chip-Integration gänzlich neue Systementwürfe. Die durch die hohen Anforderungen im Automobilradarbereich ausgereifte Silizium-Germanium (SiGe)-Technologie zeichnet sich nicht nur durch eine sehr hohe Integrationsfähigkeit, sondern auch durch ein ausgezeichnetes Kosten-Nutzen-Verhältnis, Langlebigkeit und hohe Robustheit gegenüber thermischer Belastung aus, wodurch sie sich besonders für den militärischen Einsatz eignet. Es kann heute die gesamte analoge Prozessierung der Radarsignale gleich mehrerer Kanäle auf einem einzelnen stecknadelkopfgroßen Chip umgesetzt werden. Gesamte Signalketten, angefangen vom Oszillator über Koppler, Verstärker und Mischer sind so in einem einzigen Bauteil vereint. Sind hohe Reichweiten bei gleichzeitig hoher Auflösung gefordert, ist der untere GHz-

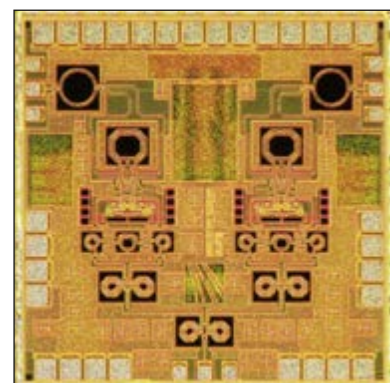


Abb. 1: Sendechip mit zwei Kanälen in SiGe-Technologie (1,5 x 1,5 mm<sup>2</sup>)

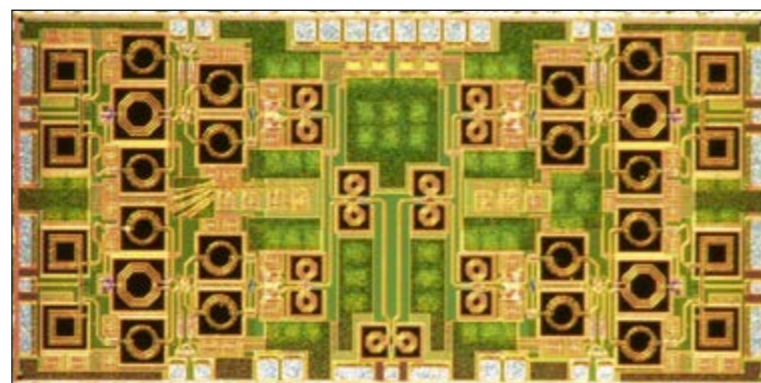


Abb. 2: Empfangschip mit vier Kanälen in SiGe-Technologie (3 x 1,5 mm<sup>2</sup>)

Dr.-Ing. Askold Meusling  
 Airbus Defence and Space GmbH  
 media@airbus.com

Prof. Dr.-Ing. Nils Pohl  
 Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR  
 Wachtberg

info@fhr.fraunhofer.de

Bereich von hoher Relevanz. Dieser ist daher für die militärische Navigation lizenziert. Aus diesem Grund wurde für das entwickelte kompakte, multifunktionale und 3D-bildgebende MIMO-Radar das Ku-Band (12-18 GHz) als Frequenzbereich gewählt. Die entwickelten Radar-ICs (Integrated Circuit) vereinen entweder zwei Sende- oder vier Empfangskanäle auf einem Chip. Ein Sende-Chip (Abb. 1) enthält für jeden Kanal digital ansteuerbare Phasenschieber und Leistungsverstärker, und die Empfangs-Chips (Abb. 2) enthalten für jeden ihrer vier Kanäle einen rauscharmen Empfangsverstärker und -mischer.

Ein multifunktionales MIMO-Radarsystem vereint neben einem 3D-bildgebenden MIMO-Modus, bei dem nur ein Sende-Kanal pro Zeiteinheit sendet, auch einen Beamforming-Modus, bei dem alle Sende-Kanäle gleichzeitig aktiv sind. Der vorhandene Phasenschieber im Sendepfad ermöglicht es durch die phasensynchrone Überlagerung der Sendesignale, den Sendestrahlen in verschiedene Richtungen zu lenken und dadurch die effektive Sendeleistung des Radars und damit auch die Dynamik bzw. Reichweite zu erhöhen. Aber auch im MIMO-Betriebsmodus ist die maximale Sendeleistung eines einzelnen Sende-Kanals mit differentiellem Ausgang von 500 mW bei 38 % Effizienz bereits sehr hoch (Abb. 3). Zudem sorgt ein rauscharmer Verstärker und Mischer mit einstellbarer Verstärkung auf der Empfangsseite für eine hohe Systemdynamik.

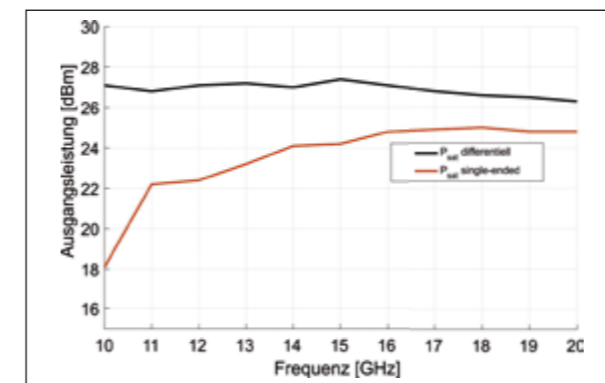


Abb. 3: Maximale Sendeleistung des Sende-Chips für einen Kanal mit differentiellem (schwarz) und single-ended (rot) Ausgang

Das am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR im Auftrag des Bundesamtes für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung (BAAINBw) entwickelte Chipset bildet den Grundbestandteil des von Airbus Defence and Space entwickelten Abbildungssystems „Compact MIMO-Radar“. Mit jeweils 16 Sende- und Empfangskanälen und einer Modulgröße wie ein halber Schuhkarton (Abb. 4, oben rechts/unten) eignet es sich hervorragend für den Betrieb auf Militärfahrzeugen. Es ist die Weiterentwicklung des in Abb. 4 (oben links) gezeigten diskret aufgebauten MIMO-Radar Demonstrators. Zusätzlich zum Radarsystem ist auch eine Optik verbaut, um Radarbilder mit visuellen Informationen zu kombinieren.

Der im direkten Größenvergleich auffällige hohe Miniaturisierungsgrad ist hierbei auf die Verwendung des neu entwickelten SiGe-Chipsets zurückzuführen. Dies unterstreicht das enorme Anwendungspotential der entwickelten Radar-ICs, die auch für eine Vielzahl weiterer Anwendungen von großem Nutzen sein können.

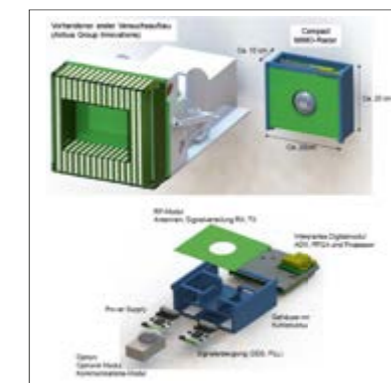


Abb. 4: MIMO-Radar Demonstrator (oben links) und Konzept des neuen „Compact MIMO-Radars“ mit SiGe-Chipset (oben rechts und unten)



Dr. Elmar Padilla  
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation,  
 Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE  
 Wachtberg

kontakt@fkie.fraunhofer.de

Raphael Ernst  
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation,  
 Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE  
 Wachtberg

kontakt@fkie.fraunhofer.de

## Architekturübergreifende Detektion von Sicherheitslücken in Software

**Software-Sicherheitslücken bedrohen nicht nur Computer sondern alle Bereiche unseres Lebens. So sind Boardcomputer genauso betroffen wie das Internet of Things (IoT). Somit ist auch in militärischen Systemen eine hohe Relevanz gegeben. Hinzu kommt, dass wegen der Heterogenität der Geräte keine Standard-Tools eingesetzt werden können, sondern eine individuelle Anpassung nötig ist.**

Zur Minimierung der Bedrohung durch Sicherheitslücken in Software müssen verschiedene Felder adäquat in der Produktlebenszeit adressiert werden: Verhindern von Sicherheitslücken bei der Entwicklung, Finden von Sicherheitslücken nach der Auslieferung und Schließen von Sicherheitslücken nach einer Entdeckung. In diesem Artikel soll es um einen wichtigen Baustein, die Identifikation von betroffenen Geräten nach dem Bekanntwerden von Sicherheitslücken, gehen. Dass es sich dabei um eine nicht triviale Herausforderung handelt, lässt sich an Geräteherstellern belegen, die vielfach nicht unmittelbar nach Bekanntwerden einer Lücke in einem Produkt feststellen können, welche anderen Geräte betroffen sind.

Sicherheitsanalysen von Software erfolgen idealerweise bereits auf dem so genannten Quellcode, der die Funktionalität eines Programms, in einer leicht verständlichen Weise beschreibt. Häufig ist dieser aber für den Systembetreiber nicht zugreifbar oder er will sich nicht darauf verlassen, dass der ihm zur Verfügung gestellte Quellcode passend zu dem auf seinem System laufenden kompilierten Code (engl. Executable) ist. Daher ist es wichtig auch das Executable analysieren zu können.

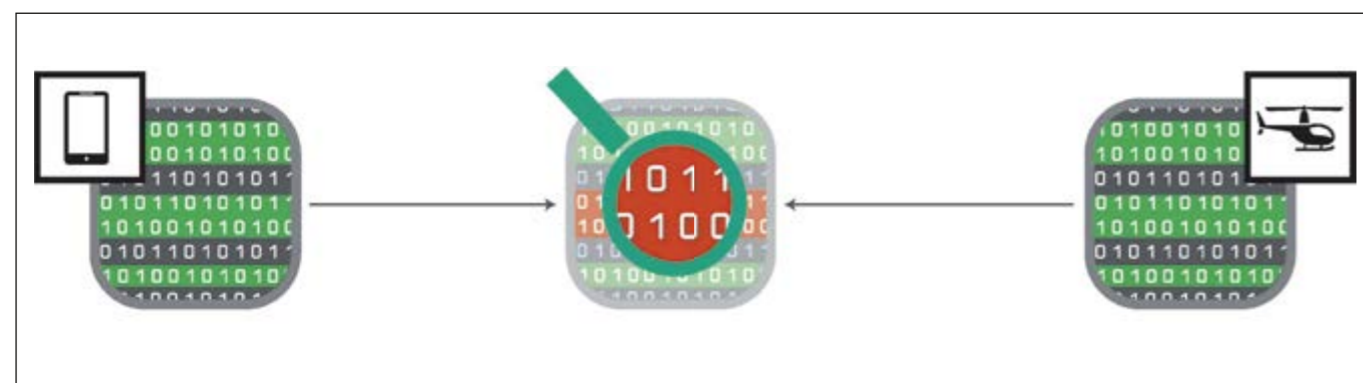


Abb. 1: discovRE kann identische Funktionen in Executables von unterschiedlichen Plattformen vergleichen - z.B. zwischen Windows, Android und VxWorks

Im Gegensatz zum Quellcode ist das Executable von allen unnötigen Informationen wie Variablennamen oder Kommentaren befreit und auf die jeweilige Plattform, d. h. Betriebssystem und Prozessor, optimiert. Somit kann ein Executable für einen Windows PC mit x86-Prozessor nicht ohne weiteres mit dem Executable für ein Smartphone mit ARM- oder MIPS-Prozessor verglichen werden.

Aus Kosten- bzw. Effizienzerwägungen ist der gleiche Quellcode jedoch vielfach die Grundlage für ganz unterschiedliche Systeme, wenn Funktionen vom Hersteller wieder verwendet werden. Besonders häufig werden z.B. kryptographische Standardverfahren auf verschiedenen Systemen verwendet. In der Praxis sind jedoch viele andere Fälle dieses „Code-Reuse“ zu beobachten. Dadurch ist es leicht möglich, dass sich eine Sicherheitslücke in einem Smartphone auch in der Steuerung eines Flugzeug-Boardcomputers befindet. Aufgrund der Plattformvielfahrt sowie der hohen Optimierung des Executables auf die jeweilige Plattform können solche Zusammenhänge häufig nicht erkannt werden. Diese Problematik erstreckt sich selbst auf die Hersteller da auch sie Komponenten zukaufen und keinen Zugriff auf die Quellcodes dieser Teile haben.

Das Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE hat mit „discovRE“ eine Analyseumgebung geschaffen, die es erlaubt auf Ebene des Executables Bestandteile zu identifizieren und in anderen Executables wieder zu finden. Exemplarisch hat das Fraunhofer FKIE für die Heartbleed- und POODLE-Sicherheitslücken nachgewiesen, dass diese Anhand eines Windows-Executables auch in einem Android-Smartphone wiedergefunden werden kann. Dies war möglich obwohl die zugrunde liegenden Pro-

zessorarchitekturen mit x86, ARM sowie MIPS und die eingesetzten Betriebssysteme mit Windows und Android sehr unterschiedlich waren. Die Analyse hat im vorliegenden Fall ca. 80 ms benötigt. Somit konnte auch gezeigt werden, dass das System hinreichend gut skaliert, um auch große Datenmengen untersuchen zu können.

Die hier vorgestellte Technologie ist somit ein wichtiger Baustein zur Erhöhung der IT-Sicherheit proprietärer Systeme. Erstmals kann plattformübergreifend überprüft werden, ob eine Sicherheitslücke auch in anderen Systemen zu finden ist. Insbesondere wegen der zunehmenden Verbreitung so genannter Embedded Devices (z. B. Motorensteuerung, Boardcomputer, Drucker etc.) mit umfangreicher Software und der dort eingesetzten proprietären Firmware besteht eine hohe Unsicherheit in Bezug auf das Vertrauen in diese Geräte. Das beim Fraunhofer FKIE entwickelte System kann dieser Unsicherheit durch die Suche nach bekannten Schwachstellen in Executables und der Identifikation der infizierten Geräte begegnen.

```

source code          MIPS          ARM
for main( int argc, char ** argv )
{
    int a = 1;
    int b = 2;
    int c = a + b;
    int d = b - 1;
    int e = a * b;
    int f = a / b;
    int g = a % b;
    int h = a & b;
    int i = a | b;
    int j = a ^ b;
    int k = ~a;
    int l = ~b;
    int m = ~c;
    int n = ~d;
    int o = ~e;
    int p = ~f;
    int q = ~g;
    int r = ~h;
    int s = ~i;
    int t = ~j;
    int u = ~k;
    int v = ~l;
    int w = ~m;
    int x = ~n;
    int y = ~o;
    int z = ~p;
    int aa = ~q;
    int ab = ~r;
    int ac = ~s;
    int ad = ~t;
    int ae = ~u;
    int af = ~v;
    int ag = ~w;
    int ah = ~x;
    int ai = ~y;
    int aj = ~z;
    int ak = ~aa;
    int al = ~ab;
    int am = ~ac;
    int an = ~ad;
    int ao = ~ae;
    int ap = ~af;
    int aq = ~ag;
    int ar = ~ah;
    int as = ~ai;
    int at = ~aj;
    int au = ~ak;
    int av = ~al;
    int aw = ~am;
    int ax = ~an;
    int ay = ~ao;
    int az = ~ap;
    int ba = ~aq;
    int bb = ~ar;
    int bc = ~as;
    int bd = ~at;
    int be = ~au;
    int bf = ~av;
    int bg = ~aw;
    int bh = ~ax;
    int bi = ~ay;
    int bj = ~az;
    int bk = ~ba;
    int bl = ~bb;
    int bm = ~bc;
    int bn = ~bd;
    int bo = ~be;
    int bp = ~bf;
    int bq = ~bg;
    int br = ~bh;
    int bs = ~bi;
    int bt = ~bj;
    int bu = ~bk;
    int bv = ~bl;
    int bw = ~bm;
    int bx = ~bn;
    int by = ~bo;
    int bz = ~bp;
    int ca = ~bq;
    int cb = ~br;
    int cc = ~bs;
    int cd = ~bt;
    int ce = ~bu;
    int cf = ~bv;
    int cg = ~bw;
    int ch = ~bx;
    int ci = ~by;
    int cj = ~bz;
    int ck = ~ca;
    int cl = ~cb;
    int cm = ~cc;
    int cn = ~cd;
    int co = ~ce;
    int cp = ~cf;
    int cq = ~cg;
    int cr = ~ch;
    int cs = ~ci;
    int ct = ~cj;
    int cu = ~ck;
    int cv = ~cl;
    int cw = ~cm;
    int cx = ~cn;
    int cy = ~co;
    int cz = ~cp;
    int da = ~cq;
    int db = ~cr;
    int dc = ~cs;
    int dd = ~ct;
    int de = ~cu;
    int df = ~cv;
    int dg = ~cw;
    int dh = ~cx;
    int di = ~cy;
    int dj = ~cz;
    int dk = ~da;
    int dl = ~db;
    int dm = ~dc;
    int dn = ~dd;
    int do = ~de;
    int dp = ~df;
    int dq = ~dg;
    int dr = ~dh;
    int ds = ~di;
    int dt = ~dj;
    int du = ~dk;
    int dv = ~dl;
    int dw = ~dm;
    int dx = ~dn;
    int dy = ~do;
    int dz = ~dp;
    int ea = ~dq;
    int eb = ~dr;
    int ec = ~ds;
    int ed = ~dt;
    int ee = ~du;
    int ef = ~dv;
    int eg = ~dw;
    int eh = ~dx;
    int ei = ~dy;
    int ej = ~dz;
    int ek = ~ea;
    int el = ~eb;
    int em = ~ec;
    int en = ~ed;
    int eo = ~ee;
    int ep = ~ef;
    int eq = ~eg;
    int er = ~eh;
    int es = ~ei;
    int et = ~ej;
    int eu = ~ek;
    int ev = ~el;
    int ew = ~em;
    int ex = ~en;
    int ey = ~eo;
    int ez = ~ep;
    int fa = ~eq;
    int fb = ~er;
    int fc = ~es;
    int fd = ~et;
    int fe = ~eu;
    int ff = ~ev;
    int fg = ~ew;
    int fh = ~ex;
    int fi = ~ey;
    int fj = ~ez;
    int fk = ~fa;
    int fl = ~fb;
    int fm = ~fc;
    int fn = ~fd;
    int fo = ~fe;
    int fp = ~ff;
    int fq = ~fg;
    int fr = ~fh;
    int fs = ~fi;
    int ft = ~fj;
    int fu = ~fk;
    int fv = ~fl;
    int fw = ~fm;
    int fx = ~fn;
    int fy = ~fo;
    int fz = ~fp;
    int ga = ~fq;
    int gb = ~fr;
    int gc = ~fs;
    int gd = ~ft;
    int ge = ~fu;
    int gf = ~fv;
    int gh = ~fw;
    int gi = ~fx;
    int gj = ~fy;
    int gk = ~fz;
    int gl = ~ga;
    int gm = ~gb;
    int gn = ~gc;
    int go = ~gd;
    int gp = ~ge;
    int gq = ~gf;
    int gr = ~gg;
    int gs = ~gh;
    int gt = ~gi;
    int gu = ~gj;
    int gv = ~gk;
    int gw = ~gl;
    int gx = ~gm;
    int gy = ~gn;
    int gz = ~go;
    int ha = ~gq;
    int hb = ~gr;
    int hc = ~gs;
    int hd = ~gt;
    int he = ~gu;
    int hf = ~gv;
    int hg = ~gw;
    int hh = ~gx;
    int hi = ~gy;
    int hj = ~gz;
    int hk = ~ha;
    int hl = ~hb;
    int hm = ~hc;
    int hn = ~hd;
    int ho = ~he;
    int hp = ~hf;
    int hq = ~hg;
    int hr = ~hh;
    int hs = ~hi;
    int ht = ~hj;
    int hu = ~hk;
    int hv = ~hl;
    int hw = ~hm;
    int hx = ~hn;
    int hy = ~ho;
    int iz = ~hp;
    int ia = ~hq;
    int ib = ~hr;
    int ic = ~hs;
    int id = ~ht;
    int ie = ~hu;
    int if = ~hv;
    int ig = ~hw;
    int ih = ~hx;
    int ii = ~hy;
    int ij = ~iz;
    int ik = ~ia;
    int il = ~ib;
    int im = ~ic;
    int in = ~id;
    int io = ~ie;
    int ip = ~if;
    int iq = ~ig;
    int ir = ~ih;
    int is = ~ii;
    int it = ~ij;
    int iu = ~ik;
    int iv = ~il;
    int iw = ~im;
    int ix = ~in;
    int iy = ~io;
    int iz = ~ip;
    int ja = ~iq;
    int jb = ~ir;
    int jc = ~is;
    int jd = ~it;
    int je = ~iu;
    int jf = ~iv;
    int jg = ~iw;
    int jh = ~ix;
    int ji = ~iy;
    int jj = ~iz;
    int jk = ~ja;
    int jl = ~jb;
    int jm = ~jc;
    int jn = ~jd;
    int jo = ~je;
    int jp = ~jf;
    int jq = ~jg;
    int jr = ~jh;
    int js = ~ji;
    int jt = ~jj;
    int ju = ~jk;
    int jv = ~jl;
    int jw = ~jm;
    int jx = ~jn;
    int jy = ~jo;
    int jz = ~jp;
    int ka = ~jq;
    int kb = ~jr;
    int kc = ~ks;
    int kd = ~jt;
    int ke = ~ju;
    int kf = ~jv;
    int kg = ~jw;
    int kh = ~jx;
    int ki = ~jy;
    int kj = ~jz;
    int kl = ~ka;
    int km = ~kb;
    int kn = ~kc;
    int ko = ~kd;
    int kp = ~ke;
    int kq = ~kf;
    int kr = ~kg;
    int ks = ~kh;
    int kt = ~ki;
    int ku = ~kj;
    int kv = ~kl;
    int kw = ~km;
    int kx = ~kn;
    int ky = ~ko;
    int kz = ~kp;
    int la = ~kq;
    int lb = ~kr;
    int lc = ~ks;
    int ld = ~kt;
    int le = ~ku;
    int lf = ~kv;
    int lg = ~kw;
    int lh = ~kx;
    int li = ~ky;
    int lj = ~kz;
    int lk = ~la;
    int ll = ~lb;
    int lm = ~lc;
    int ln = ~ld;
    int lo = ~le;
    int lp = ~lf;
    int lq = ~lg;
    int lr = ~lh;
    int ls = ~li;
    int lt = ~lj;
    int lu = ~lk;
    int lv = ~ll;
    int lw = ~lm;
    int lx = ~ln;
    int ly = ~lo;
    int lz = ~lp;
    int ma = ~lq;
    int mb = ~lr;
    int mc = ~ls;
    int md = ~lt;
    int me = ~lu;
    int mf = ~lv;
    int mg = ~lw;
    int mh = ~lx;
    int mi = ~ly;
    int mj = ~lz;
    int mk = ~ma;
    int ml = ~mb;
    int mn = ~mc;
    int mo = ~md;
    int mp = ~me;
    int mq = ~mf;
    int mr = ~mg;
    int ms = ~mh;
    int mt = ~mi;
    int mu = ~mj;
    int mv = ~mk;
    int mw = ~ml;
    int mx = ~mn;
    int my = ~mo;
    int mz = ~mp;
    int na = ~mq;
    int nb = ~mr;
    int nc = ~ms;
    int nd = ~mt;
    int ne = ~mu;
    int nf = ~mv;
    int ng = ~mw;
    int nh = ~mx;
    int ni = ~my;
    int nj = ~mz;
    int nk = ~na;
    int nl = ~nb;
    int nm = ~nc;
    int no = ~nd;
    int np = ~ne;
    int nq = ~nf;
    int nr = ~ng;
    int ns = ~nh;
    int nt = ~ni;
    int nu = ~nj;
    int nv = ~nk;
    int nw = ~nl;
    int nx = ~nm;
    int ny = ~no;
    int nz = ~np;
    int oa = ~nq;
    int ob = ~nr;
    int oc = ~os;
    int od = ~ot;
    int oe = ~ou;
    int of = ~ov;
    int og = ~ow;
    int oh = ~ox;
    int oi = ~oy;
    int oj = ~oz;
    int ok = ~oa;
    int ol = ~ob;
    int om = ~oc;
    int on = ~od;
    int oo = ~oe;
    int op = ~of;
    int oq = ~og;
    int or = ~oh;
    int os = ~oi;
    int ot = ~oj;
    int ou = ~ok;
    int ov = ~ol;
    int ow = ~om;
    int ox = ~on;
    int oy = ~oo;
    int oz = ~op;
    int pa = ~oq;
    int pb = ~or;
    int pc = ~os;
    int pd = ~ot;
    int pe = ~ou;
    int pf = ~ov;
    int pg = ~ow;
    int ph = ~ox;
    int pi = ~oy;
    int pj = ~oz;
    int pk = ~pa;
    int pl = ~pb;
    int pm = ~pc;
    int pn = ~pd;
    int po = ~pe;
    int pp = ~pf;
    int pq = ~pg;
    int pr = ~ph;
    int ps = ~pi;
    int pt = ~pj;
    int pu = ~pk;
    int pv = ~pl;
    int pw = ~pm;
    int px = ~pn;
    int py = ~po;
    int pz = ~pp;
    int qa = ~pq;
    int qb = ~pr;
    int qc = ~qs;
    int qd = ~qt;
    int qe = ~qu;
    int qf = ~qv;
    int qg = ~qw;
    int qh = ~qx;
    int qi = ~qy;
    int qj = ~qz;
    int qk = ~qa;
    int ql = ~qb;
    int qm = ~qc;
    int qn = ~qd;
    int qo = ~qe;
    int qp = ~qf;
    int qq = ~qg;
    int qr = ~qh;
    int qs = ~qi;
    int qt = ~qj;
    int qu = ~qk;
    int qv = ~ql;
    int qw = ~qm;
    int qx = ~qn;
    int qy = ~qo;
    int qz = ~qp;
    int ra = ~qq;
    int rb = ~qr;
    int rc = ~qs;
    int rd = ~qt;
    int re = ~qu;
    int rf = ~qv;
    int rg = ~qw;
    int rh = ~qx;
    int ri = ~qy;
    int rj = ~qz;
    int rk = ~ra;
    int rl = ~rb;
    int rm = ~rc;
    int rn = ~rd;
    int ro = ~re;
    int rp = ~rf;
    int rq = ~rg;
    int rr = ~rh;
    int rs = ~ri;
    int rt = ~rj;
    int ru = ~rk;
    int rv = ~rl;
    int rw = ~rm;
    int rx = ~rn;
    int ry = ~ro;
    int rz = ~rp;
    int sa = ~rq;
    int sb = ~rr;
    int sc = ~rs;
    int sd = ~rt;
    int se = ~ru;
    int sf = ~rv;
    int sg = ~rw;
    int sh = ~rx;
    int si = ~ry;
    int sj = ~rz;
    int sk = ~sa;
    int sl = ~sb;
    int sm = ~sc;
    int sn = ~sd;
    int so = ~se;
    int sp = ~sf;
    int sq = ~sg;
    int sr = ~sh;
    int ss = ~si;
    int st = ~sj;
    int su = ~sk;
    int sv = ~sl;
    int sw = ~sm;
    int sx = ~sn;
    int sy = ~so;
    int sz = ~sp;
    int ta = ~sq;
    int tb = ~sr;
    int tc = ~st;
    int td = ~su;
    int te = ~sv;
    int tf = ~sw;
    int tg = ~sx;
    int th = ~sy;
    int ti = ~sz;
    int tj = ~ta;
    int tk = ~tb;
    int tl = ~tc;
    int tm = ~td;
    int tn = ~te;
    int to = ~tf;
    int tp = ~tg;
    int tq = ~th;
    int tr = ~ti;
    int ts = ~tj;
    int tt = ~tk;
    int tv = ~tl;
    int tw = ~tm;
    int tx = ~tn;
    int ty = ~to;
    int tz = ~tp;
    int ua = ~tq;
    int ub = ~tr;
    int uc = ~ts;
    int ud = ~tt;
    int ue = ~tu;
    int uf = ~tv;
    int ug = ~tw;
    int uh = ~tx;
    int ui = ~ty;
    int uj = ~tz;
    int uk = ~ua;
    int ul = ~ub;
    int um = ~uc;
    int un = ~ud;
    int uo = ~ue;
    int up = ~uf;
    int uq = ~ug;
    int ur = ~uh;
    int us = ~ui;
    int ut = ~uj;
    int uu = ~uk;
    int uv = ~ul;
    int uw = ~um;
    int ux = ~un;
    int uy = ~uo;
    int uz = ~up;
    int va = ~uq;
    int vb = ~ur;
    int vc = ~us;
    int vd = ~ut;
    int ve = ~uu;
    int vf = ~uv;
    int vg = ~uw;
    int vh = ~ux;
    int vi = ~uy;
    int vj = ~uz;
    int vk = ~va;
    int vl = ~vb;
    int vm = ~vc;
    int vn = ~vd;
    int vo = ~ve;
    int vp = ~vf;
    int vq = ~vg;
    int vr = ~vh;
    int vs = ~vi;
    int vt = ~vj;
    int vu = ~vk;
    int vv = ~vl;
    int vw = ~vm;
    int vx = ~vn;
    int vy = ~vo;
    int vz = ~vp;
    int wa = ~vq;
    int wb = ~vr;
    int wc = ~ws;
    int wd = ~wt;
    int we = ~vu;
    int wf = ~vv;
    int wg = ~vw;
    int wh = ~wx;
    int wi = ~vy;
    int wj = ~vz;
    int wk = ~wa;
    int wl = ~wb;
    int wm = ~wc;
    int wn = ~wd;
    int wo = ~we;
    int wp = ~wf;
    int wq = ~wg;
    int wr = ~wh;
    int ws = ~wi;
    int wt = ~wj;
    int wu = ~wk;
    int wv = ~wl;
    int ww = ~wm;
    int wx = ~wn;
    int wy = ~wo;
    int wz = ~wp;
    int xa = ~wq;
    int xb = ~wr;
    int xc = ~ws;
    int xd = ~wt;
    int xe = ~wu;
    int xf = ~wv;
    int xg = ~ww;
    int xh = ~wx;
    int xi = ~wy;
    int xj = ~wz;
    int xk = ~xa;
    int xl = ~xb;
    int xm = ~xc;
    int xn = ~xd;
    int xo = ~xe;
    int xp = ~xf;
    int xq = ~xg;
    int xr = ~xh;
    int xs = ~xi;
    int xt = ~xj;
    int xu = ~xk;
    int xv = ~xl;
    int xw = ~xm;
    int xx = ~xn;
    int xy = ~xo;
    int xz = ~xp;
    int ya = ~xq;
    int yb = ~xr;
    int yc = ~xs;
    int yd = ~xt;
    int ye = ~xu;
    int yf = ~xv;
    int yg = ~xw;
    int yh = ~xx;
    int yi = ~xy;
    int yj = ~xz;
    int yk = ~ya;
    int yl = ~yb;
    int ym = ~yc;
    int yn = ~yd;
    int yo = ~ye;
    int yp = ~yf;
    int yq = ~yg;
    int yr = ~yh;
    int ys = ~yi;
    int yt = ~yj;
    int yu = ~yk;
    int yv = ~yl;
    int yw = ~ym;
    int yx = ~yn;
    int yy = ~yo;
    int yz = ~yp;
    int za = ~yq;
    int zb = ~yr;
    int zc = ~zs;
    int zd = ~zt;
    int ze = ~yu;
    int zf = ~yv;
    int zg = ~yw;
    int zh = ~zx;
    int zi = ~yy;
    int zj = ~yz;
    int zk = ~za;
    int zl = ~zb;
    int zm = ~zc;
    int zn = ~zd;
    int zo = ~ze;
    int zp = ~zf;
    int zq = ~zg;
    int zr = ~zh;
    int zs = ~zi;
    int zt = ~zj;
    int zu = ~zk;
    int zv = ~zl;
    int zw = ~zm;
    int zx = ~zn;
    int zy = ~zo;
    int zz = ~zp;
}
    
```

Abb. 2: Vergleich einer identischen Funktion als Quellcode / Source Code und als Executable für MIPS sowie ARM



Wolfgang Koch  
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation,  
 Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE  
 Wachtberg

kontakt@fkie.fraunhofer.de

Markus Antweiler  
 Fraunhofer-Institut für Kommunikation,  
 Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE  
 Wachtberg

kontakt@fkie.fraunhofer.de

## Multisensorielle Drohnenabwehr

**Drohnen revolutionieren die zivile Welt und ermöglichen kreative Anwendungen mit unabsehbarem Nutzen. Dennoch ist auch diese Technologie janusköpfig: Von Unmanned Aerial Systems gehen erhebliche Bedrohungen aus. Die wehrtechnische Forschung stellt sich dieser Herausforderung. Drohnenabwehr geschieht nicht allein im Interesse der öffentlichen Sicherheit, sondern schützt auch militärische Kräfte.**

Zu betrachten sind vor allem signaturschwache Unmanned Aerial Systems, deren Verbreitung kaum kontrollierbar ist. Da sie hochagil operieren und PKW-Geschwindigkeiten erreichen können, sind die Reaktionszeiten für Gegenmaßnahmen kurz. Wesentlich für die Erkennung einer Bedrohung durch Drohnen sind leistungsfähige Sensoren, die jeweils unterschiedliche Aspekte einer anfliegenden Drohne erfassen.

Aufgrund seiner Reichweite und Allwetterfähigkeit ist drohnenoptimiertes Radar von zentraler Bedeutung. Entweder werden Signale ausgesendet oder vorhandene Emissionen als Beleuchtung genutzt. Aus den von Drohnen reflektierten Echos ergeben sich Daten über den Ort, die Geschwindigkeit und den Typ. Passivradar nutzt z. B. Abstrahlungen von Mobilfunkbasisstationen. Da Genehmigungen für aktiven Radarbetrieb immer seltener erteilt werden, ermöglicht Passivradar Drohnen-detektion ohne Emissionsbelastung.

Radardaten sind mit Datenströmen bildgebender Sensoren zu fusionieren, die mehrere Spektralbereiche erfassen. Obwohl sie geringere Reichweiten als Radar erzielen und wetter- bzw.

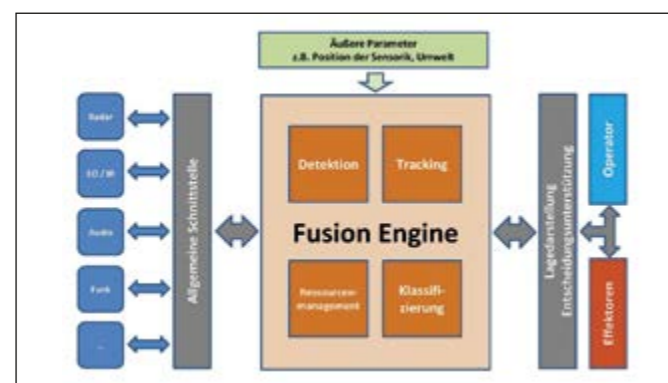


Abb. 1: Schema einer modularen und skalierbaren Fusionsarchitektur für ein Drohnenabwehrsystem mit standardisierten Interfaces



Abb. 2: Experimentelles 16-Kanal-Passivradarsystem, das Mobilfunkbasisstationen (GSM Broadcast-Signale) zur Drohnenbeleuchtung nutzt

tageszeitabhängig sind, erleichtert ihr Auflösungsvermögen die Zielklassifikation und reduziert somit Falschalarmraten durch Multisensordatenfusion.

Ferner machen Eigenemissionen Drohnen detektierbar, etwa durch Funkfernsteuerung: Durch Auswertelgorithmen werden dadurch die Drohne und ihr Pilot lokalisierbar. Aber auch autonom operierende Drohnen bauen wenigstens intermittierend Daten-Links auf. Ebenfalls wichtig sind akustische Emissionen. Array-Signalverarbeitung besitzt hierbei eine Schlüsselfunktion für Peilung und Ortung. Eine Signalanalyse ermöglicht eine Klassifikation der Drohnen, bevor sie im Sichtfeld sind. Robuste Systemlösungen erfordern zusätzlich Methoden des Sensorressourcen-Managements, etwa für die Einweisung von Laser Gated Viewing.

Bei allem Gefährdungspotential haben „Jedermann-Drohnen“ den Vorteil, dass sie kaum elektronischen Selbstschutz bieten. Soft kill kann daher ihre Funktionalität einschränken. Hard kill, z. B. durch Projektile, Laser oder elektromagnetische Impulse, ist meist nur im militärischen Kontext eine Option, kann aber auch hier unkalkulierbare Folgen haben (chemische, biologische, radioaktive, explosive Nutzlasten). Die Abschätzung möglicher Kollateralschäden muss jede Diskussion von Gegenmaßnahmen begleiten.

Teilweise können Methoden der elektronischen Kampfführung eingesetzt werden, etwa um Fernsteuerungen zu übernehmen. Einfach ist dies bei WLAN-basierten Ansätzen. Bei anspruchsvolleren Verfahren sind die Herausforderungen weitaus größer, so dass Störung der Fernsteuerung in Betracht kommt. Operieren Drohnen autonom, liegt die Störung der Satellitennavi-

gation nahe. Beim Ausspähen durch unerwünschten Drohnen-einsatz kann der Daten-Downlink oder die genutzte Sensorik durch elektromagnetische Gegenmaßnahmen gestört werden. Falls ein Gegner darauf setzt, die gewonnenen Daten an Bord aufzuzeichnen, wäre er gezwungen, die Drohne wieder in Besitz zu bringen. Als Gegenmaßnahme wäre die Drohne weiterzuverfolgen und sich von ihr zum „Täter“ führen zu lassen.

Ist dagegen mit „Kamikaze“-Drohnen zu rechnen, wäre an Abfangdrohnen zu denken, die etwa durch ein Netz versuchen, die Bedrohung zu neutralisieren. Auch „Gegenabwehr“ wäre zu betrachten: Wie ist der Einsatz eigener Drohnen sicherstellen, wenn potenzielle Gegner Drohnenabwehr nutzen?

Der Fusion und dem Management der Sensoren und Gegenmaßnahmen fällt eine Schlüsselrolle bei der Drohnenabwehr zu. Im Verbund „Führung, Aufklärung, Wirkung und Unterstützung“ ist sie jedoch lösbar, setzt aber enge Kooperation der Bedarfsträger, der Forschungsinstitute und der Industrie voraus. Beim Schutz stationärer Einrichtungen und mobiler Kräfte im urbanen oder offenen Gelände ist die Einbindung der Fusion in Führungsinformations- und Kommunikationssysteme entscheidend.

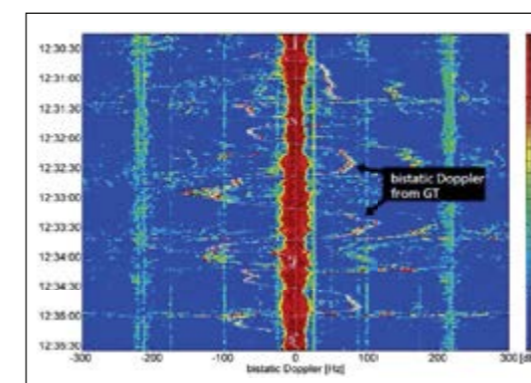


Abb. 3: Range-Doppler-Diagramm mit erwarteter Doppler-Frequenz als Funktion der Zeit: Erster Nachweis einer Drohnen-detektion auf der Basis von GSM-Broadcast-Signalen

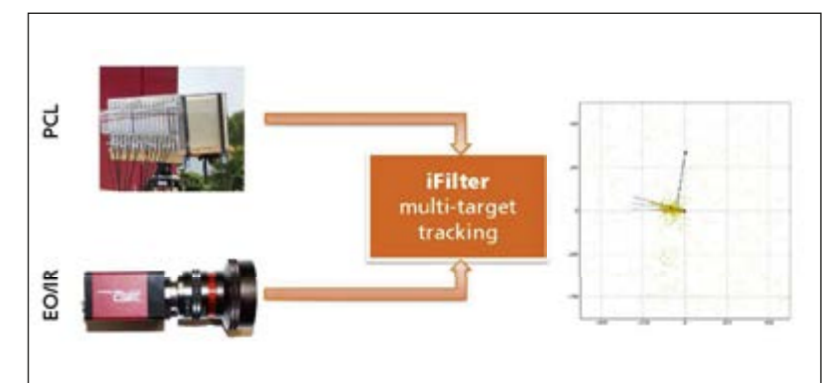


Abb. 4: Fusion der Messungen eines GSM-Passiv-Radars und eines E/O-IR-Sensors durch Intensity Filtering (iFilter), eines leistungsfähigen Multitarget-Trackers (experimentelle Resultate)



Dr. Szymon Gładysz  
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik  
und Bildauswertung IOSB  
Ettlingen

info@iosb.fraunhofer.de

Andreas Zepp, M.Sc.  
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik  
und Bildauswertung IOSB  
Ettlingen

info@iosb.fraunhofer.de

## Adaptive Optik für Freistrahlkommunikation

**Laserbasierte Freistrahlkommunikation bietet den Vorteil, abhörsichere Datenübertragung im lizenzfreien Wellenlängen-Bereich zu realisieren. Leider wird dieses Verfahren besonders stark von atmosphärischer Turbulenz beeinflusst. Am Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB werden Korrekturverfahren untersucht, um zukünftige optische Freistrah-Verbindungen zu ermöglichen.**

Freiraumkommunikation (d. h. nicht Kabel- oder Fasergebunden) ist kein neues Konzept: Radio- und Mikrowellen werden schon seit den Experimenten von Heinrich Hertz im Jahr 1887 zur Kommunikation eingesetzt. Warum dennoch zurzeit ein so großes Interesse an Laser-basierter Freiraumkommunikation besteht, lässt sich mit Hilfe der folgenden Fakten erklären:

- Laserlicht ist gerichtet, wodurch das Abhören eines Laserübertragungskanal verhindert wird.
- Eine im Vergleich mit Radio- und Millimeterwellen kleinere Wellenlänge entspricht größeren Bandbreiten und kleineren Antennen; kleinere Antennen wiederum beinhalten die Möglichkeit, derartige Geräte auf kleinen, auch bewegten Plattformen einzusetzen.
- Für die Verwendung von Wellenlängen kleiner als 1000  $\mu\text{m}$  ist keine Lizenz erforderlich.

Selbstverständlich ist die FSO-Technologie (FSO: Free-Space Optics), wie der Name schon sagt, unabhängig von der Verfügbarkeit von Kabeln zwischen den Übertragungsstationen. Als solches, wird sie als vielversprechende Lösung des „Last-

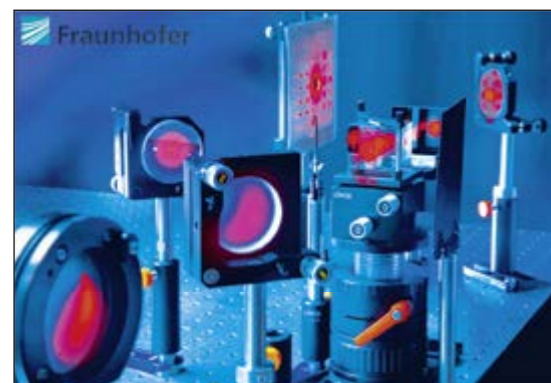


Abb. 1: Holographischer Wellenfront-Sensor

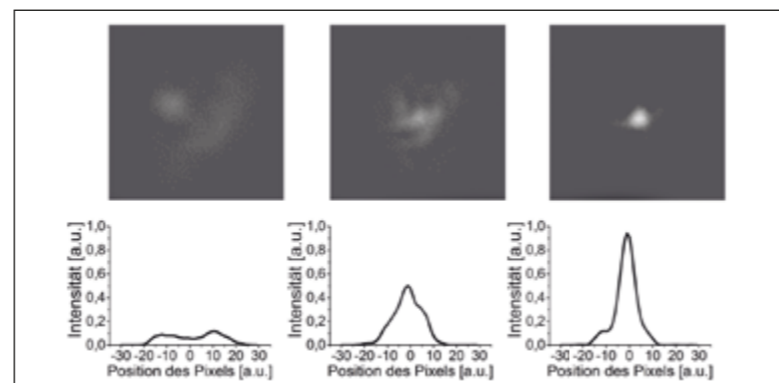


Abb. 2: Korrektur eines Turbulenz-gestörten Laserstrahls mit Hilfe eines Adaptive Optik Systems basierend auf einem holografischem Wellenfrontsensor. Detektorbilder (oben) sowie deren Querschnitte (unten) zeigen, dass nach wenigen Korrekturschritten eine deutliche Verbesserung erreicht werden kann. Von links nach rechts: ohne Korrektur, nach dem ersten Korrekturschritt und nach dem zweiten Korrekturschritt

Max Segel, M.Sc.  
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik  
und Bildauswertung IOSB  
Ettlingen

info@iosb.fraunhofer.de

Dr. Esdras Anzuola  
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik  
und Bildauswertung IOSB  
Ettlingen

info@iosb.fraunhofer.de

Mile“-Problems betrachtet, ebenso wie für die Bereitstellung großer Bandbreiten in ländlichen Regionen sowie Notfall-Dienstleistungen in entlegenen Gebieten, insbesondere in Kombination mit Satellitenfunkverbindungen. Militärische Anwendungen beinhalten die Übertragung von z. B. Überwachungs- und Aufklärungsdaten von Schiff zu Schiff oder zwischen Schiff und Küste.

Laser-basierte Satelliten- und Weltraum-Kommunikation erfordert eine gesonderte Erwähnung. Angesichts der omnipräsens Erd-beobachtender Satelliten und der Datenmenge, welche deren bildgebende Sensoren produzieren, wirft der hohe Datenverkehr zurück zu den erdgebundenen Übertragungsstationen Probleme auf. Ein Satellit im niedrigen Erd-orbit kann pro Tag bis zu 10 Tbits an Daten produzieren. Eine typische Bandbreite im X-band-Frequenzbereich liegt momentan bei etwa 800 Mbps. Dies bedeutet, dass der Satellit mindestens 15 % seiner Zeit in Sichtverbindung zur Bodenstation verbringen und seine gesamte Bandbreite erschöpfen müsste, nur um Daten zurück zur Erde zu senden.

In diesem Zusammenhang sollte nicht vergessen werden, dass Laserkommunikation im Weltraum auch von militärischem Interesse ist. Beispiel: ein einziger Global Hawk benötigt eine Datenrate von Hunderten von Mbps, was bereits 10 bis

20 Prozent der Kapazität jedes der Satelliten in der US MILSATCOM-Konstellation entspricht. Bei gegenwärtig über 40 existierenden US Global Hawks wären bereits bis zu 80 Prozent der Gesamtkapazität der Konstellation beansprucht. Derzeit verlässt sich das US Militär auf kommerzielle Downlinks zu Bodenstationen, um Aufklärungs-Daten von seinen Global Hawks zu übertragen.

Die Atmosphäre hat eine große Auswirkung auf die Leistung von Laserkommunikations-Systemen. Ungeachtet verbindungsunterbrechender Phänomene wie Regen, Schnee oder Nebel, beeinträchtigt atmosphärische Turbulenz die Signalstärke, die am Empfänger ankommt und die Fehlerrate in der Übertragung. Das Fraunhofer IOSB geht das Problem mit fortschrittlicher Adaptiver Optik (AO) an. Im AO Labor in Ettlingen forschen wir an Lösungen für die schwierigste Herausforderung: Laser-Ausbreitung durch starke Turbulenz in Bodennähe. Ein holographischer Wellenfront-Sensor (Abb. 1) ist als möglicher Lösungsansatz in der Entwicklung und liefert vielversprechende Ergebnisse (Abb. 2). Dieses Verfahren wird dann in einem Messsystem zur Charakterisierung und Korrektur atmosphärischer Turbulenz integriert (Abb. 3) und unter realen Bedingungen getestet.



Abb. 3: Transportables Messsystem zur Charakterisierung und Korrektur atmosphärischer Turbulenz



Reinhard Herzog  
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik  
und Bildauswertung IOSB  
Karlsruhe

info@iosb.fraunhofer.de

## Zertifizierung der Interoperabilität von Simulatoren

**Simulationsgestützte Übungen sind heute unerlässliche Hilfsmittel der Bundeswehr und auch der NATO bei der effizienten Vorbereitung von Streitkräfte- übergreifende Einsätzen. Ein bisher offenes Problem war die Sicherstellung der Interoperabilität aller beteiligten Simulatoren. Unter deutsch-französischer Führung wird daher aktuell in einer NATO Arbeitsgruppe eine Zertifizierung von Simulatoren entwickelt.**

Sehr viele der heutigen Simulatoren bilden Systeme und Komponenten nach, die im flexiblen Zusammenspiel innerhalb komplexer Systemverbände zum Einsatz kommen. Ebenso wie ihre realen Vorbilder benötigen ihre virtuellen Gegenstücke in den Simulatoren die Fähigkeit zur Bildung eines Verbundes. Der dabei entstehende Simulationsverbund, der auch als Föderation bezeichnet wird, definiert Regeln für das Zusammenspiel der Teilnehmer, den so genannten Föderationsvereinbarungen. Ob jedoch ein Simulator diese Vereinbarungen einhält, konnte bisher nicht verlässlich überprüft werden. Ein Zustand der oftmals zu sehr hohen Integrationskosten führt und leider auch die Robustheit von Verbänden, sowie Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse stark einschränkt.

Da für die Bundeswehr und ihren NATO Partnern die Verbundsimulation bei Teilstreitkräfte-übergreifenden Übungen und Analysen aus fachlichen und wirtschaftlichen Gründen unverzichtbar geworden ist, bestand hier Handlungsbedarf. Anknüpfend an früheren Arbeiten zur Definition von Interoperabilitätsregeln für Verbundsimulationen, entwickelt die



Abb. 1: Computergestützte Übungen bestehen oft aus vielen interagierenden Systemen



Abb. 2: NATO Arbeitsgruppe MSG-134 Distributed Simulation Architecture & Design, Compliance Testing and Certification

NATO Arbeitsgruppe MSG-134 unter deutsch-französischer Führung eine Grundlage für die Einführung von Zertifikaten für Simulatoren (der Name der Arbeitsgruppe lautet „NATO Distributed Simulation Architecture & Design, Compliance Testing and Certification“).

Eine Grundvoraussetzung für ein funktionierendes Zusammenspiel von Simulatoren in einer Föderation sind Vereinbarungen zur Interoperabilität. Im Schwerpunkt sind damit Datenmodelle und Interaktionsprozesse gemeint. Es kann aber auch darüber hinausgehende Festlegungen zu allen Ebenen der Interoperabilität geben. Wesentlich ist, dass alle Vereinbarungen unmissverständlich und prüfbar formuliert sind. Leider fehlte bisher eine Möglichkeit die Einhaltung dieser Vereinbarungen auf eine international akzeptierte Weise zu überprüfen. Es wurden zwar situationsbezogene Tests durchgeführt, diese hatten jedoch immer nur einen auf den jeweiligen Fall begrenzten Testumfang und damit auch nur eine begrenzte Gültigkeit. Benötigt wird eine international abgestimmte Interoperabilitätsanforderung.

Die im Jahr 2015 gestartete MSG-134 plant bis zum Ende des Jahres 2017 für eine Auswahl von Föderationsvereinbarungen deren Interoperabilitätsanforderungen zu definieren, Testspezifikationen zu formulieren und diese zusammen mit einem Testwerkzeug zu implementieren. Daneben wird ein Betriebskonzept formuliert, mit dem die Vergabe von Zertifikaten geregelt wird.

Damit wird zum ersten Mal ein international einheitlich definiertes Qualitätssiegel für die Interoperabilität von Simulatoren entstehen. Aus Sicht des Herstellers eines Simulators

belegt dies die dessen Qualität, und aus Sicht des Nutzers ergibt sich eine sehr viel bessere Beurteilbarkeit der Verbundfähigkeit eines Simulators.

Das Werkzeug für die Entwicklung und Ausführung der Tests ist ganz bewusst als quelloffenes Programm angelegt. Damit soll erreicht werden, dass die Verfügbarkeit und Nutzung ohne Einschränkungen möglich ist. Jeder Entwickler eines Simulators soll in der Lage sein, sein Produkt so zu testen, wie es auch später abgenommen und eingesetzt wird.

Dahinter steht die Überzeugung, dass nur durch intensive Tests in allen Phasen ein effizienter und verlässlicher Betrieb von Simulatoren im Verbund möglich ist. Der Name des entstehenden Werkzeuges lautet IVCT und steht für die drei Anwendungsbereiche Integration, Verification und Certification Tool.

Aus Sicht der NATO ist vorgesehen, dass eine oder mehrere akkreditierte Einrichtungen die Durchführung der Zertifizierung übernehmen. Ergänzt werden diese durch nationale Testeinrichtungen der öffentlichen Beschaffungseinrichtungen, die mit diesem Instrumentarium Abnahmebedingungen definieren und Prüfprogramme durchführen können.

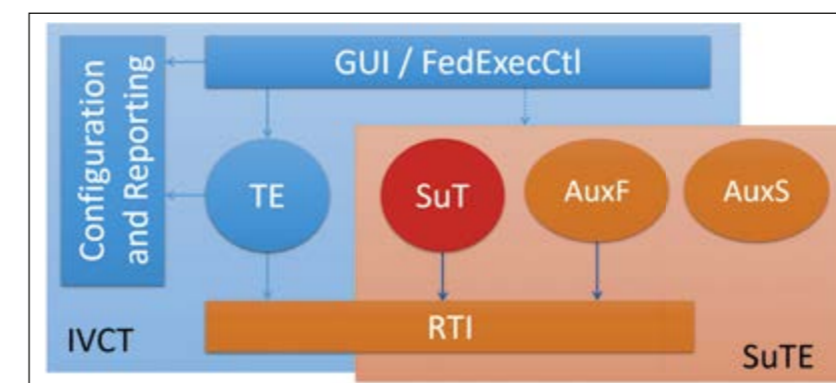


Abb. 3: Integration, Verification and Certification Tool, IVCT



## Quantenkaskadenlaser für die Detektion von Gefahr- und Explosivstoffen

Am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF wurden abstandsfähige Hyperspektrale Messsysteme mit aktiver Beleuchtung durch QCLs entwickelt und deren Einsatz für die Detektion von Explosivstoffrückständen validiert. Die aktuelle Entwicklung schnell durchstimmbarer QCL-Lichtquellen ermöglicht die Konzeption von kompakten und kosteneffizienten Spektroskopiesystemen zum echtzeitfähigen Nachweis von Gefahrstoffrückständen.

In den vergangenen Jahren wurde am Fraunhofer IAF intensiv an der Entwicklung von abstimmbaren Laserlichtquellen für verschiedenste spektroskopische Anwendungen im mittleren und langwelligen Infrarotbereich geforscht. Der Quantenkaskadenlaser (QCL) ist ein III-IV Halbleiterlaser auf Basis von InGaAs / InAlAs der mittels Molekularstrahlepitaxie auf InP Substraten aufgebaut wird. Mittels Bandstrukturdesign können QCLs mit Zentralwellenlängen im Bereich zwischen 3.5 µm bis zu 12 µm und spektralen Abstimmbereichen von mehr als 350 cm<sup>-1</sup> realisiert werden. Im Wellenlängenbereich zwischen 7.5 µm und 10 µm ist der QCL eine optimale Lichtquelle für viele spektroskopische Anwendungen, da viele chemische Verbindungen in diesem Bereich ein sehr charakteristisches Absorptionsverhalten zeigen (Abb. 1).

Am Fraunhofer IAF wurde auf der Basis von QCLs eine Laserquelle entwickelt, die eine sehr schnelle Abstimmung der Emissionswellenlänge über einen breiten Spektralbereich erlaubt. Hierfür wird der QCL in einer externen Kavität in Littrow Konfiguration betrieben, bei der ein MOEMS (Mikro-Opto-Elektronisches-System) Spiegel mit eingezttem Beu-

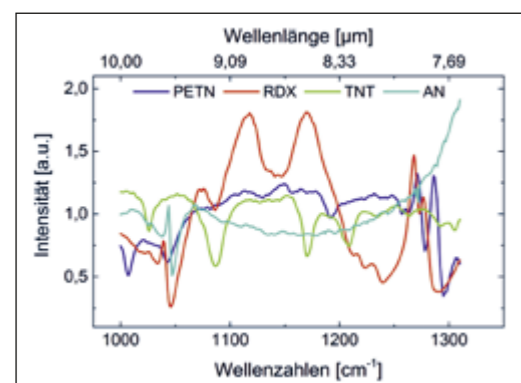


Abb. 1: Die Rückstreukspektren von verschiedenen Gefahrstoffen zeigen ein charakteristisches Absorptionsverhalten in dem betrachteten Wellenlängenbereich

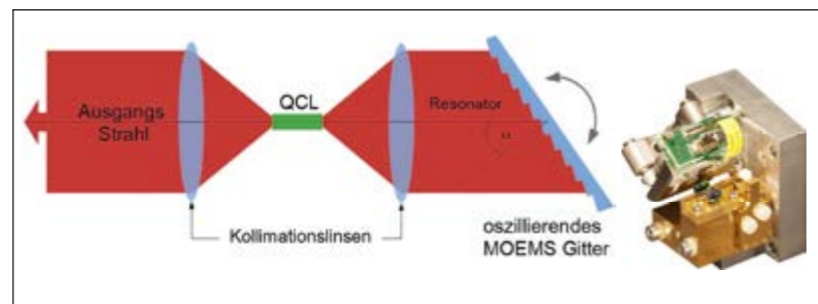


Abb. 2: Prinzip (links) und Realisierung (rechts) der schnell abstimmbaren QCL Lichtquelle für echtzeitfähige Spektroskopieanwendungen

gungsgitter als spektral selektives, refraktives Element im Resonator eingesetzt wird (Abb. 2). Das MOEMS Gitter oszilliert bei seiner Resonanzfrequenz von ~1 kHz und bewirkt mithin eine schnelle Variation der Emissionswellenlänge. Der komplette spektrale Abstimmbereich des QCL Chips kann somit in weniger als 1 ms vollständig durchgeföhren werden.

Mithilfe dieser Laserquelle wurden am Fraunhofer IAF sensorische Systeme demonstriert, die die abstandsfähige Detektion von Gefahrstoffen in Echtzeit mittels Rückstreukspektroskopie ermöglichen. Hierbei wird die zu analysierende Szene spektral selektiv mit dem Laser beleuchtet. Während einer Messung wird die Beleuchtungswellenlänge durchgestimmt und das diffus rückgestreute Licht von einem Infrarotdetektor registriert (Abb. 3a). Die Intensität des Rückstreusignals dient dabei als Messgröße, die als Funktion der Emissionswellenlänge Rückstreukspektren des beleuchteten Szenenpunktes ergibt. In einem abschließenden Analyseschritt können mittels eines mathematischen Modells bekannte Zielstoffspektren durch einen Abgleich mit einer Datenbank identifiziert werden.

Abbildung 3 zeigt den Einsatz dieses Messprinzips für den Nachweis von PETN (Pentrit) Rückständen auf einer Polyamid Oberfläche aus ca. 0,5 m Entfernung. Hierfür wurde die Ober-

fläche sequenziell durch schnelles Verschieben des Messortes auf der Oberfläche abgetastet. Die gemessenen Spektren wurden mithilfe speziell entworfener Analysealgorithmen, die die spektrale Charakteristik des Hintergrundmaterials automatisch in den Detektionsprozess mit einbeziehen, auf Kontamination mit PETN, TNT (Trinitrotoluol), RDX (Research Department Explosive) und Ammonium Nitrat geprüft. Das Analysesystem konnte erfolgreich die PETN kontaminierten Spektren von Hintergrundspektren trennen und die Zielsubstanz zweifelsfrei identifizieren.

Aufgrund fortschreitender Miniaturisierung der Laserquelle bietet dieses Messverfahren mithin das Potenzial, eine kontaktlose sowie abstands- und echtzeitfähige chemische Analyse von Bodenproben in Einsatzfahrzeugen zu realisieren. Weiterhin besteht die Möglichkeit auf Basis dieser Technologie, einen handgehaltenen Sensor zur Detektion von Gefahrstoffsubstanzen für den Einsatz im Feld zu entwickeln.

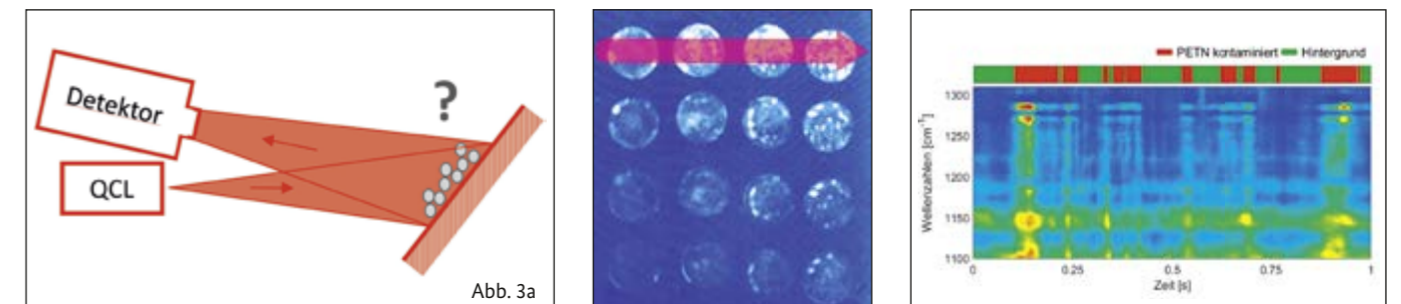


Abb. 3: Ergebnisse der schnellen Rückstreukspektroskopie für den Nachweis von PETN Rückständen auf einer Polyamid Oberfläche



## Elektrochemische Sensorik für Explosivstoffe im Praxiseinsatz bei Seeversuchen

Gemeinsam mit der Wehrtechnischen Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen der Bundeswehr, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71) wurde ein elektrochemischer Sensor des Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in ein unbemanntes Unterwasserfahrzeug integriert und im Rahmen mehrerer Seeversuche getestet. Ziel des Sensorsystems ist der Nachweis von Explosivstoffen in Meerwasser, um Seeminen, Selbstbausprengrsätze oder Munitionsaltlasten detektieren zu können.

Das Fraunhofer ICT in Pfinztal hat gemeinsam mit der WTD 71 ein Projekt zur Entwicklung, Integration und Erprobung eines Sensorsystems für Explosivstoffe in Meerwasser durchgeführt.

Soll ein Gebiet auf das Vorhandensein von Seeminen, Sprengfallen oder Munitionsaltlasten hin geprüft werden, kommt im ersten Schritt Sonar als etablierte Untersuchungsmethode für ein schnelles, großflächiges Screening zum Einsatz. Hierbei wird meist eine Vielzahl von Objekten entdeckt, bei denen es unklar ist, ob es sich um harmlose oder gefährliche und somit zu räumende Objekte handelt. Die nähere Inspektion der verdächtigen Objekte und somit die Entscheidung, ob eine Räumung erfolgen muss, erfolgt zum aktuellen Stand der Technik meist durch Taucher – was ein kostenintensiver, zeitaufwändiger und zugleich gefährlicher Prozess ist.

Der im Rahmen dieses Artikels vorgestellte Detektionsansatz ist die Identifizierung eines verdächtigen Objektes durch den Nachweis des Vorhandenseins der Wirkladung, im ersten Schritt fokussiert auf Explosivstoffe. Dies kann durch ein

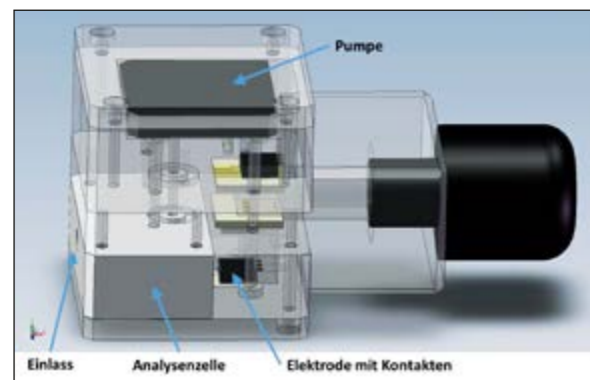


Abb. 1: Sensorkopf mit Messelektroden, Pumpe und Reaktionskammer



Abb. 2: Druckfestes Gehäuse mit Elektronik: Potentiostat, Mini-PC, Pumpentreiber, Stromversorgung

elektrochemisches Sensorsystem erfolgen, welches von einem unbemannten Unterwasserfahrzeug an die verdächtigen Objekte herantransportiert wird.

Das entwickelte Sensorsystem besteht aus einem Sensorkopf, in dem eine Reaktionskammer mit den Messelektroden sowie eine Pumpe untergebracht sind. Der Sensorkopf ist mit einem druckfesten Gehäuse verbunden, in dem sich die Elektronik (Potentiostat, Mini-PC, Pumpentreiber, Stromversorgung) befinden. Es wurden zwei verschiedene Versionen des Sensorsystems aufgebaut. Eines wurde für den Einsatz auf einem AUV (autonomous underwater vehicle) konzipiert, es ist ein komplett autonom arbeitendes, energieautarkes, selbstlernendes System (basierend auf einer SVN, support vector machine), welches lediglich über ein Blinklicht einen Explosivstofffund nach außen kommuniziert.

Das zweite System wurde für den Einsatz auf einem ROV (remotely operated vehicle) aufgebaut, es nutzt die Energieversorgung und Kommunikation des Unterseefahrzeuges und kann von Bord des Begleitschiffes aus ferngesteuert werden.

Das Sensorsystem basiert auf etablierten elektrochemischen Messverfahren zur Detektion von Explosivstoffen. Hierbei erfolgt die Umsetzung (Oxidation oder Reduktion) der Zielsubstanz an der Elektrodenoberfläche, die Messgröße ist der bei der Reaktion stattfindende Ladungsübergang, also der Reaktionsstrom. Aus der Tatsache, dass die Zielmoleküle zwingend an der Elektrodenoberfläche vorhanden sein müssen, wird klar, dass der Sensor möglichst dicht an das zu überprüfende Objekt herangetragen werden muss bzw. die Zielmoleküle an den Sensor herangetragen werden müssen

– ähnlich dem Prozess des Auffindens eines Objektes durch einen Spürhund.

Die praktische Funktionalität des Sensorsystems wurde zwischenzeitlich mehrfach bei Seeversuchen in der Nord- und Ostsee in Deutschland und Polen erfolgreich getestet. Eine Messung läuft hierbei so ab, dass das unbemannte Unterseeboot entgegen der Meeresströmung (damit die Zielmoleküle durch die Strömung an den Sensor herantransportiert werden) auf das verdächtig eingestufte Objekt zu fährt. Dabei werden mit sich verringendem Abstand ständig (je nach gewünschter Empfindlichkeit alle 5 bis 30 Sekunden) durch eine Pumpe Proben eingezogen und sofort elektrochemisch untersucht. Die Messwerte werden dann mit regelmäßig zwischen den Messläufen registrierten Blindmessungen verglichen und ausgewertet. Durch diese vergleichenden Messungen können sich ändernde Messparameter (Salzgehalt, Leitfähigkeit, pH des Meerwassers, Vorhandensein weiterer nicht-detektionsrelevanter Substanzen) abgefangen werden.



Abb. 3: Im Lastkopf der SeeKatze der Firma Atlas Elektronik verbautes Sensorsystem



Abb. 4: Das Sensorsystem bei einem Praxiseinsatz in der Ostsee



Abb. 5: Auf das Vorhandensein von Explosivstoffen geprüfte Munitionsaltlasten und künstliche explosivstoffhaltige Ziele



## Realitätsnahes MANET-Kanalmodell für die Leistungsbewertung von netzwerkfähigen Funkgeräten

Um die mobile, taktische Kommunikation der Bundeswehr fit für die Zukunft zu machen, sollen über die nächsten Jahre neue, netzwerkfähige Funkgeräte beschafft werden. Hierfür hat das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in enger Zusammenarbeit mit der Wehrtechnische Dienststelle für Informationstechnologie und Elektronik (WTD 81) ein realitätsnahes MANET-Kanalmodell entwickelt, das eine objektive und belastbare Bewertung der Leistungsfähigkeit verfügbarer Systeme ermöglicht.

In den kommenden Jahren sollen die Streitkräfte der Bundeswehr mit neuen, MANET-fähigen Funkgeräten (Mobiles Ad-Hoc-Netzwerk) für die mobile, taktische Kommunikation ausgestattet werden. Verglichen mit den derzeitigen Funkgeräten für die Punkt-zu-Punkt-Verbindung zeichnen sich diese durch zahlreiche Vorzüge aus: Sie sind in der Lage, Daten über mehrere Teilnehmer weiterzuleiten und können dadurch größere Flächen abdecken. Zudem sind Ad-Hoc-Netzwerke deutlich robuster, da ein sogenannter „Single Point of Failure“ vermieden wird und angepasste Routing-Algorithmen im Falle eines Teilnehmersausfalls entsprechende Alternativrouten berechnen.

Eine realitätsgetreue Leistungsbewertung der am Markt verfügbaren Systeme setzt eine genaue Kenntnis des Funkkanals sowie die Möglichkeit, diesen im Labor nachzubilden, voraus. Hierfür werden standardisierte Kanalmodelle verwendet. Existierende Modelle sind meist für Rundfunk- und Mobilfunk-Anwendungen ausgelegt und aufgrund der abweichenden Frequenz und Antennenhöhe nicht für die Bewertung militärischer MANET-Systeme geeignet. Des Weiteren ist mit

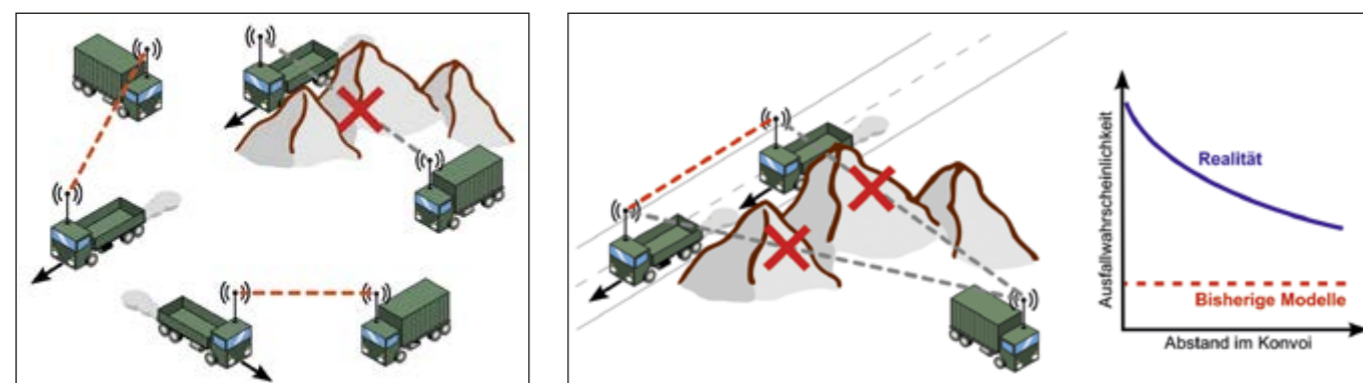


Abb. 1: Bisherige Modelle betrachten die Verbindungen komplett unabhängig voneinander. Szenarien bei denen sich die Funkverbindungen ähneln, wie z. B. bei der Kommunikation mit einem Konvoi, können nicht realistisch nachgebildet werden

Abb. 2: Korrelation der Funkverbindungen in der Realität: hier gleichzeitiger Ausfall der direkten Verbindungen zu einem Konvoi. Um Fehler bei der Bewertung der Routing-Fähigkeiten zu vermeiden, muss diese Korrelation auch im Labor korrekt nachgebildet werden – mit den bisherigen Modellen ist dies nicht möglich

bisherigen Modellen nur die Simulation von unabhängigen Verbindungen möglich (Abb. 1). Typische Anwendungsszenarien der Bundeswehr wie eine Konvoifahrt (Abb. 2) können mit den existierenden Modellen nicht realitätsgetreu untersucht werden.

Ziel der am Fraunhofer IIS durchgeführten Forschung ist es, Fehlentscheidungen in der Funkgeräteauswahl aufgrund unpassender Kanalmodellierung zu vermeiden. Hierzu wurde das MANET-Kanalmodell für Funkverbindungen im Frequenzbereich von 30 MHz bis 400 MHz entwickelt. Es berücksichtigt erstmals die Korrelation der Abschattung zwischen den Verbindungen des Netzwerks. Dies ermöglicht eine fundierte Beurteilung von Routing-Protokollen, die entscheidend für die Leistungsfähigkeit von mobilen Ad-Hoc-Netzwerken sind.

Um eine zuverlässige Datenbasis für das Modell zu schaffen, wurden in Zusammenarbeit mit der WTD 81 umfangreiche Kanalmessungen in dem für die militärische Kommunikation relevanten VHF- und UHF-Frequenzbereich durchgeführt. Dabei wurden sowohl die Dämpfung (Abb. 3) als auch die Impulsantwort (Abb. 4) des Kanals gemessen. Zudem wurde der Einfluss der Umgebung berücksichtigt, indem die Messungen an elf verschiedenen Orten in Deutschland durchgeführt wurden.

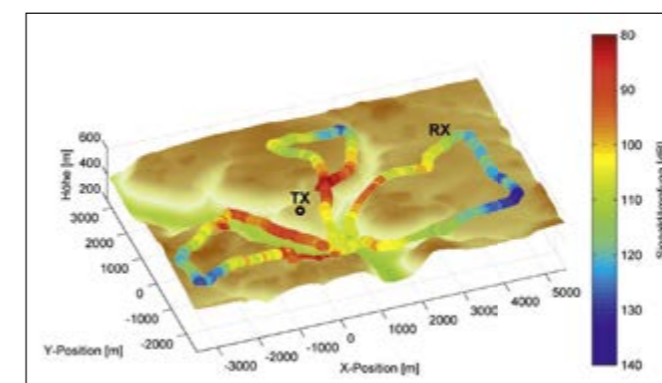


Abb. 3: Ortsabhängige Dämpfung des ausgesendeten Testsignals in einer hügeligen Umgebung. Zu sehen ist der Einfluss von Pfadverlust (entfernungsabhängige Dämpfung) und Abschattung des Signals durch Hindernisse

Im Zuge der Kanalmodellentwicklung wurden die drei maßgebenden Phänomene des Funkkanals, Pfadverlust, Abschattungs- und Mehrwegeschwund, eingehend untersucht und entsprechend angepasste Teilmodelle erarbeitet. Die verschiedenen Teilmodelle wurden im Anschluss zu dem MANET-Kanalmodell kombiniert. Dies erleichtert dem Anwender die Nutzung deutlich. Allein aus der Position der simulierten Teilnehmer über die Zeit modelliert das MANET-Kanalmodell – für die gewünschte Umgebungsklasse und Frequenz – die Kanaleigenschaften aller Verbindungen in einem MANET. So können auch komplexe Szenarien ohne großen Aufwand simuliert werden. Das Modell wurde vom Fraunhofer IIS für typische Software- und Hardware-Simulatoren implementiert, so dass sowohl verfügbare Funkgeräte als auch Systeme im Entwicklungsstadium getestet und bewertet werden können.

Im Gegensatz zu bisherigen Modellen ermöglicht das neue MANET-Kanalmodell eine realistische Nachbildung des Funkkanals für mobile Ad-Hoc-Netzwerke. Fehler bei der Vorhersage des Funkkanals lassen sich damit deutlich minimieren und Fehlentscheidungen bei der Auswahl des optimalen MANET-Systems für die jeweilige Anwendung vermeiden.

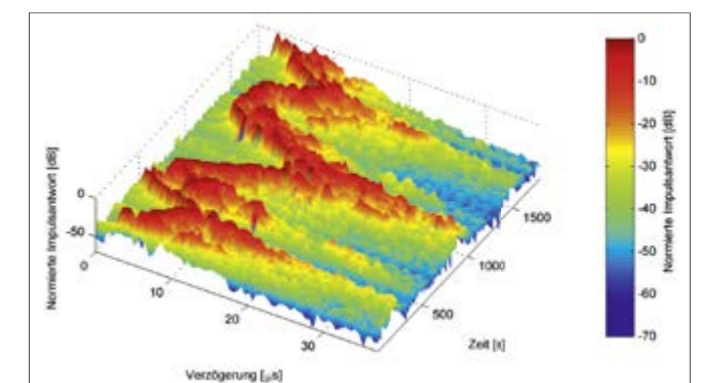


Abb. 4: Normierte zeitvariante Impulsantwort des Funkkanals in einer hügeligen Umgebung. Aufbauend auf diesen Messergebnissen kann eine realistische Mehrwegeausbreitung im Kanalmodell nachgebildet werden



Arne Voß M.Sc.  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Institut für Aeroelastik  
Göttingen

info-pks@dlr.de

Dr.-Ing. Thomas Klimmek  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Institut für Aeroelastik  
Göttingen

info-pks@dlr.de

## Strukturauslegung und Bewertung agiler militärischer Fluggeräte

Für militärische Fluggeräte der nächsten Generation werden mit großer Wahrscheinlichkeit autonome, hoch agile „unmanned combat air vehicles“ (UCAV) in einer Einheit operieren. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) untersucht ein solches UCAV in Form einer hoch gepfeilten Nurflügel-Konfiguration. Schwerpunkte sind Steuerkonzept, Aerodynamik, Aeroelastik sowie die Untersuchung eines strukturellen Layout mit numerischen Methoden.

Parametrische Modellierung basierend auf CAD/CAM/CAGD-Technologien entspricht dem aktuellen Stand der Technik beim Entwurf von neuen Flugzeugen. Das DLR-Institut für Aeroelastik stellt diese Fähigkeit innerhalb des Mephisto-Projekts bereit. Das strukturelle Modell der DLR-F19 UCAV-Konfiguration wird mit der hausinternen Software ModGen aufgebaut. ModGen ist ein parametrischer Preprozessor zum Erstellen von Finite-Elemente-Modellen (FEM), Aerodynamik- und Optimierungsmodellen für die strukturelle Dimensionierung sowie weiterer Simulationsmodelle (z. B. für Massenmodellierung). Eingangsgrößen für diesen parametrischen Prozess sind grundlegende Informationen wie Profildaten, geometrische Abmessungen und Entwurfsparameter des Flügelkastens (z. B. Anzahl, Position und Ausrichtung von Holmen, Rippen und Versteifungen).

Die Kopplung vom strukturellen und aerodynamischen Modell ergibt das sogenannte aeroelastische Modell. Dieses wird für eine umfangreiche Lastanalysekampagne verwendet. Die Lastanalysen werden mit dem Loads Kernel durchgeführt, einer weiteren hausinternen Software. Der Loads Kernel simuliert

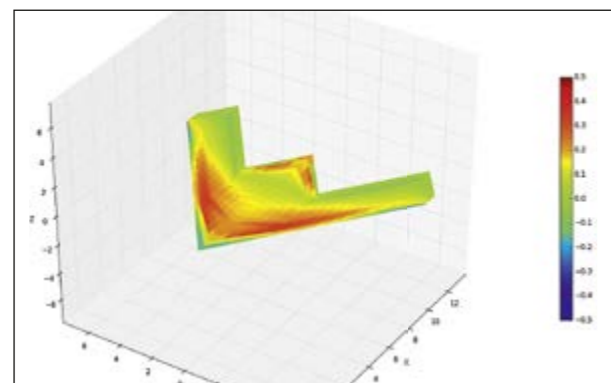


Abb. 1: Druckverteilung auf der DLR-F19 während eines 4.5g pull up Manövers

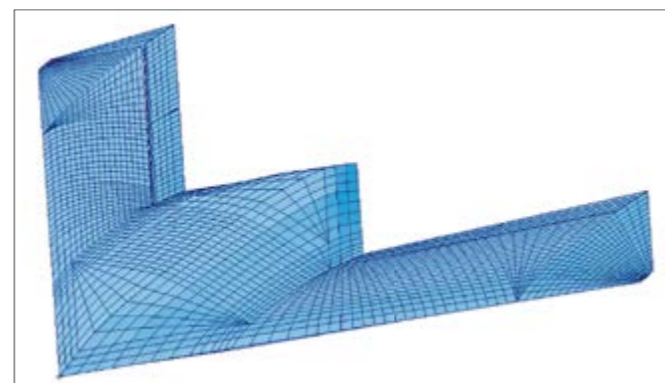


Abb. 2: Strukturelles Modell der DLR-F19

Niklas Windel  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik  
Braunschweig

info-pks@dlr.de

eine große Bandbreite an Manöver- und Böenlastfällen unter Berücksichtigung der elastischen Struktur. Die ermittelten Entwurfslasten werden dann für die Dimensionierung der Struktur verwendet. Da moderne Kohlefasermaterialien eingesetzt werden, kommen spezielle Optimierungsmodelle zum Einsatz. Die Lastanalyse und die strukturelle Dimensionierung sind ein iterativer Prozess, der wiederholt wird, bis Konvergenz (z. B. Gewicht der Struktur) erreicht ist.

Das resultierende Strukturmodell ist die Basis für weitere, flugphysikalische Untersuchungen (z. B. Flugmechanik oder Flattern) und trägt zu verbesserter Abschätzung des Strukturgewichts bei. Ebenfalls kann die Plausibilität des gewählten Strukturkonzepts gezeigt werden. Da das Strukturmodell für aeroelastische Analysen genutzt wird, sollen in erster Linie die globalen, strukturdynamischen Eigenschaften adäquat erfasst werden.

Da die subsonische Doublet-Lattice-Methode die bevorzugte aerodynamische Methode zur Ermittlung von bewegungsinduzierten Luftkräften ist, muss im transsonischen Bereich eine Anpassung vorgenommen werden. Transsonische Strömungen verursachen Verdichtungsstöße, die einen signifikanten Einfluss auf die Druckverteilung haben können. Eine Verlagerung des Druckpunktes verändert die longitudinalen

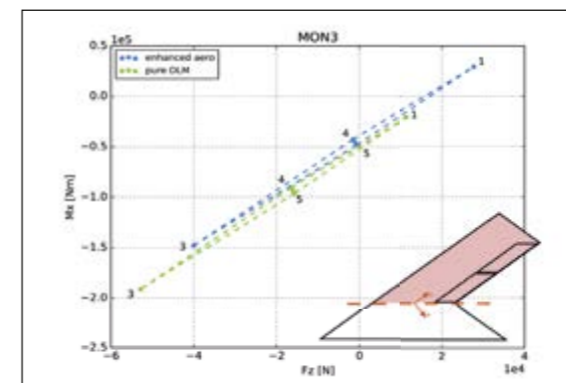


Abb. 3: Schnittkräfte  $F_z$  und -momente  $M_x$  an der Flügelwurzel (MON3) für sieben ausgewählte Manöverlastfälle

Flugeigenschaften. Aufgrund des fehlenden Leitwerks sind Nurflügel-Konfigurationen hierfür besonders sensitiv. Das DLR-Institut für Aeroelastik erforscht diese Effekte und untersucht Lösungsansätze zur detaillierten Berechnung von ausgewählten Effekten mithilfe des DLR-Tau-Codes, einem etablierten numerischen strömungsmechanischen Löser. Die Berücksichtigung solcher aerodynamischen Einflüsse in der Lastanalyse führt zu noch zuverlässigeren aeroelastischen Strukturmodellen.

In Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Aeroelastik liegen die Hauptaktivitäten des DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in der Erzeugung einer leichten Innenstruktur unter der Verwendung von Kohlefaserwebelagen und sogenannten Prepreg-Materialien. Dabei wird auf vorhandenes Wissen zurückgegriffen, um eine kosteneffiziente Struktur zu erzeugen, die gleichzeitig allen angenommenen Lasten des Luftfahrzeugs im Betrieb standhält. Des Weiteren liegt ein Augenmerk auf dem Einbau von morphenden Strukturen zur Realisierung von Scharnieren für eine „low observable“-Konfiguration, neben Konzepten für die Fahrwerksintegration sowie verschiedenen Schließkonzepten für den Waffenschacht.

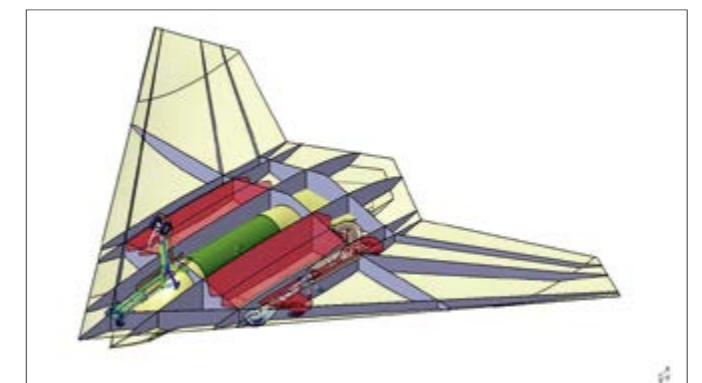


Abb. 4: Konzeptioneller Entwurf der inneren Struktur und des Fahrwerks



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

info-pks@dlr.de

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

info-pks@dlr.de

## Gesamtentwurf von agilen und signaturarmen militärischen Flugzeugen

Im Rahmen eines internen DLR-Forschungsprojektes wird die bestehende Gesamtentwurfsmöglichkeit des DLR auf die Betrachtung von agilen und signaturarmen militärischen Flugzeugkonfigurationen erweitert. Den Schwerpunkt des Projektes bildet der Entwurf einer hoch gepfeilten Nurflügelkonfiguration. Hierbei sollen ein Steuerkonzept ohne Seitenleitwerk sowie ein hochintegriertes Triebwerk entwickelt werden. Der Entwurf soll mit Hilfe von numerischen Verfahren unterschiedlicher Genauigkeit realisiert werden, wobei die Konsistenz der angewendeten Verfahren durch die Expertise und Validierung aus vorangegangenen Projekten sichergestellt ist.

Die nächste Generation militärischer Kampfflugzeuge wird vermutlich nicht länger nur aus bemannten Einheiten bestehen. Daneben wird es voraussichtlich auch teilautonome, unbemannte und zum Teil hochagile UAVs geben, die im Verbund in ein sogenanntes FCAS (Future Combat Air System) eingebunden sind. Neben den damit verbundenen Herausforderungen unbemannter Systeme in Bezug auf autonomes Fliegen und das unbemannte Fliegen im Verbund mit anderen bemannten Systemen im kontrollierten Luftraum, stellt die Entwicklung der Plattform selbst höchste Anforderungen an eine Reihe von luftfahrttechnischen Disziplinen. Unbemannte Flugzeuge bieten weitreichende Möglichkeiten zur Systemintegration, was der Forderung nach einer geringen Radar-, Infrarot- und Akustiksignatur zugutekommen kann. Andererseits geht die gewünschte Kombination aus geringer Signatur und hoher Agilität zumeist mit einer hoch gepfeilten Grundrissform einher, die im mittleren bis hohen Anstellwinkelbereich von einem wirbelbehafteten Strömungsfeld dominiert wird. Die Beherrschung dieser komplexen und nicht-linearen Aerodynamik stellt eine große Herausforderung für das Steuerungssystem dar.

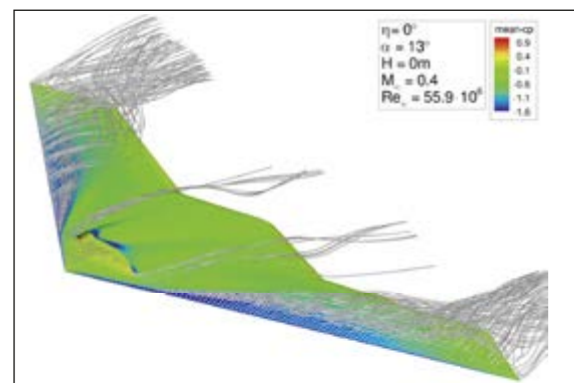


Abb. 1: MULDICON-Entwurf mit integriertem Triebwerkseinlauf (Oberflächendruckverteilung Strömungsfeld)

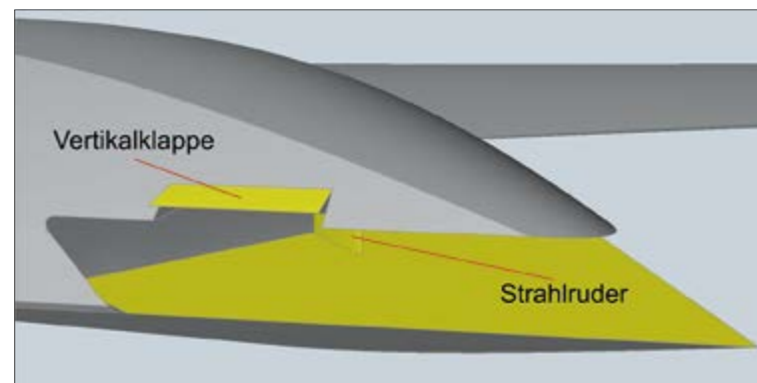


Abb. 2: : Düsenentwurf mit integriertem Strahlruder und Vertikalklappe zur Giersteuerung

Dr.-Ing. Markus Rütten  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Göttingen

info-pks@dlr.de

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik hat sich im Rahmen von wehrtechnischen Projekten die Aufgabe gestellt, einen Beitrag zu Entwurf, Analyse und Bewertung von hochagilen UAVs zu leisten. Im DLR-Projekt Mephisto liegt ein Fokus auf der Entwicklung einer Entwurfsumgebung, die eine Vielzahl von Disziplinen beinhaltet. Neben dem aerodynamischen Entwurf sind dies die Strukturauslegung, das strukturdynamische Verhalten, die missionsspezifische Auslegung des Triebwerks sowie die flugmechanische Bewertung, der Reglerentwurf und die Bestimmung der Radar-, Infrarot- und Akustiksignatur.

Speziell der aerodynamische Flügelentwurf und die Entwicklung eines Steuerkonzepts ohne Seitenleitwerk stellen große Herausforderungen dar. Die Gierstabilität muss in diesem Fall durch alternative Steuerkonzepte, wie adaptive Strukturen oder Schubvektorsteuerung, realisiert werden. Das Erreichen einer hohen Agilität durch ein tragendes Wirbelsystem im mittleren bis hohen Anstellwinkelbereich darf außerdem nicht die Effizienz der Steuerautoritäten beeinträchtigen. Auf diesem Gebiet konnte das DLR verschiedene Lösungsansätze in Form von innovativen Klappen-, Spoiler- und beweglichen Flügelementen an der DLR-eigenen UCAV-Konfiguration demonstrieren.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt im Entwurf hoch integrierter Triebwerkseinläufe und -düsen zur Reduktion der Signatur. Die Vermeidung der Sicht auf den Fan und eine möglichst störungsfreie Zuströmung bis zur Verdichtereintrittsebene liegen hier im Fokus. Verschiedene Konzepte hinsichtlich der Gestaltung von flächigen Triebwerksdüsen wurden untersucht. Als vielversprechend wurde eine Konfiguration mit interner zweigeteilt kühler Bypassströmung identifiziert, da sich neben der Reduzierung heißer Überströmflächen auch eine mechanische Schubvektorsteuerung realisieren lässt.

Im Projekt Mephisto ist es bereits gelungen, durch eine starke Prozessintegration der verschiedenen Disziplinen sowie durch einen hohen Vertrauensbereich der verwendeten Verfahren die Gesamtentwurfsmöglichkeit zu verbessern und eine valide Leistungsprognose von Komponenten und des Gesamtentwurfs bereitzustellen.

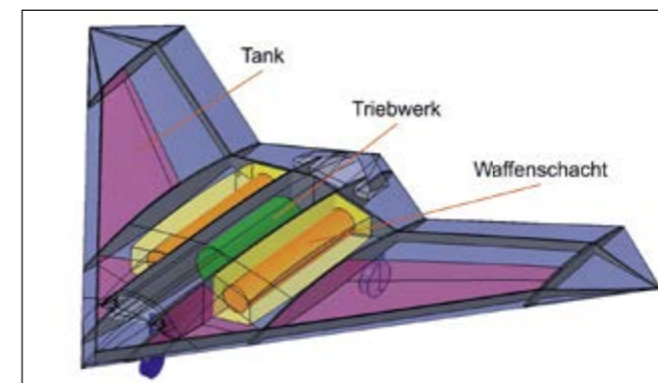


Abb. 3: Ergebnis des MULDICON-Gesamtentwurfs mit Darstellung der Basisstruktur und der Systeme

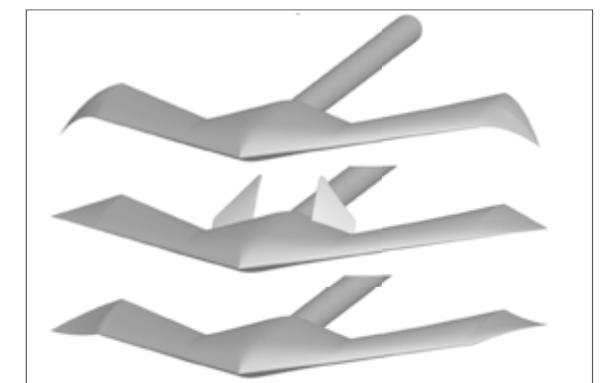


Abb. 4: Studien zum Entwurf des Steuerkonzepts für die MULDICON Konfiguration



Karl-Stéphane Rossignol M.Sc.  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Braunschweig

info-pks@dlr.de

## Richtlinien für lärmarme UCAV-Designs

**Eine neue Methode für die Bewertung der Lärmabschattungseigenschaften von UCAVs (Unmanned Combat Aerial Vehicles) ist vorgestellt. Von besonderem Interesse ist hier die Abschattung des Düsenlärms durch eine optimale Anordnung des Antriebs. Das Ziel der Beitrag ist das Bereitstellen neuer Erkenntnisse in Bezug auf der Akustiksignatur von UCAVs und die Ableitung von Richtlinien für lärmarme UCAV-Designs.**

Die Entwicklung zukünftiger UCAV-Konfigurationen ist aktuell Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Die Entwicklung solcher Fluggeräte stellt hohe technische Ansprüche bezüglich Agilität und der Fähigkeit, autonom zu fliegen. Beide Aspekte setzen maßgebliche Rahmenbedingungen für das aerodynamische Design und erfordern den Einsatz etablierter Auslegungswerkzeuge und -richtlinien. Zusätzlich sind auch die Infrarot-, Radar- und Akustiksignatur von großer Bedeutung für die Auslegung.

Während zu den Infrarot- und Radarsignaturen von UCAV bereits zahlreiche Untersuchungen durchgeführt wurden, ist nur wenig über deren akustische Eigenschaften bekannt. Laufende Forschungsaktivitäten am DLR widmen sich der Schallabschattungswirkung von UCAV-Konfigurationen für optimierte Triebwerkspositionierungen oberhalb des Flügels. Diese Arbeiten werden im Rahmen des DLR-Projekts MEPHISTO durchgeführt. Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt auf der Bewertung einer UCAV-Konfiguration (SACCON) in Bezug auf ihr Lärmabschattungspotenzial mittels einer Referenzschallquelle; siehe Abbildungen 1 bis 3.

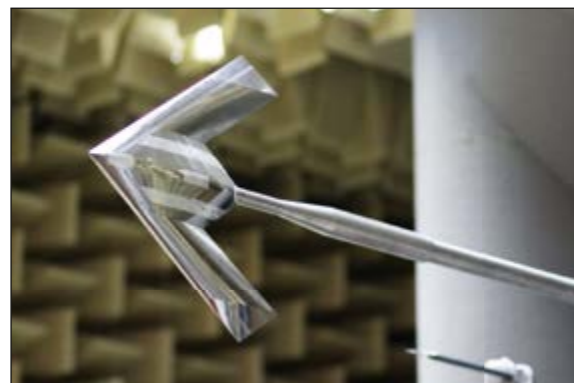


Abb. 1: SACCON UCAV-Konfiguration im Windkanal DNW-NWB



Abb. 2: Versuchsaufbau im Windkanal DNW-NWB

Die experimentelle Bewertung des Schallabschattungspotenzials einer Flugzeugkonfiguration erfordert den Einsatz einer definierten Referenzschallquelle mit bekannten Eigenschaften, die sich für den Einsatz im Windkanal eignet (Abb. 2). Diese Anforderung stellt eine Herausforderung dar, da installationsbedingte, strömungsinduzierte Störgeräuschquellen nach Möglichkeit vermieden werden sollen. Besonders problematisch ist dies in größeren Windkanälen, in denen Aufbauten über große Distanzen in der Strömung errichtet werden müssen. Die DLR-Strategie zur Umgehung dieser Einschränkungen besteht im Einsatz einer Laser-basierten, nicht-intrusiven Schallquelle. Diese Art von Referenzschallquelle steht dem Experimentator als ein sehr nützliches Werkzeug zur Verfügung. Sie dient allerdings nicht dazu, die tatsächlichen Eigenschaften eines realen Triebwerks nachzubilden. Vielmehr können die Quelleigenschaften direkt anhand von Grundprinzipien (Wellengleichung) abgeleitet werden, womit eine exakte numerische Nachbildung der Quelle möglich ist.

Die Referenzschallquelle ist in Abbildung 3 zu sehen. Ihre Realisation umfasst einen konventionellen PIV-Nd:YAG-Laser mit einer Austrittsenergie von 120 mJ sowie zwei, speziell für diese Anwendung hergestellte Optiken. Der emittierte Laserstrahl wird zunächst durch eine Zerstreuungslinse (25 mm Durchmesser) auf einen Durchmesser von ~140 mm aufgeweitet. Danach sorgt eine Sammellinse (150 mm Durchmesser) dafür, dass der aufgeweitete Strahl in 2000 mm Abstand fokussiert wird. Dieser Aufbau ermöglicht die Durchführung von Experimenten in mittelgroßen Windkanälen (Abb. 2) an vergleichsweise großen Windkanalmodellen bei entsprechend hoher Reynoldszahl. Die realisierte Quelle ist breitbandig und weist eine gleichförmige Abstrahlcharakteristik auf.

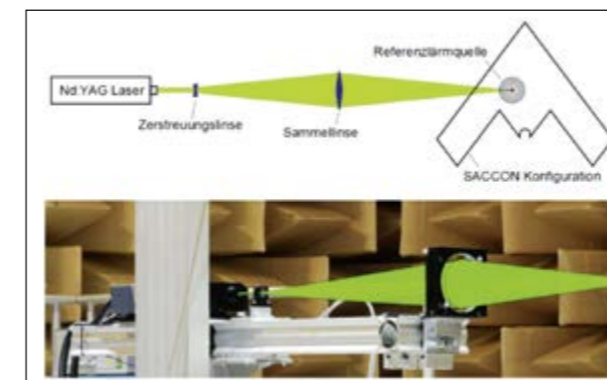


Abb. 3: Laser-basierte Referenzschallquelle

Im Rahmen des Projekts MEPHISTO ist eine umfangreiche Schallabschattung Datenbasis erstellt worden, die für die zukünftige Validierung der DLR-Simulationsverfahren SHADOW und FEM-BEM (Abb. 4.) genutzt werden soll. Darüber hinaus soll sie dazu dienen, Richtlinien für lärmarme UCAV-Entwürfe abzuleiten. Das übergeordnete Ziel dieser Arbeiten besteht darin, die Flugzeugvorentwurf Fähigkeiten des DLR weiter auszubauen. Im September und Oktober 2016 wurden die experimentellen Arbeiten im Windkanal DNW-NWB erfolgreich abgeschlossen.

In einer Kooperation mit der „NATO Science and Technology Organization (STO)“-Gruppe AVT-233 hat das Projekt durch einen regen Austausch mit internationalen Partnern sehr profitiert und wesentliche Fortschritte sowohl auf der experimentellen als auch theoretischen Seite erzielen können.

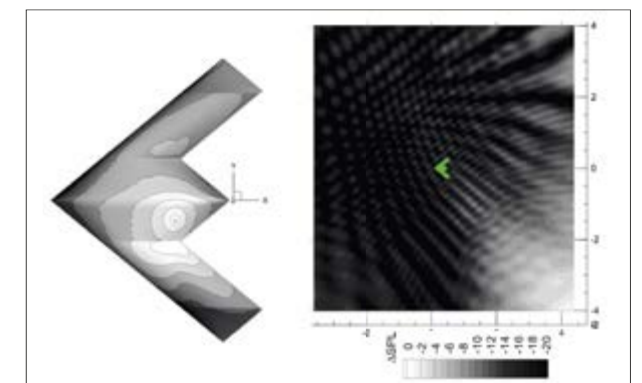


Abb. 4: Simulation der Schallabschattung

Dr. Jürgen Kästel  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Technische Physik  
Stuttgart

info-pks@dlr.de

Dr. Phillip Springer  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Technische Physik  
Stuttgart

info-pks@dlr.de

## Atmosphärische Propagation multimodiger Strahlung

**Um die Propagation von Hochleistungslasern durch turbulente Atmosphäre hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf potentielle Anwendungen zu untersuchen, hat das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt verschiedene numerische Methoden entwickelt. Dabei wurde die Strahlung in eine Vielzahl von Moden unterteilt. Mittels dieses Ansatzes konnten Empfehlungen für potentielle Systemauslegungen gegeben werden.**

Laserbasierte Waffensysteme werden immer wichtiger für die Bundeswehr. Um die Entwicklung solcher Systeme voran zu treiben, ist ein tiefes Verständnis des Zusammenspiels relevanter Systemparameter nötig. Bezüglich des Lasereffektors gehören das Sendeteleskop, die Laserleistung, Strahlqualität und die Gesamtzahl der eingesetzten Strahlen dazu. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat einen allgemeingültigen Algorithmus zur Propagation von Laserstrahlung durch turbulente Atmosphäre entwickelt, um Anforderungen an potentielle Systeme identifizieren zu können.

Die Entwicklung von Hochenergielasern ist in den letzten Jahren stark vorangetrieben worden. Laser mit Leistungen von mehreren kW und guter Strahlqualität sind kommerziell erhältlich. Trotzdem sind für viele Anwendungen, darunter auch der Lasereffektor, weitaus höhere Leistungen nötig. Dies kann z. B. durch die Kopplung mehrere Strahlquellen geschehen. Abhängig vom Lasersystem und den aktuellen Wetterbedingungen kann die resultierende Leistungsverteilung jedoch stark variieren. Um verschiedene Waffensysteme miteinander zu vergleichen ist es daher nötig, auf eine allgemein-

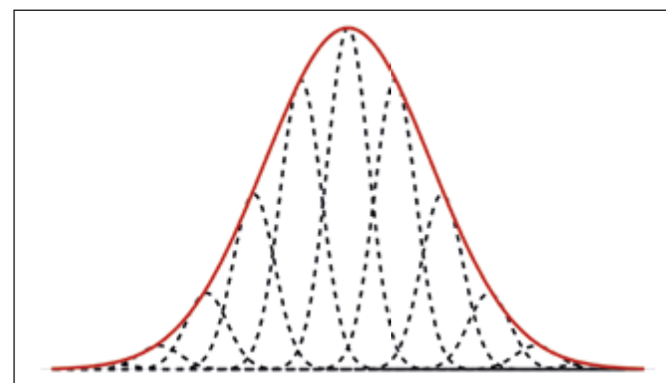


Abb. 1: Unterteilung der Intensität in Gauß-Schell Moden

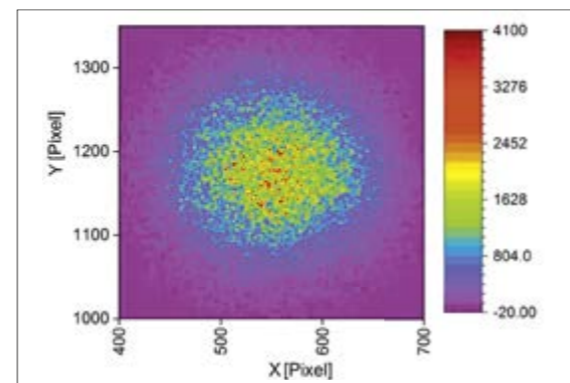


Abb. 2: Experimentell ermittelte Strahlintensität

Dipl.-Phys. Jochen Speiser  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Technische Physik  
Stuttgart

info-pks@dlr.de

gültige Modellierung der Intensitätspropagation durch turbulente Atmosphäre zurückgreifen zu können.

Die Beugungsmaßzahl stellt ein etabliertes Konzept zur Charakterisierung der Strahlqualität dar. Diese Strahlqualität sinkt typischerweise mit zunehmender Anzahl beteiligter Moden. Eine physikalisch realistische Simulation von Laserstrahlen durch die turbulenzgestörte Atmosphäre erfordert daher das Wissen, welche Moden tatsächlich im Strahlprofil enthalten sind. Da dies aber vom Laserdesign abhängt, ist ein solches Vorgehen nicht zur generellen Anwendung geeignet. Es ist vielmehr notwendig, auf eine universell anwendbare Methode zurückgreifen zu können welche ohne dieses Wissen auskommt.

Das Konzept, welches vom DLR verfolgt wird, stützt sich dabei auf so genannte Gauß-Schell Moden. Hierbei wird die Intensität aus einer Vielzahl von Gauß-Verteilungen zusammengesetzt, die eine kleinere aber identische Breite besitzen und deren Schwerpunkt verschoben ist. Die inkohärente Überlagerung entspricht gerade dem anfänglichen Strahlprofil. Dieser Ansatz erlaubt es, die Strahlqualität unabhängig von anderen Parametern zu wählen. Alle relevanten Strahlcharakteristika können durch diesen Algorithmus modelliert werden, was mit einem Vergleich zu physikalisch realistischen

Methoden und analytischen Vorhersagen gezeigt werden konnte.

Darüber hinaus wurden auch alternative Methoden getestet. Einige konnten die Rechenzeit erheblich reduzieren, andere verfolgten einen komplementären Ansatz auf Basis des Ray-tracings. Alle Algorithmen zeigten vielversprechende Ergebnisse und werden mit Blick auf potentielle Anwendungen in naher Zukunft von Nutzen sein.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass die Intensität am Ziel entscheidend von allen wichtigen Systemparametern (Strahlqualität, Sendeteleskopgröße, Anzahl der gekoppelten Strahlquellen sowie deren Leistung) abhängt. Vergleicht man Systeme identischer Gesamtleistung bestimmen diese Parameter, ob ein System mit wenigen Lasern hoher Einzelleistung (aber niedriger Strahlqualität) oder eines mit vielen Lasern bei schwächerer Einzelleistung (aber höherer Strahlqualität) eine höhere Wirkung am Ziel ermöglicht. Die Fähigkeiten, die durch diese Studie erworben wurden, erlauben dem DLR fundierte Empfehlungen in strategischen Belangen zum Design einer Laserwaffe auszusprechen.

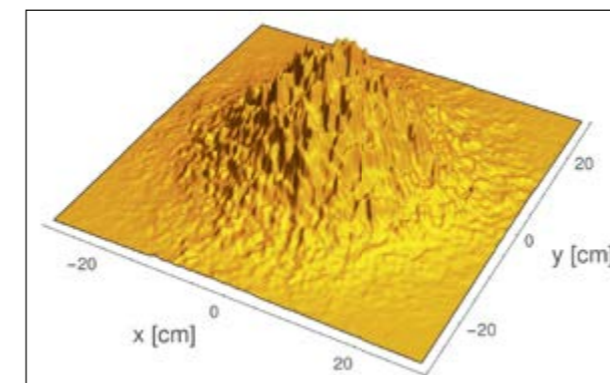


Abb. 3: Numerisch simuliertes Strahlprofil

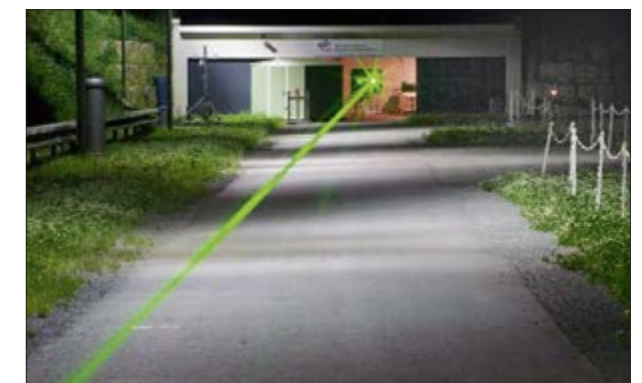


Abb. 4: Propagationsexperiment auf der Laserfreistrahlstrecke



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

info-pks@dlr.de

Dr. Ivo Buske  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Technische Physik  
Stuttgart

info-pks@dlr.de

## Laseroptische Nachführsysteme

**Laseroptische Nachführsysteme können im Bereich der Luft- und Raumfahrt und der Wehrtechnik zur Detektion, Ortung, und Identifizierung bzw. zur Einweisung von Lasereffektoren auf entfernte Objekte eingesetzt werden. Der Einsatz im Nahbereich für Abstände von wenigen Kilometern bzw. für Objekte im Erdorbit führt zu unterschiedlichen Anforderungen an Agilität bzw. Genauigkeit der Nachführung.**

Das Institut für Technische Physik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt, betreibt und charakterisiert laseroptische Nachführsysteme für die genannten Einsatzbereiche. Diese Systeme sind sowohl in Empfangs- als auch in Lasertransmitterkonfiguration ausgelegt und werden im Labor und im Freifeld auf unterschiedlichen atmosphärischen Teststrecken betrieben. Ein besonderer Schwerpunkt der aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten liegt in der Nachführung auf und Positionsbestimmung von unkooperativen Targets im Luftraum mit anschließender Einweisung eines Wirklasers.

Die Nachführung auf Flugobjekte erfordert typischerweise sehr agile Plattformen, die hohe Winkelbeschleunigungen und hohe Winkelgeschwindigkeiten mit einer genauen Positionsbestimmung verbinden müssen. Astronomische Montierungen sind hierzu nur bedingt geeignet und sollten im Hinblick auf Agilität bzw. Echtzeitverhalten optimiert werden. Typische unkooperative Targets im Luftraum sind UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), die sich insbesondere im Frequenzbereich von Radarsystemen durch eine geringe Rückstreusignatur

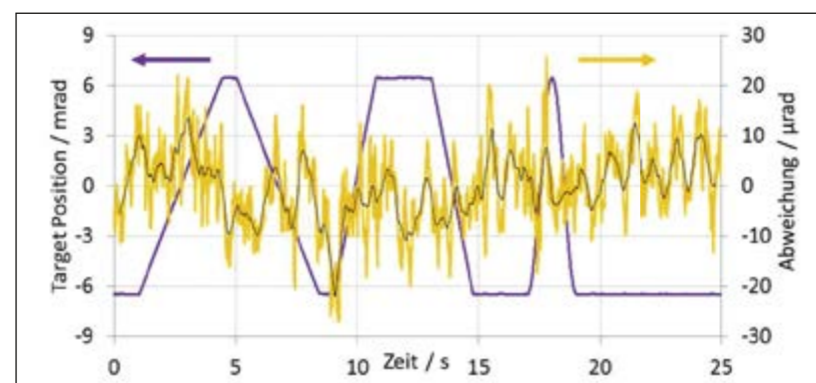


Abb. 1: Bewegungsprofil des Lineartisches mit montiertem kooperativen Target (violett) und zugehörigem Messfehler des mobilen optischen Trackingsystems (gelb)



Abb. 2: Lineartisch in der Empfangsstation der Freistrahlestrecke

Andreas Walther  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Technische Physik  
Stuttgart

info-pks@dlr.de

auszeichnen und entsprechend schwer zu orten sind.

Zur Bewertung der Randbedingungen und des Potenzials der Ortung von unkooperativen Targets im Luftraum mit laser-optischen Verfahren wird vom Institut für Technische Physik des DLR ein mobiles optisches Trackingsystem betrieben. Diese Forschungsplattform erlaubt die Nachführung und genaue Positionsbestimmung von entfernten, fliegenden Objekten. Seitens der Empfangssensorik ist das Trackingsystem mit zwei Kameras in Form eines bistatischen Aufbaus ausgelegt. Die Trackingkamera besitzt ein größeres Gesichtsfeld mit bis zu  $34^\circ$  Vollwinkel und wird zur Nachführung verwendet. Die Messkamera mit einem Gesichtsfeld von lediglich  $0,4^\circ$  liefert hochgenaue Winkelpositionsinformationen vom getrackten Objekt. Als Schwenk-Neigeplattform wird eine optimierte Montierung mit Direktantrieben in Alt-Az Konfiguration eingesetzt. Typische Winkelgeschwindigkeiten von  $0,4 \text{ rad/s}$  bzw. Winkelbeschleunigungen von  $0,8 \text{ rad/s}^2$  wurden nach der Optimierung erzielt. Die Messgenauigkeit und die dynamischen Eigenschaften des optischen Nachführsystems wurden auf der Freistrahlestrecke des Institutes evaluiert. Diese Teststrecke hat eine Länge von 130 m zwischen Send- und Empfangsstation und erlaubt die Charakterisierung von optischen Nachführsystemen unter atmosphärischen Bedingungen. Ein hochgenauer Lineartisch, installiert in

der Empfangsstation, ermöglicht die Nachbildung von typischen Objektbewegungen. Dieser besitzt hochgenaue optische Encoder, sodass die tatsächliche Objektposition als Referenzmessung erfasst werden kann. Die Beschleunigung von Objekten mit bis zu  $6 \text{ g}$  können mit einer dynamischen Genauigkeit  $< 10 \text{ µm}$  durchgeführt und die entsprechenden Positionswerte aufgezeichnet werden. Die Leistungsfähigkeit des optischen Nachführsystems wurde unter Verwendung eines laserbeleuchteten, mit dem Lineartisch bewegten Targets für verschiedene Bewegungsprofile überprüft. Für Winkelbeschleunigungen von bis zu  $125 \text{ mrad/s}^2$  lagen die ermittelten Abweichungen zur tatsächlichen Objektposition bei weniger als  $10 \text{ µrad}$  (RMS) und sind primär auf Turbulenzeffekte entlang der Propagationstrecke zurückzuführen.

Diese Ergebnisse zeigen das Potenzial der Positionsbestimmung von Objekten im Luftraum mittels optischer Verfahren. Die geplante Implementierung eines laserbasierten Entfernungsmesssystems wird schließlich eine exakte dreidimensionale Ortung von Objekten ermöglichen.



Abb. 3: Infrarotsignatur eines fliegenden UAV

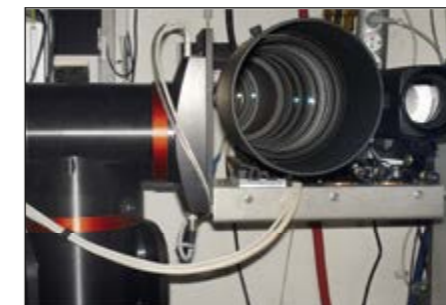


Abb. 4: Mobiles optisches Trackingsystem

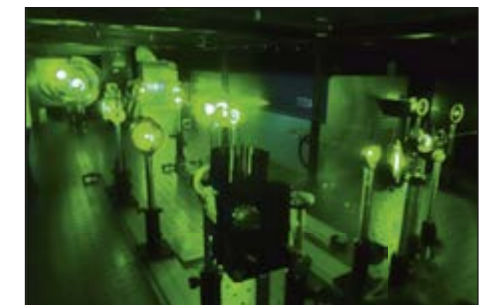


Abb. 5: Target Beleuchtungslaser

Dr. techn. Erich Kemptner  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme  
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

Dr. rer. nat. habil. Andrey Osipov  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme  
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

## Metamaterialien für Mikrowellenradome

**Metamaterialien werden als zukunftssträchtige Technologie für eine breite Palette von militärischen und sicherheitsrelevanten Anwendungen gesehen. Beispielsweise können sie zum Design von Mikrowellenradomen angewendet werden, um die Performanz der abgedeckten Antenne zu verbessern oder das Radom mit ganz neuen Eigenschaften zu versehen, wie z. B. die Frequenzselektivität der Transparenz.**

Metamaterialien (MTM) werden durch eine periodische Anordnung von metallischen oder dielektrischen Einschlüssen in oder auf einem dielektrischen Trägermaterial gebildet. Sowohl die Einschlüsse selbst als auch deren Abstände sind klein im Vergleich zur Wellenlänge der einfallenden elektromagnetischen Welle, so dass für diese das MTM wie ein homogenes Material wirkt. Durch eine geeignete Abstimmung der Form und Größe der Einheitszellen, deren periodischer Anordnung und der Substrateigenschaften können gewünschte Werte der elektromagnetischen Stoffkonstanten realisiert werden, die bei in der Natur vorkommenden Stoffen nicht auftreten.

Strukturen, die von nur einer Lage von Einheitszellen gebildet werden, bezeichnet man als Metaflächen (wenn intransparent) oder Metaschichten (wenn transparent) (Abb. 1). Im Vergleich zu voluminösen MTM sind diese einfacher herzustellen, z. B. wie Platinen für elektronische Schaltungen (PCBs) durch Ätzen von kupferbeschichteten Substratplatten. Eine große Vielfalt möglicher Einheitszellenformen steht im Designvorgang zur Verfügung. Das Aufbringen von steuerbaren Bauteilen wie

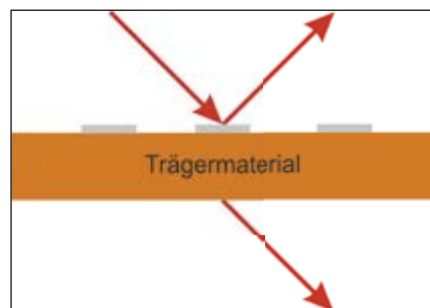


Abb. 1: Metaschicht als eine periodische Anordnung von metallischen Einschlüssen auf einem dünnen dielektrischen Trägermaterial zur Kontrolle der Mikrowellenreflexion und -transmission

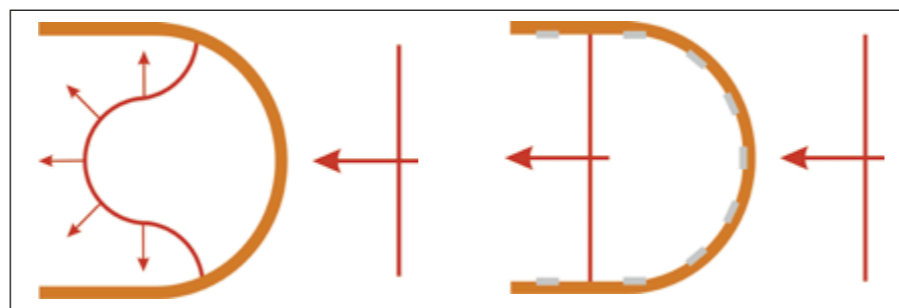


Abb. 2: Wiederherstellung einer ebenen Wellenfront durch Einbringen einer Metaschicht auf der Radominnenseite (links: ohne MTM; rechts: mit MTM)

M.Sc. Ezgi Özis  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme  
Oberpfaffenhofen

info-pks@dlr.de

Dioden, Ferritelementen oder Flüssigkristallen vergrößert die Gestaltungsmöglichkeiten trotz der dünnen Bauform zusätzlich. Im Gegensatz zu frequenzselektiven Flächen (FSS) ist es von großem Vorteil, dass keine Nebenkeulen im reflektierten bzw. transmittierten Feld auftreten.

Ein Radom ist ein wesentliches Teil vieler Antennensysteme, das die eigentliche Antenne und deren Elektronik vor Fremdeinwirkung (Feuchtigkeit, Eis, Hitze, Raumschrottpartikeln, Störstrahlung, ...) oder Personen vor rotierenden Teilen schützt. Auch für die Reduktion des Strömungswiderstandes einer Antenne bei z. B. Flugzeugen oder für deren optische Tarnung sind Radome von Bedeutung. Das perfekte Radom sollte vollkommen transparent sein und die Phasenfront einer Welle nicht verändern. Reale Radome sind stets nur bedingt transparent, was die Richtwirkung, die Bandbreite und den Gewinn einer Antenne negativ beeinflusst. In der Folge leiden die Reichweite und die Richtgenauigkeit des Radarsystems.

Das Einbringen einer Metaschicht innerhalb des Radoms, z. B. direkt auf der Radominnenseite, kann nicht nur die Transparenz verbessern, sondern auch die Welle in gewünschter Weise beeinflussen. Solche neuartige Radomsysteme werden als Metaradome bezeichnet. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen beispielhaft die Wirkung eines Metaradoms zur Wieder-

herstellung der ebenen Wellenfront zur Reduktion des Peilfehlers oder zur Verminderung der störenden elektromagnetischen Wechselwirkung mit anderen benachbarten Antennen oder Signalquellen.

Ein Beispiel einer frequenz- und polarisationsselektiven Metaschicht und die entsprechenden Transmissionsverläufe zeigen die Abbildungen 4 und 5. Die Struktur wurde für X-Band-Frequenzen entworfen und besteht aus einer periodischen Anordnung von Kupferstreifen (8,21 x 2 mm) bei einer Einheitszellengröße von 14 mm, aufgebracht auf einer 2 mm dicken FR4-Platte. Die Transmission der einfallenden, parallel zu den Streifen polarisierten Welle (H-Polarisation) wird bei 10,3 GHz fast vollständig verhindert, während eine senkrecht zu den Streifen polarisierte Welle (V-Polarisation) die Schicht nahezu ungedämpft durchdringt.

Die Anwendung von MTM bei Mikrowellenradomen ist ein neues Forschungsgebiet, das umfangreiche Entwicklungsarbeiten bzgl. deren Modellierung, Design und Herstellung in Hinblick auf realistische Antennensysteme erfordert. Angestrebte Ziele sind z. B. die Verringerung der Größe oder der Störbarkeit einer Antenne oder die Verbesserung der Radomperformanz in Fällen, in denen das Radom wegen anderer Vorgaben elektromagnetisch nachteilig ist.

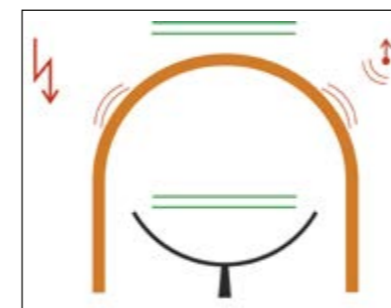


Abb. 3: Reduktion elektromagnetischer Störung durch ein Metaradom. Das Radom ist transparent im Frequenzband und für die Polarisation der abgedeckten Antenne, aber intransparent für die Störstrahlung von benachbarten Antennen oder anderen Signalquellen



Abb. 4: Realisierung einer frequenz- und polarisationsselektiven Metaschicht als eine periodische Anordnung von Kupferstreifen auf dem FR4-Trägermaterial

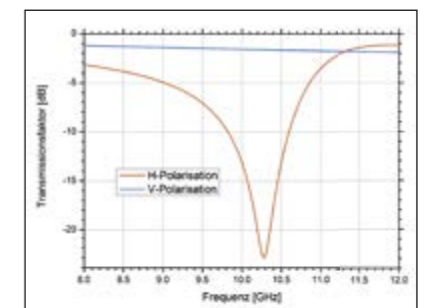


Abb. 5: Betrag des Transmissionsfaktors der in Abb. 4 gezeigten Metaschicht in Abhängigkeit von Polarisation und Frequenz



Dr. Markus Schneider  
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut  
Saint-Louis (ISL), Frankreich

isl@isl.eu

Dr. Oliver Liebfried  
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut  
Saint-Louis (ISL), Frankreich

isl@isl.eu

## Die elektromagnetische Kanone – ein Waffensystem der Zukunft

**Mit der elektrischen Schienenkanone wird zukünftig ein Waffensystem mit disruptivem Potential im Bereich Wirkung und Schutz ermöglicht. Die erzielbaren Reichweiten- und Wirkungssteigerungen ergänzen und erweitern das Fähigkeitsspektrum klassischer Rohrwaffen deutlich. Eine wichtige Systemkomponente, welche aufgrund spezifischer Anforderungen entwickelt werden muss, ist die Energieversorgung.**

Während die Erfolge der US-Navy bei der Realisierung eines Demonstrators breite mediale Öffentlichkeit genießen – so etwa die Darstellung von 32 MJ Mündungsenergie – ist weniger bekannt, dass auch in Europa und hier speziell unter der Verantwortung des BMVg Spitzenforschung auf diesem Gebiet betrieben wird. Das Deutsch-Französische Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL) betreibt seit vielen Jahren Schienenkanonen und adressiert das „Gesamtsystem Railgun“ von der Betrachtung operationeller Szenarien über die Energieversorgungskette bis zur Entwicklung von Projektilen. Während die Mündungsgeschwindigkeit  $v_0$  einer Pulverkanone durch die Schallgeschwindigkeit der Treibgase auf ca. 1.800 m/s begrenzt ist, erreicht man mit der Railgun  $v_0$  von mehr als 2.300 – 3.000 m/s.

Die derzeitigen F&T Aktivitäten im ISL orientieren sich an zwei wichtigen operationellen Szenarien aus dem Bereich der Marine, bei denen die Railgun in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen wird: Als Schiffsartilleriewaffe mit großer Reichweite (150 km und mehr) und als Abwehrmaßnahme gegen bereits heute existierende hypersonische Antischiffsflugkörper – eine Herausforderung für aktuelle an Bord befindliche Ab-



Abb. 1: ISL-Schienenkanone im Kaliber 40 mm mit einer Energieversorgung von 10 MJ



Abb. 2: Im Bau befindlicher toroidaler Induktivspeicher mit einem Energieinhalt von 1 MJ

wehrsysteme. Zukünftig werden auch zivile Anwendungen wie die Verbringung von Kleinstsatelliten an Bedeutung zunehmen.

Für die Entwicklung einer Schienenkanone müssen alle Systemaspekte von der zur Verfügung stehenden Primärenergie, die im Rahmen einer Transferkette schließlich in kinetische Energie zu verwandeln ist, bis zur Auslegung von gelenkten Projektilen betrachtet werden. Dabei ist es von zentraler Bedeutung, eine kompakte und gewichtsoptimierte Energieversorgung darzustellen. Weltweit werden in Laboranlagen heute kapazitive Energiespeicher eingesetzt, welche kommerziell zur Verfügung stehen (Abb. 1). Das ISL arbeitet daher an alternativen Speichertechnologien (z. B. Induktivspeicher mit vergleichsweise zehnfach höherer Energiedichte, Abb. 2) und der Optimierung von Komponenten, wie dem Entwurf von neuen Halbleiterschaltern und Ansteuerlektroniken, welche im Vergleich zu kommerziellen Schaltern Vorteile bei Baugröße, Wirkungsgrad und Echtzeitdiagnose im Railgun-Betrieb mit sich bringen.

Im Hinblick auf die Realisierung einer reichweitengesteigerten Schiffsartillerie wurden im ISL zuletzt zwei extrem wichtige Ergebnisse erzielt. Einerseits konnte mit der in Abbildung 1 gezeigten Anlage demonstriert werden, dass der Wirkungsgrad einer Schienenkanone (Verhältnis von kinetischer Energie zu eingesetzter elektrischer Energie) bei mehr als 65 % liegen kann. Dies ist ein innenballistischer Weltrekord und liegt einen Faktor 2 höher als der Wirkungsgrad einer Pulverkanone (Verhältnis von kinetischer Energie zu bei der Umsetzung des Pulvers freierwerdender Energie). Zum anderen konnten erstmals in Europa mit einer Schienenkanone im Kaliber 40 mm

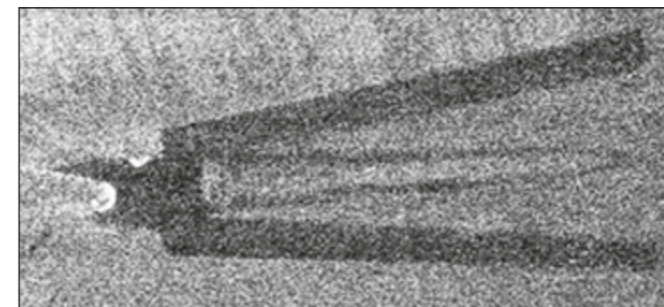


Abb. 3: Projektil mit Penetrator im Freiflug und sich öffnendem Treibspiegel

Projektilen mit funktionierendem Treibspiegelverhalten verschossen werden (Abb. 3).

Als äußerst vielversprechend haben sich Untersuchungen zur Realisierung eines CIWS (Close-In Weapon System) auf Basis einer Schienenkanone erwiesen. Mit dem in Abbildung 4 dargestellten System RAFIRA (RAPid Fire RAilgun) wurden weltweit einzigartige Leistungsdaten erreicht: Projektilen mit Massen im Bereich von 100 Gramm wurden im Kaliber 25 mm auf einer Schienenlänge von nur 3 m auf  $v_0 = 2.400$  m/s beschleunigt, was auf dem Gatling-Prinzip basierenden CIWS wie Phalanx oder Goalkeeper hinsichtlich der Leistungsfähigkeit deutlich überlegen ist. Die Kadenz von RAFIRA kann 75 Hz erreichen, wobei die Möglichkeit eines intelligenten Feuerstoßes, bei dem sowohl  $v_0$  als auch die Dauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schüssen variiert werden kann, besonders erwähnenswert ist.

In Zukunft soll das Spektrum der am ISL durchgeführten Arbeiten bedeutend erweitert werden. Neben innenballistischen Fragestellungen, wie etwa des Materialverschleißes, sollen Aspekte der Abgangballistik, der Außenballistik sowie der Endballistik von mit der Schienenkanone verschossenen Projektilen untersucht werden.



Abb. 4: Feuerstoßfähige Schienenkanone im Kaliber 25 mm

Karine Bonnot  
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut  
Saint-Louis (ISL), Frankreich

isl@isl.eu

Laurent Schlur  
Deutsch-Französisches Forschungsinstitut  
Saint-Louis (ISL), Frankreich

isl@isl.eu

## Materialien zur Detektion von Ultrafeinen Sprengstoffspuren zur zivilen und militärischen Sicherheit

Im Bereich der Sicherung öffentlicher Räume und in militärischen Konfliktzonen stellen die Detektion von ultrafeinen Sprengstoffspuren und die selektive Differenzierung der einzelnen Sprengstoffe hohe Anforderung an die Wissenschaft dar. Das NS3E Labor des Deutsch-Französischen Forschungsinstituts Saint-Louis (ISL) arbeitet hierzu an zwei künftig kombinierbaren Verfahren, einem bioinspirierten Konzept zur Detektion von Sprengstoffdämpfen sowie an der Nanokalorimetrie-Methode.

Neben der Erforschung nanobasierter Sprengstoffe werden im Labor ISL moderne, bio-inspirierte Detektionsverfahren entwickelt. Als Vorbild dienen dem Labor die selektiven und sensiblen Antennen des Nachtfalters *Bombyx Mori* (Abb. 1). Der männliche Falter besitzt die Fähigkeit, mit seinen feinen Antennen einzelne Pheromon-Moleküle aufzufangen und somit weibliche Artgenossen bis in 10 km Entfernung aufzuspüren. Nach einem ähnlichen Prinzip wurden im Labor NS3E übliche Messnadeln / Messfedern (Cantilever) eines Rasterkraftmikroskops mit oxydischen Nanoröhrchen strukturiert (Abb. 2). Diese, der Natur nachempfundenen „Antennen“, sind in der Lage, spezifische Moleküle diverser Produkte wie Sprengstoffe oder Kampfgase zu detektieren. Dabei werden die durch die Adsorption von Sprengstoffmolekülen an den künstlichen Antennen hervorgerufenen Veränderungen der Resonanzfrequenzen der Messnadeln ausgewertet. Dieses Messverfahren ist zurzeit im Stande, Detektionsschwellen im ppt (parts-per-trillion, 10<sup>-12</sup>)-Bereich zu erreichen. Diese Konzentrationsangabe entspricht der Wirkung eines einzelnen Sprengstoffmoleküls in einem Volumen von Tausend Milliarden Gasmolekülen. Diese Detektionsschwelle soll in



Abb. 1: Männlicher Nachtfalter *Bombyx Mori* mit Antennen (Quelle: Scienceimage CSIRO)

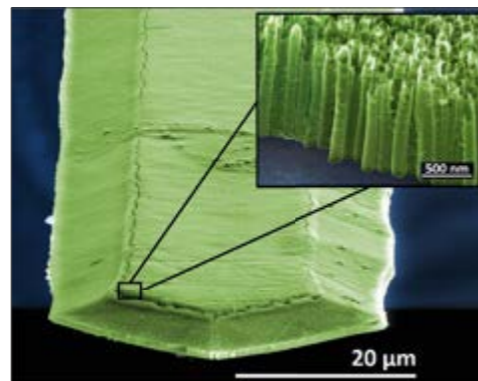


Abb. 2: Modifizierte Cantilever-Spitze mit Metalloxid-Nanoröhrchen zur Detektion von Sprengstoffen

naher Zukunft noch weiter herabgesetzt werden. Die Technologie bietet in absehbarer Zeit die Möglichkeit, unterschiedlichste Stoffe zu detektieren, wie z. B. Kampfgase oder Explosivstoffe und ist deshalb besonders in Krisengebieten unabdingbar. Da diese Sensoren sich aufgrund ihrer geringen Dimension auch in unbemannten Luftfahrzeugen, Drohnen und anderen autonomen Fahrzeugen integrieren lassen, ergibt sich eine Vielzahl weiterer Anwendungsmöglichkeiten. Darüber hinaus ist für diese Technologie auch im zivilen Umfeld eine Vielzahl von Anwendungen denkbar, beispielsweise zur Aufspürung und Identifizierung von ultrafeinen Spuren brisanter Stoffe in öffentlichen Räumen und Gebäuden.

Detektion über Nanokalorimetrie: Die meisten in der Entwicklung befindlichen Technologien zur Detektion von brisanten Chemikalien ermöglichen entweder das Feststellen eines breiten Spektrums an nicht voneinander zu unterscheidenden chemischen Verbindungen oder das Aufspüren einer spezifischen chemischen Verbindung. Für innovative Technologien ist es jedoch entscheidend, die Detektion und gleichzeitige Identifizierung einiger spezifischer Verbindungen sicherzustellen, selbst wenn andere störende Verbindungen in der Luft vorhanden sind. Bei der Chip-Kalorimetrie können die Sprengstoffpartikeln im festen Zustand identifiziert und voneinander unterschieden werden. Dies geschieht durch das schnelle Aufheizen einzelner Partikeln oder geringer Materialmassen (im Femtogrammbereich), die auf eine Siliziumnitrid-Membrane aufgetragen werden und dann bei Heizraten von bis zu 106 K/s stark erhitzt. Das Ergebnis ist eine, für jeden Sprengstoff, spezifische thermische Signatur. Neueste Untersuchungen im NS3E-Labor haben gezeigt, dass die Chip-Kalorimetrie sogar zur Identifizierung eines Sprengstoffes, der vorher

an einem porösen Material adsorbiert wurde, geeignet ist. Beispielsweise ergibt die Durchführung von schnellen Heizversuchen mit Kupferoxyd-Nanopartikeln, die zuvor entweder Hexogen (RDX, Research Department Explosive)- oder Pentrit (PETN)-Dämpfen ausgesetzt wurden, ein thermisches Muster, je nachdem welcher Sprengstoff bereits adsorbiert wurde. Jeder, auf einem Nanomaterial adsorbierte Sprengstoff, besitzt seine eigene spezifische thermische Signatur. Ein zuvor adsorbierter Sprengstoff kann dann bei seiner Desorption anhand dieser Signatur identifiziert werden. Das Nanokalorimetrie-Verfahren ermöglicht es somit, diese zwei getrennt adsorbierten Sprengstoffe voneinander zu unterscheiden.

Mit den dargestellten Forschungsergebnissen steht das Labor NS3E am ISL an der Schwelle zur Überführung dieser Technologien an die Industrie.

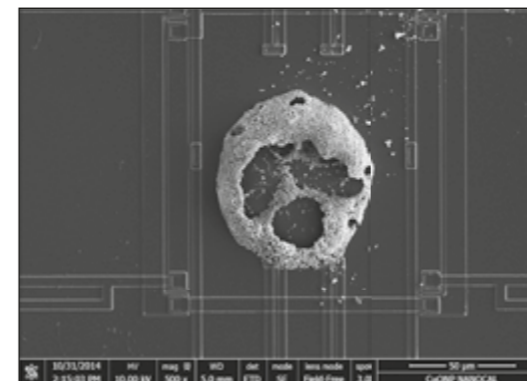


Abb. 3: CuO Kupferoxyd auf dem Nanokalorimeter-Sensor nach der Zersetzung von RDX in der CuO<sub>2</sub>-Matrix. Die Löcher entstehen durch die starke energetische Ausbreitung von RDX-Molekülen außerhalb der Matrix während des schnellen Aufheizvorgangs



Dipl.-Ing. Tobias Ernst  
 Helmut-Schmidt-Universität /  
 Universität der Bundeswehr Hamburg  
 Hamburg

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

pressestelle@hsu-hh.de

pressestelle@hsu-hh.de

## Multikamerasystem zum Brandschutz in militärischen Fahrzeugen

**Die heutzutage in Fahrzeugen der Bundeswehr eingesetzten Brandunterdrückungsanlagen werden zukünftigen Anforderungen nur schwerlich gerecht werden können. Ein Grund hierfür ist die eingesetzte Sensorik. Diese liefert nur minimale Informationen über den Brand. Mit Hilfe eines neuen Ansatzes können Brände im Fahrzeug schnell, sicher und genauer als bisher detektiert werden.**

In ihren Auslandseinsätzen ist die Bundeswehr mit einer immer komplexeren Gefahrenlage konfrontiert. Zum Schutz der Soldatinnen und Soldaten sind die Fahrzeuge der Bundeswehr mit einer Vielzahl an Sicherheitseinrichtungen ausgestattet. Eine davon ist die Brandunterdrückungsanlage (BUA). Diese dient dazu, statische Feuer, aber auch hochdynamische Verbrennungsvorgänge (Verpuffungen) rechtzeitig zu löschen und somit größeren Schaden an Mensch und Material zu vermeiden.

Die heutzutage zur Erkennung hochdynamischer Verbrennungsvorgänge eingesetzte Sensorik ist zwar sehr schnell (< 15 ms), kann aber keine weiteren Informationen über den Brand liefern, wie z. B. Ort, Größe und Ausbreitungsrichtung. Durch den Wegfall von Halon als Löschmittel und die Tatsache, dass man noch keinen adäquaten und umweltverträglichen Ersatz gefunden hat, werden zukünftige Löschmittel (wie z. B. Wassernebel) effektiver, d. h. möglichst direkt am Ort des Brandes eingesetzt werden müssen, weshalb zusätzliche Informationen über den Brand unabdingbar werden. Durch die Anforderung, Brände schon in wenigen Millisekunden erkannt haben zu

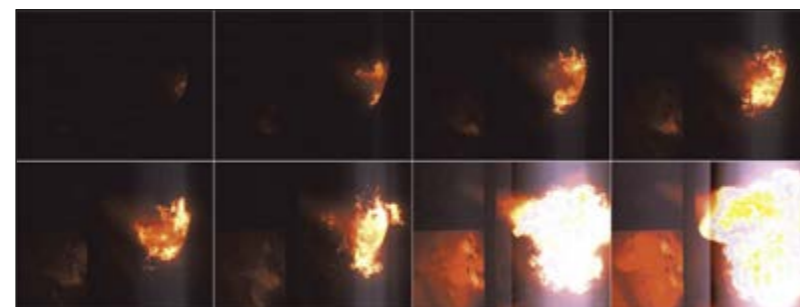


Abb. 1: Bilder einer Dieselverpuffung in einem Testfahrzeug im Abstand von ca. 28 ms (zeilenweise Entwicklung der Verpuffung von links oben nach rechts unten)

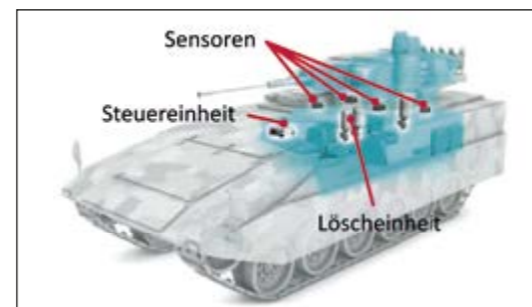


Abb. 2: Brandunterdrückungsanlage in einem Panzer

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

WISposteingang@bundeswehr.org

müssen, werden besondere Herausforderungen an ein zukünftiges Sensorsystem gestellt. Die Erkennung soll sehr sensitiv für Brände sein, aber möglichst keine Fehlalarme generieren.

Ein an der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg (UniBw H) zusammen mit dem Wehrwissenschaftlichen Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) verfolgter Ansatz zur Erkennung hochdynamischer Verbrennungsvorgänge besteht darin, den Innenraum der Fahrzeuge durch mehrere verteilte Kameras zu überwachen. Dadurch wird es möglich, nicht nur zu erkennen, ob es im Fahrzeug brennt, sondern es können auch, sobald mindestens zwei Kameras einen Brand erkannt haben, dessen Position und Größe ermittelt werden. Da das System auf Kameras aufbaut, die im sichtbaren Spektrum des Lichtes arbeiten, sind die Hardwarekosten zwar überschaubar, aber es werden besondere Fähigkeiten an die Bildverarbeitung gestellt. Um diese möglichst einfach und somit schnell zu halten, wurde in einem bereits abgeschlossenen Forschungsprojekt ein geeigneter Detektionsalgorithmus entworfen. Dessen Ergebnisse waren schon sehr vielversprechend, seine Verarbeitungszeit pro Kamerabild mit 54 ms aber zu hoch. Gleichzeitig kamen Fehlalarme, ausgelöst z. B. durch direkt einfallendes Licht einer Taschenlampe, mit einer Fehlalarm-

rate von 20 % noch sehr häufig vor. Durch die Parallelisierung und Optimierung des Algorithmus konnte in einem aktuell an der UniBw H laufenden Forschungsprojekt die Verarbeitungszeit pro Kamerabild auf unter 4 ms gesenkt werden, wodurch die Echtzeitanforderungen nun erfüllt werden können. Gleichzeitig wurden Erweiterungen erforscht und implementiert, die eine genauere und sicherere Erkennung von Bränden bei gleichzeitigem Ausschluss von Störquellen, wie z. B. Taschenlampen, Rundumleuchten, bewegten feuerfarbenen Objekten usw. gewährleisten. Die Fehlalarmrate konnte auf unter 3 % reduziert werden, was ein beachtlicher Fortschritt, für einen späteren Einsatz aber noch zu hoch ist. Durch die kürzlich umgesetzte Auswertung der Bilder mehrerer im Raum verteilter Kameras ist es nun zusätzlich möglich, die Position eines Brandes innerhalb der erforderlichen 15 ms zu bestimmen. Auch eine erste abschätzende Berechnung des Volumen des Brandes ist bereits umgesetzt worden und kann somit Hinweise auf die erforderliche Löschmittelmenge geben.

Da die bisherigen Forschungsergebnisse sehr vielversprechend sind, wird die UniBw H zusammen mit dem WIS zukünftig auch weiterhin an neuartigen Sensorsystemen zum Brandschutz in militärischen Fahrzeugen forschen.



Abb. 3: Funktionsweise eines Brandunterdrückungssystems

Hptm. Pascal Krenz, Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

Sonja Buxbaum-Conradi, M.A.  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

Jan-Hauke Branding, M.A.  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

## Studie „Angewandtes Wissensmanagement in der Bundeswehr“

**Im Rahmen der Studie „Angewandtes Wissensmanagement in der Bundeswehr“ wird derzeit die Umsetzung eines soziotechnischen Wissensmanagements in der Bundeswehr erprobt. Das Konzept beinhaltet den Aufbau virtueller Interaktionsräume, durch welche die asynchrone Zusammenarbeit dislozierter Akteure in projekt- und prozessorientierter Arbeit in der Bundeswehr unterstützt wird.**

Die Umstrukturierung der Bundeswehr war u. a. durch die Zentralisierung spezialisierter Fähigkeiten geprägt, welche eine Verschlingung der Streitkräfte und umfassende Kosteneinsparungen ermöglichte. Jedoch sind Wissensträger zentraler Unterstützungsfunktionen (z. B. Logistik, Sanitätsdienst) nun nicht mehr umfassend über die Fähigkeitsbereiche der Bundeswehr verteilt. Auch Umfang und Vielseitigkeit der Aufgaben der Bundeswehr haben stark zugenommen.

Diese Faktoren fördern heute die Komplexität und Dynamik interner Prozesse und Projekte in den Streitkräften (z. B. Beschaffungsprozesse, Übungsplanung und -umsetzung). Wissens- und Kompetenzträger aus der gesamten Bundeswehr arbeiten an unterschiedlichen Standorten vielfach zeitlich befristet vorgangs- bzw. projektorientiert in asynchronen Kooperationsprozessen zusammen. Die Umsetzung einer effizienten Wissensidentifikation, -teilung und -bewahrung wird zu einem Schlüsselfaktor der Auftragsbefreiung.

Seit 2013 wird die Studie „Angewandtes Wissensmanagement in der Bundeswehr“ vom Laboratorium Fertigungstechnik an

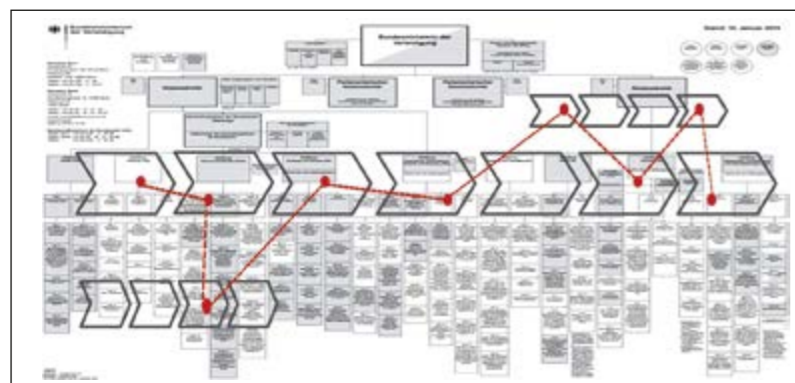


Abb. 1: Hohe Komplexität bereichsübergreifender Prozesse und Projekte in der Bundeswehr

Sissy-Ve Basmer-Birkenfeld, M.A.  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

Dr.-Ing. Tobias Redlich  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

Prof. Dr.-Ing. Jens Wulfsberg  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

der Helmut-Schmidt-Universität unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Jens Wulfsberg durchgeführt. Ziel dieser Studie ist es, die Potenziale moderner IuK-Technologien zu erforschen, um einen effizienten Wissenstransfer über Abteilungs- und Organisationsgrenzen hinweg in wissensintensiven Prozessen und Projekten in der Bundeswehr zu fördern. Es bestehen vielfältige Potenziale, die Transparenz über Auftrag, Rollen, Aufgaben und Ziele für alle Beteiligten in derart dynamischen und komplexen Prozessen bzw. Projekten über den gesamten Arbeitszyklus zu sichern und die Wissensbewahrung langfristig zu gewährleisten.

Als informationstechnische Lösung ermöglichen Groupware und Social Software den Aufbau virtueller Interaktionsräume, innerhalb derer dezentrale Akteure umfassende Möglichkeiten zur Kommunikation (z. B. Web-Meetings, Video-Chats, Instant Messaging, Blogs) sowie zur Koordinierung ihrer Aktivitäten erhalten (z. B. kollaborative Dokumentbearbeitung, Aktivitäten, Wikis).

Bereits heute steht den Mitarbeitern der Bundeswehr mit IBM Connections ein leistungsfähiges Kollaborationstool zur Verfügung, welches vielfältige Potenziale zum Aufbau virtueller Interaktionsräume bietet. Weiterhin wurde bereits ein Beschaffungsprozess „Groupware Bw“ initiiert, um zukünftige Anforderungen bedienen zu können. Kollaborationstools

werden immer relevanter im Arbeitsalltag der Mitarbeiter und Soldaten. Bislang werden die Potenziale der Anwendung IBM Connections allerdings nur in einem geringen Umfang genutzt.

In der Studie wurden vier zentrale Handlungsfelder identifiziert, um eine hohe Produktivität durch die Nutzung der Software in der Bundeswehr zu erzielen:

- Standardisierung der Wissensarbeitsprozesse,
- Entwicklung und Etablierung neuer Rollen,
- eine projektspezifische, funktionale Ausgestaltung des virtuellen Interaktionsraumes,
- Abbau von Wissens- und Implementierungsbarrieren.

Zentral für die Integration eines prozessorientierten, soziotechnischen Wissensmanagements ist neben der Umsetzung der technischen Voraussetzungen (Groupware, Social Software) die Berücksichtigung dieser Handlungsfelder. Insbesondere bedarf es der Schulung jener Personen, denen die Verantwortung für die operative Gestaltung der Projekt- bzw. Prozessarbeit obliegt. Das Team des LaFT arbeitet eng mit dem Referat für Managemententwicklung des BMVg zusammen. Derzeit wird die Implementierung von IBM Connections im Leitungsinformationszentrum des BMVg begleitet.

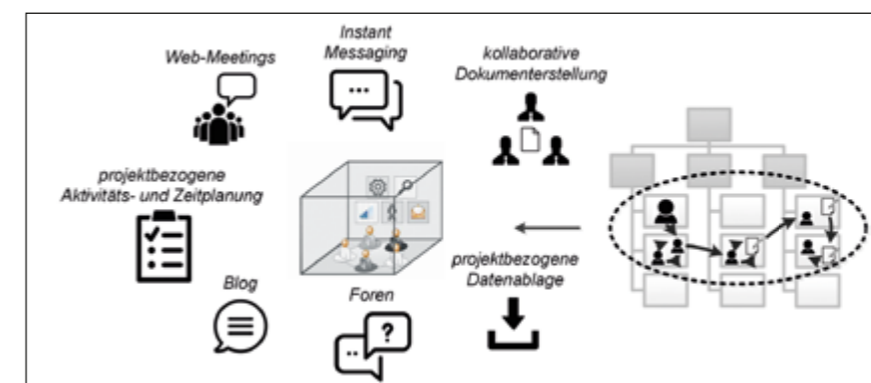


Abb. 2: Bedarfsorientierte bereichsübergreifende Zusammenführung dezentraler Akteure in virtuellen Interaktionsräumen



M. Eng. Tobias Bauerochs  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

Dr.-Ing. Stephan Ulrich  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

## Dynamisches Mikroaktorsystem auf Basis elektrorheologischer Fluide

Heutzutage ist Bauraum ein wichtiges Gut, weshalb Bauteile verkleinert und dezentralisiert werden. Daraus ergeben sich Gewichtsersparnisse und zusätzlicher Bauraum entsteht, der für anderweitige Komponenten nutzbar ist. Weiterhin kann bei Einsatz von Smart Fluids, wie elektrorheologischer Flüssigkeit, eine Verringerung der Bauteilanzahl und dadurch der Ausfallanfälligkeit erfolgen.

Elektrorheologische Fluide (ERF) sind Suspensionen, z. B. aus Silikonöl und Polyurethanpartikeln, bei denen eine Änderung des Fließverhaltens schnell und reversibel möglich ist. Diese Veränderung, als ER-Effekt bezeichnet, kann mit Hilfe eines angelegten elektrischen Feldes erzeugt werden. Aufgrund der Polarität der PUR-Partikel bilden diese Ketten entlang der Feldlinien des elektrischen Feldes. Daraus resultierend ergibt sich eine Viskositätssteigerung, welche beispielsweise bei Ventilen oder Dämpfern genutzt werden kann. Über diese Erhöhung wird bei Ventilen der Fließkanal nahezu gesperrt und eine Druckdifferenz generiert.

In dem laufenden Projekt soll ein Mikroaktorsystem mit Mikro-ER-Ventil und mobiler Versorgung entwickelt werden. Das Mikro-ER-Ventil zeichnet sich durch eine im Vergleich zu üblichen Ventilen erhöhte Kraftdichte aus, erreicht durch eine Selbstverstärkung, realisiert über eine Querschnittänderung des Fließkanals. Das Ventil ist Bestandteil eines Mikroaktorsystems, welches einen hohen Integrationsgrad aufweist. Durch die kleinen Abmessungen, Abstand von Ventil und Aktor, sind kürzere Ansprechzeiten möglich. Das geringere

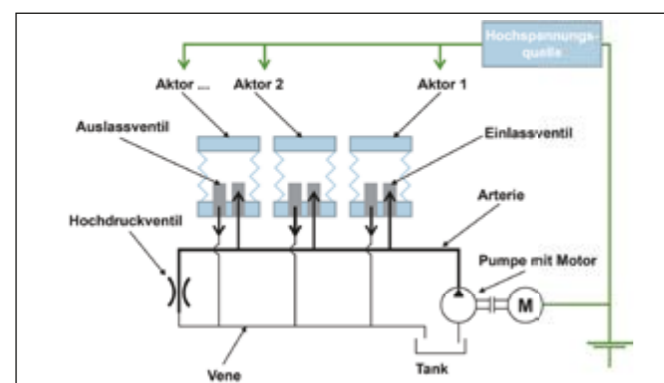


Abb. 1: Schematische Darstellung des Mikroaktorsystems

Prof. Dr.-Ing. Rainer Bruns  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
Hamburg

pressestelle@hsu-hh.de

Dr.-Ing. Steffen Schneider  
Wehrwissenschaftliches Institut für  
Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)  
Erding

wiweb@bundeswehr.org

benötigte hydraulische Volumen führt zu einer Verringerung der hydraulischen Kapazität und Induktivität. Mehrere dieser Aktorsysteme mit ER-Ventilen sollen sich mobil über eine zentrale Versorgungseinheit betreiben lassen. Sie liefert die notwendige Hochspannung und stellt das benötigte ER-Fluid bereit.

Anwendungsmöglichkeiten sind Systeme, die kompakte Aktoren mit hoher Stellkraft und hohen Stellwegen mit einem großen Frequenzbereich von wenigen bis ungefähr 500 Hertz benötigen. In der Flugkörpersteuerung sind hydraulische Systeme mit hoher Kraftdichte und zentraler Leistungsver-sorgung vonnöten. Das Mikroaktorsystem bietet hierbei gegenüber bisherigen Systemen Gewichts- und Raumvorteile. Weiterhin sind Verbesserungen durch hohe Stellfrequenzen in Regelung und Steuerung möglich. Einen Einsatz könnte das System bei der unterstützenden Fortbewegung haben. Exoskelette unterstützen den Soldaten bei der Fortbewegung. Für diese Skelette sind leichte und kompakte Systeme mit zentraler Leistungsbereitstellung notwendig. Durch die Unterstützung und Verstärkung beim Heben oder Transportieren von Lasten lassen sich längere Strecken ohne große Ermüdung zurückgelegt. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist das der Schallerzeugung. Der mögliche Frequenzbereich ist für viele Anwendungen der aktiven Luft- oder Körperschallreduzierung

geeignet. In diesem Bereich wären konventionelle elektromagnetische Lautsprecher tieftönig, wodurch diese groß und schwer sein müssten. Bei der Schallreduzierung bspw. in Flugzeugkabinen wird eine große Anzahl an Aktoren benötigt, was mit kleinen Aktoren mit hoher Kraftdichte und einer zentralen Leistungsver-sorgung umsetzbar ist.

Dem Projekt nachfolgende Untersuchungen sind die Verbesserung der Konstruktion hinsichtlich der erzielbaren Druckdifferenz sowie einer fertigungsgerechten Gestaltung. Die Komponenten sind im Verbund untereinander besser abzustimmen, um eine höhere Leistung erzielen zu können. Weiterhin sind Untersuchungen hinsichtlich der Verwendung von anderen ER-Fluiden denkbar.

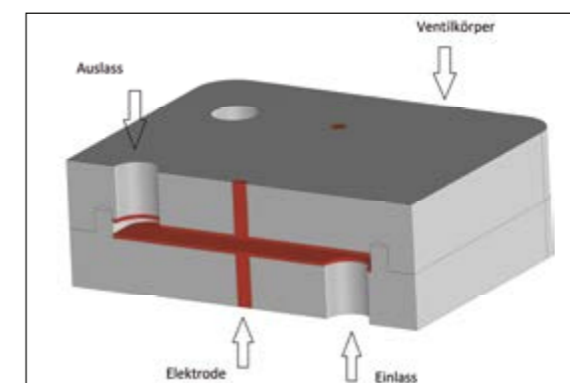


Abb. 2: Mikro-ER-Ventil

## Hochautomatisierte Assistenzfunktionen für Offroad-Szenarien

**Unbemannte Landfahrzeuge (UGV) erlauben eine Reduktion der Gefährdung und kognitiven Belastung des Soldaten im Einsatz. Zur Evaluierung des aktuellen Stands der Technik wird alle zwei Jahre die Military European Land Robot Trial (M-ELROB) veranstaltet. Die UniBw München war auf der M-ELROB 2016 mit den Fahrzeugen TULF und MuCAR-3 in den Szenarien Konvoi und Mule vertreten.**

Die Szenarien der M-ELROB sind aus Militär- und Katastrophenschutzperspektive motiviert. Sie umfassen u. a. die unbemannte Aufklärung in beschädigten Gebäuden, die Bergung von Verletzten oder den fahrerlosen Lastentransport im Konvoi und entlang eingelernter Wegstrecken (Mule). Bei diesem Fähigkeitsvergleich von Robotikplattformen geht es den Veranstaltern jedoch weniger um die Kürung eines Siegers, sondern vielmehr um das Aufzeigen der aktuellen Möglichkeiten aber auch der Grenzen in realen Szenarien. Bei der M-ELROB 2016 auf dem Katastrophenschutzübungsplatz Tritolwerk in Österreich waren nur die beiden genannten Transportszenarien für größere Versuchsträger geeignet.

Das Institut für Technik Autonomer Systeme der Universität der Bundeswehr München (UniBw M) war mit dem eigenen Fahrzeug MuCAR-3 in beiden Szenarien und als Teil des Teams Smart Military Vehicles (SMV, mit Diehl Defence und Hentschel System) mit dem Fahrzeug TULF im Konvoi vertreten. Große Teile der verwendeten Algorithmen wurden im Rahmen von BAAINBw-Studien entwickelt.



Abb. 1: Konvoi-Szenario der M-ELROB 2016: Luftbild des Wettbewerbsgeländes mit gefahrenem Weg (blau), Wegpunkten mit vorgegebener Reihenfolge (gelb) sowie kartierten Gefahrguttafeln (orange)



Abb. 2: TULF (Technologieträger unbemanntes Landfahrzeug) stoppt vor einem dynamischen Hindernis im Konvoi-Szenario. Die für das automatisierte Folgen genutzten Sensoren sind beschriftet

Im ersten Szenario musste ein Konvoi einen Parcours über Wiesen, Feld- und Schotterwege absolvieren (Abb. 1). Der Fahrer des Führungsfahrzeugs erhielt dazu eine Karte mit Wegpunkten, die in der korrekten Reihenfolge passiert werden mussten. Die Versuchsträger sind hierzu mit diversen Sensoren ausgestattet (Abb. 2 und 4), die in den Algorithmen zum Tracking (Detektion und Verfolgung) des Führungsfahrzeugs verwendet werden. Ein modellbasiertes Tracking nutzt bekannte 3D-Fahrzeugmodelle zum Abgleich mit Kamera- und LiDAR-Daten. Ein weiterer Algorithmus arbeitet auf 3D-Punktwolken. Darüber hinaus stellen seriennahe Radar- und LiDAR-Sensoren mehrere Objekthypothesen zur Verfügung. All diese Informationen werden zur Robustheitssteigerung von einer nachgelagerten objektbasierten Datenfusion (OBDF) (Abb. 3) verarbeitet. Daraus wird eine Spur für die automatisierte Quer- und Längsführung des Fahrzeugs erzeugt, die anschließend über ein Drive-by-Wire System eingeregelt wird.

Bei TULF (Abb. 2) kommen die gleichen Softwaremodule zum Fahrzeug-Tracking sowie die OBDF zum Einsatz. Zusätzlich werden hier Positionsinformationen aus einer Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation verwendet, welche vor allem bei Sichtverlust von großem Vorteil sind. MuCAR-3 erreichte im Wettbewerb ohne manuelle Eingriffe den ersten Platz, TULF war zweitplatziert. Die Bewertung erfolgte anhand der auto-

nom gefahrenen Strecke sowie einer Nebenaufgabe aus dem Bereich Aufklärung („Finde orange Gefahrguttafeln, kartiere diese und liefere Bilder ab“).

Das zweite Szenario, Mule, gliedert sich in zwei Phasen: im ersten Teil erlernt und kartiert ein autonomes Fahrzeug einen Weg zwischen zwei Lagern (engl. Teach-In, Abb. 4). Im zweiten Schritt pendelt das Fahrzeug wiederholt autonom zwischen den Lagern (engl. Shuttle). Für das Teach-In kommt eine auf die Detektion von Personen optimierte Version des LiDAR-Trackings zum Einsatz. Während das Fahrzeug zwischen den Lagern pendelt, werden vom Veranstalter immer wieder einzelne Teile der Wegstrecke blockiert. Dies macht das implementierte Verhalten komplex, da das Fahrzeug eigenständig alternative Wege finden muss. Daher liegt die Herausforderung im Mule vorwiegend im Bereich der Planungs- und Navigationsalgorithmen sowie in der Erkennung befahrbaren Terrains. Die Bewertung erfolgte analog zum Konvoi. MuCAR-3 konnte hier am häufigsten pendeln und damit den ersten Platz vor dem Team SMV und vier weiteren Teams belegen.

In Zukunft wird zur Unterstützung der LiDAR-Technik verstärkt die Nutzung von Stereokameras in Verbindung mit Hyperspektralkameras untersucht, welche die Bestimmung der Materialeigenschaft von erkannten Hindernissen erlauben.

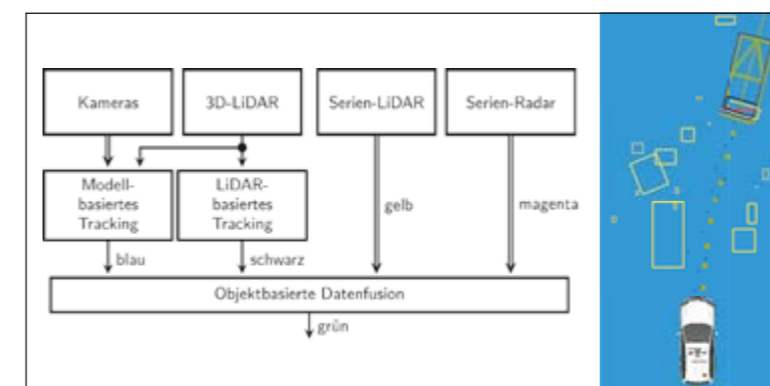


Abb. 3: Objektbasierte Datenfusion im Konvoi-Szenario: Schematische Übersicht des Datenflusses (links) sowie eine beispielhafte Szene mit Visualisierung der Tracking-Ergebnisse inklusive Spur des Führungsfahrzeugs (rechts)



Abb. 4: Teach-In-Phase des Mule-Szenarios: MuCAR-3 folgt automatisch einer Person. Die in den Szenarien verwendeten Sensoren sind beschriftet



## Thermische Analyse von toxischen Chemikalien und sprengstofftypischen Verbindungen

Toxische Chemikalien und sprengstofftypische Verbindungen stellen ein hohes Gefahrenpotential dar. Zur Charakterisierung dieser Verbindungen ist das fundierte Wissen von thermodynamischen Eigenschaften, insbesondere der Flüchtigkeit, von entscheidender Bedeutung. Daher ist die experimentelle Bestimmung, hier durch Simultane Thermische Analyse, für die Erstellung von Risikobewertungen essentiell.

Das Chemiewaffenabkommen untersagt die Produktion, Lagerung und den Einsatz von chemischen Waffen. Jedoch haben nicht alle Staaten das Abkommen ratifiziert. Aktuelle Ereignisse, wie der Einsatz des Nervenkampfstoffes Sarin im Syrischen Bürgerkrieg, zeigen, dass von chemischen Waffen nach wie vor eine Bedrohung ausgeht. Es gibt daher eine erhöhte Nachfrage für die Weiterentwicklung der Verteidigungsfähigkeiten gegen chemische Kampfstoffe, ebenso wie für die Verbesserung von relevanten analytischen Techniken.

Der Dampfdruck ist ein wichtiger Parameter bei der Abschätzung des dynamischen Ausbreitungsverhaltens nach dem Freisetzen von chemischen Kampfstoffen. Die daraus gewonnenen Daten dienen der Risikobewertung, um die notwendigen Schutzvorkehrungen für Soldaten und Waffensysteme festlegen zu können. Weiterhin basieren die Auslegung von vakuumbasierten Dekontaminationsverfahren und die Kalibrierung von Detektionsgeräten auf entsprechenden thermodynamischen Daten.



Abb. 1: Simultane Thermische Analyse (STA) Apparatur zur Durchführung von TG-DSC Messungen

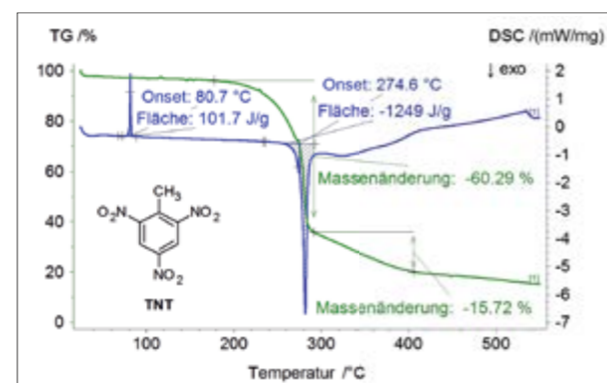


Abb. 2: Simultane TG-DSC Messung von Trinitrotoluol (TNT). Das Thermogramm zeigt das endotherme Schmelzen (positives DSC Signal, blaue Kurve) und die exotherme Zersetzung (negatives DSC Signal, blaue Kurve), begleitet mit einem Masseverlust (TG Signal, grüne Kurve)

Die meisten Explosivstoffe und einige chemischen Kampfstoffe sind schwerflüchtig, d. h. ein Nachweis in der Gasphase ist schwierig. Ein entscheidender Faktor für eine sichere Identifizierung ist daher die Kalibrierung des Detektionsgerätes, ebenso muss eine geeignete Stoffdatenbank hinterlegt sein. Im Fall von Biosensoren, wie dem Sprengstoffspürhund, sind dies das Training und die Konditionierung. Fehllarme können durch chargenbedingte Schwankungen der Zusammensetzung, Verunreinigungen aus der Produktion, Kontaminationen aus der Handhabung, oder auch durch Alterung bzw. Zersetzung des Sprengstoffes ausgelöst werden. Um diese limitierenden Faktoren zu umgehen, müssen die zugehörigen chemischen Signaturen und Abdampfcharakteristiken im Vorfeld bekannt sein.

Im Chemischen Labor am Wehrwissenschaftlichen Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) wurde eine Simultane Thermoanalyseapparatur (STA) etabliert, um grundlegende thermodynamische Parameter von toxischen Chemikalien und sprengstofftypischen Verbindungen zu bestimmen (Abb. 1). Die Analysen basieren auf der dynamischen Differenzkalorimetrie (DSC). Dabei wird die Wärmestromdifferenz einer Probe in Relation zu einer Referenz aufgezeichnet. Gleichzeitig wird durch Thermogravimetrie (TG) die Massenänderung einer Probe in Abhängigkeit der Temperatur und/oder Zeit erfasst.

Zum Aufbau einer Referenzdatenbank wurden STA Messungen mit sprengstofftypischen Verbindungen durchgeführt. Ein typisches Thermogramm veranschaulicht die charakteristischen Phasenübergänge, die thermische Stabilität und das Zersetzungsverhalten, gezeigt für Trinitrotoluol in Abbildung 2. Die Bestimmung des Dampfdrucks erfolgt bei schwerflüchtigen

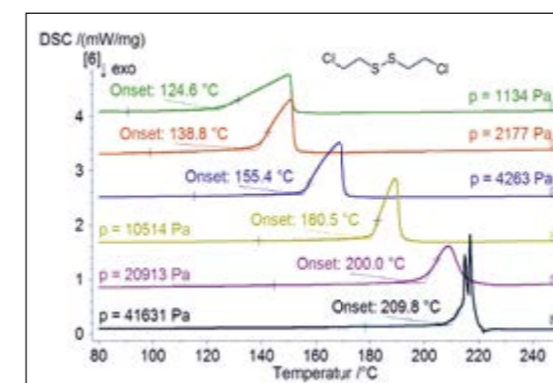


Abb. 3: Isobare DSC Messungen von HD-Disulfid bei unterschiedlichen Drücken. Die endothermen Signale zeigen den Siedepunkt an. Hier ist der Dampfdruck gleich dem angelegten Druck

Explosivstoffen sowie bei schwerflüchtigen verdickten Kampfstoffen indirekt über die Abnahme des Gewichts in Abhängigkeit der Zeit unter isothermen Bedingungen.

Bei leichtflüchtigen Kampfstoffen ist die direkte Messung von Dampfdrücken mittels isobarer DSC möglich (Abb. 3). Im Rahmen einer Forschungsstudie wurden die Dampfdrücke des Hautkampfstoffes S-Lost (HD), dem fotokatalytischen Abbauprodukt HD-Disulfid, und dem Hydrolyseprodukt Thiodiglycol (TDG) untersucht. Das zugehörige Druck-Temperatur Diagramm ist in Abbildung 4 gezeigt. Die zwei S-Lost Abbauprodukte weisen eine wesentlich geringere Dampfdruckkurve auf als der eigentliche Kampfstoff und besitzen damit eine größere Persistenz.

Weitere Forschungsstudien werden sich mit den Auswirkungen von Additiven und Verunreinigungen auf den Dampfdruck von toxischen Chemikalien und sprengstofftypischen Verbindungen befassen. Außerdem ist die Erweiterung des STA Messplatzes mit einer Emissionsgasanalyse geplant, um durch den Nachweis von thermischen Abbauprodukten zusätzliche Informationen zum Zersetzungsverhalten zu erhalten.

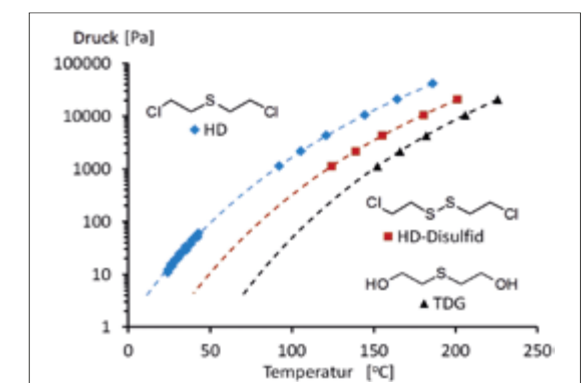


Abb. 4: Druck-Temperatur Diagramm der flüssigen Proben von S-Lost (HD), HD-Disulfid, und Thiodiglycol (TDG) mit den jeweils gemessenen Datenpunkten und der Antoine Kurvenanpassung (gestrichelte Linien)

## Analyse von HPEM-Störungseffekten in Computer-Netzwerken in realistischer Umgebung

Die Empfindlichkeit von Computernetzwerken gegenüber vorsätzlichen elektromagnetischen Störeinwirkungen ist seit geraumer Zeit bekannt. Durch Erforschung der Effektmechanismen und Bewertung des tatsächlichen Bedrohungspotentials, welches von marktverfügbaren Quellen zur Erzeugung elektromagnetischer Strahlung hoher Leistung ausgeht, können künftig wirkungsvolle Schutzmaßnahmen umgesetzt werden.

Moderne Infrastrukturen – sowohl zivile als auch militärische – sind heutzutage ohne den Einsatz von digitaler Informationstechnik nicht mehr denkbar. Dabei übernimmt die Elektronik nicht mehr nur einfache Steuerungsfunktionen, sondern vernetzt Sensoren und Aktoren mithilfe geeigneter Software zu einem komplexen Gesamtsystem. Mit der hohen Abhängigkeit von Computersystemen existieren zugleich aber auch neue Bedrohungen für Systeme und Einrichtungen.

Durch das vorsätzliche Einwirken mit elektromagnetischer Strahlung hoher Leistung – sogenannte High-Power Electromagnetics (HPEM) – auf vernetzte Systeme innerhalb kritischer Infrastrukturen können die digitalen Systeme so beeinflusst werden, dass sie ihre Funktion nicht mehr ordnungsgemäß ausführen oder sogar dauerhaft ausfallen. Gleichzeitig wird die Entwicklung im Bereich der Informationstechnik sehr stark zivil vorangetrieben, sodass oftmals keine speziellen Härtnungsmaßnahmen über die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) hinaus gegenüber einer solchen HPEM-Einwirkung bestehen.



Abb. 1: EM-Raummodul mit HPEM-Störquelle



Abb. 2: Netzwerkinstallation als Testobjekt im EM-Raummodul

Die möglichen Auswirkungen von entsprechenden HPEM-Störungen weisen erfahrungsgemäß eine ganz erhebliche Bandbreite auf. Offenkundige Effekte wie flackernde Bildschirme und eingefrorene Computer deuten direkt auf eine mögliche HPEM-Attacke hin. Problematischer aber sind verdeckte Effekte wie etwa Datenfehler oder eingeschränkte Datenkommunikation, die nicht offen zu Tage treten. Diese Effekte betreffen insbesondere vernetzte Systeme und sind schwer zu lokalisieren, können jedoch den Betrieb ganz erheblich beeinträchtigen. Abgesehen von unspezifischen Störschwellen innerhalb Laborumgebungen bestehen kaum Erkenntnisse über das Verhalten von vernetzten Systemen unter realistischen Umgebungsbedingungen.

Um mögliche HPEM-Störungseffekte zu erfassen, wurde am Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) das Elektromagnetische (EM-)Raummodul als repräsentative Infrastruktur aufgebaut. Es handelt sich um einen Bürocontainer aus Stahlbeton, welcher sich auf einem verfahrbaren Schwerlastgestell befindet. Das gesamte EM-Raummodul ist mit einer VDE-gerechten Elektroinstallation ausgestattet und enthält Vorbereitungen etwa für ein typisches Büronetzwerk oder aber auch für einen vernetzten Gefechtsstand.

Im Rahmen einer Messkampagne wurde das Raummodul mit einem Datennetzwerk, bestehend aus mehreren Computern und Netzwerkkomponenten, ausgerüstet und anschließend mit einer marktverfügbaren HPEM-Störquelle beaufschlagt. Gleichzeitig wurden die Computer auf Störeffekte hin überwacht. Besonderes Augenmerk wurde auf die Datenkommunikation der vernetzten Systeme gelegt. Hierfür kam ein im

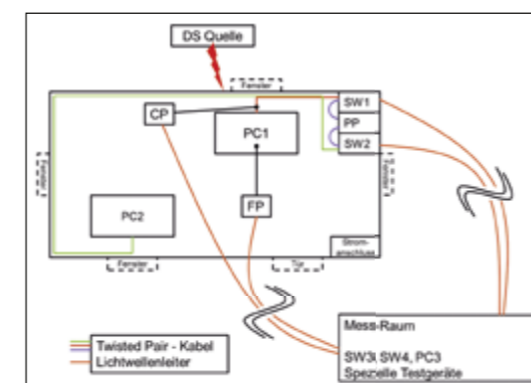


Abb. 3: Schematische Darstellung der Netzwerktopologie und Messaufbau für HPEM-Empfindlichkeitsuntersuchungen

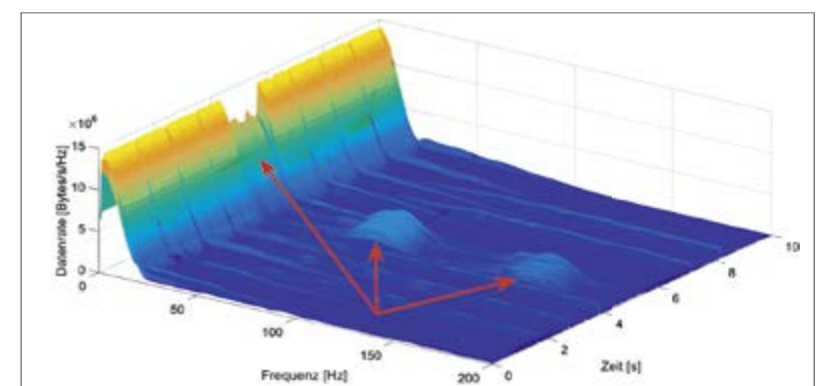


Abb. 4: Spektrale Analyse einer Datenübertragung als Grundlage zur HPEM-Detektion. Deutlich zu erkennen sind die spektralen Änderungen während der Störbeaufschlagung

Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickeltes neues Messverfahren zum Einsatz, welches als Anwendungssoftware auf den Computern arbeitet und zugleich präzise Aussagen über physikalische Wechselwirkungen des Netzwerkes mit den Störsignalen zulässt. Durch Einkopplungsmessungen wurde verifiziert, dass der gesamte Testaufbau als geeignete Umgebung für derartige Experimente geeignet ist.

Als Ergebnis haben die Experimente aufgezeigt, welches Bedrohungspotential marktverfügbare HPEM-Störquellen auf vernetzte Computersysteme aufweisen. Die Erkenntnisse treffen dabei auch auf Datennetze der Bundeswehr zu. Direkte augenscheinliche Störungen oder gar Zerstörungen an der Hardware waren nicht zu beobachten. Durch das eingesetzte Messverfahren konnten jedoch verdeckte Beeinträchtigungen in der Datenkommunikation beobachtet und kritische Komponenten identifiziert werden, welche für die Gesamtfunktion aber unkritisch sind. Dies eröffnet die Möglichkeit für eine kostengünstige software-basierte Detektion von HPEM-Attacken, noch bevor ernsthafte Auswirkungen entstehen. Im Angesicht der stetigen Weiterentwicklung der HPEM-Technologie lässt sich so in Verbindung mit einer passenden Abschirmung ein mehrstufiges Schutzkonzept entwickeln.



KptLt Dipl.-Ing. (FH) Norman Rohrwick (ehem. WIWeB)  
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)  
Erding

Daniel Rossow, B.Eng.  
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)  
Erding

wiweb@bundeswehr.org

wiweb@bundeswehr.org

## Zukünftige Methoden zur Schadensfrüherkennung auf Schiffen der Marine

**Weltweite und lang dauernde Einsätze erfordern ein verändertes Nutzungskonzept für die seegehenden Plattformen der Deutschen Marine. Daher werden bereits heute an Bord von Schiffen bei ausgewählten Anlagen Schwingungsdaten aufgezeichnet, mit deren Hilfe der Anlagenzustand ermittelt wird. Mittels der Analyse der Schwingungsdaten wird das Ziel verfolgt, die operative Verfügbarkeit der Einheiten bei gleichzeitiger Reduzierung der Instandsetzungskosten zu erhöhen. Insgesamt befinden sich auf sechs Plattformen 240 Anlagen in der permanenten Überwachung.**

Mit der bereits eingeführten Schwingungsüberwachung und Datenauswertung stellt das Wehrwissenschaftliche Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB) der Marine eine wichtige Dienstleistung in der Nutzung zur Verfügung. Zu den weiteren Aktivitäten des WIWeB in diesem Bereich zählt die Identifikation zukünftiger Methoden zur Zustandsüberwachung der ölgeschmierten Anlagen an Bord. Ziele sind hierbei eine optimierte, zustandsbasierte Auslastung der überwachten Anlagen, eine dynamische Instandsetzungslenkung, die Reduktion der Instandhaltungskosten sowie die Steigerung der operativen Verfügbarkeit der einzelnen Plattformen.

Die Basis bildet dabei ein Getriebeprüfstand, mit dem unterschiedliche Öle in Langzeitversuchen gezielt gealtert werden konnten. Die Prüfstandsparameter wurden dabei kontinuierlich erfasst und zur späteren Datenauswertung herangezogen. Zur Erfassung des Anlagen- und Ölzustandes wurde ein Sensornetzwerk auf Basis marktverfügbarer, robuster Onlinesensoren aufgebaut.

Es konnte gezeigt werden, dass sich durch die konstruktiven



Abb. 1: F 220 Hamburg, A 1411 Berlin und F 221 Hessen (Quelle: © 2008 Bundeswehr / Ricarda Schönbrodt)



Abb. 2: FZG-Prüfstand mit Sensorfeld



Abb. 3: FZG-Prüfgetriebe

Dr.-Ing. Steffen Schneider  
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)  
Erding

wiweb@bundeswehr.org

und konzeptionellen Anpassungen des vorhandenen Getriebeprüfstandes eine gezielte Anlagenalterung innerhalb verkürzter Prüfintervalle realitätsnah durchführen lässt. Mit Hilfe der online ermittelten Messgrößen konnte der aktuelle Zustand des Öles und der Anlage zeitlich hochauflösend und transparenter dargestellt werden, als dies mittels entnommener Proben und deren Laboranalysen der Fall war. Weiterhin war es aufgrund der großen Datenfülle möglich, durch lineare Regressionsverfahren eine Trendprognose zum Alterungsfortschritt des Öles zu erstellen. Auf Basis aller online ermittelten Messdaten wurde anschließend mittels multivariater Auswerteverfahren der Anlagenzustand bestimmt und anhand durchgeführter Befunde einzelner Anlagenkomponenten verifiziert.

Neben einer Sensorik zur Erfassung der Betriebsparameter des überwachten Prüfstandes, wie zum Beispiel Druck und Temperatur, wurden drei Ölsensoren zur weiteren Verwendung in einer zukünftigen Multisensorplattform identifiziert. Zu ihnen zählte ein induktiver Partikelzähler, ein Sensor zur Bestimmung der Viskosität und ein dispersiv messendes Infrarotspektrometer. Dieses Sensornetzwerk ermöglichte die permanente Messung folgender Zustandsgrößen:

- Wassergehalt
- Partikelkonzentration (größenklassiert)
- Oxidationsfortschritt

- Additivabbau (hier nur Zinkdithiophosphat)
- Viskosität des Grundöls
- alkalische Reserve und Versäuerungszahl (Total Base / Acid Number)

In Fortführung der Studie sollen die oben aufgeführten Sensoren in einer Multisensorplattform zusammengefasst und sowohl im Labor als auch an Bord analysiert werden. Es gilt dabei jedoch zu berücksichtigen, dass die Modelle zur Öl- und Anlagenalterung gerätespezifisch sind. Dies bedeutet, dass bei Neueinrüstung einer Anlage mit einem derartigen Überwachungssystem die hinterlegten Alterungsmodelle zur Prognose des Öl- und Anlagenzustandes neu erstellt werden müssen. Durch den Einsatz selbstlernender Algorithmen ließe sich der Anpassungsprozess an eine spezifische Anlage deutlich verkürzen und optimieren.

Durch die Verwendung einer aufeinander abgestimmten Sensorkombination in Verbindung mit einer multivariaten Datenauswertung können Öl- und Anlagenzustände bereits während des Betriebes detektiert werden. Ungünstige, sich negativ auf die Gesamtbetriebslebensdauer auswirkende Betriebszustände sind damit erkennbar und können vermieden werden. Eine Steigerung der Zuverlässigkeit der prognostizierten Restbetriebslebensdauer ist zu erwarten.

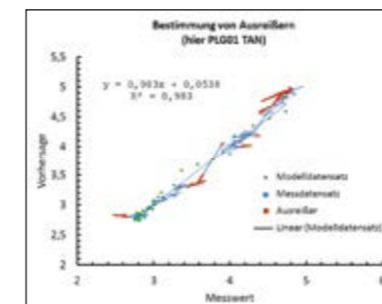


Abb. 4: Wahrheitstabelle zur Bestimmung von Ausreißern am Beispiel der TAN-Vorhersage

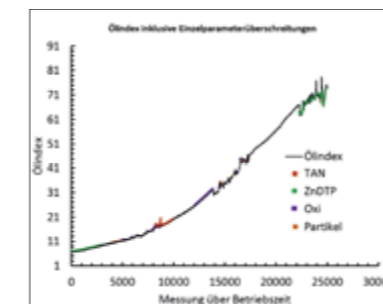


Abb. 5: Ölindex und Einflussfaktoren der Anlagenalterung

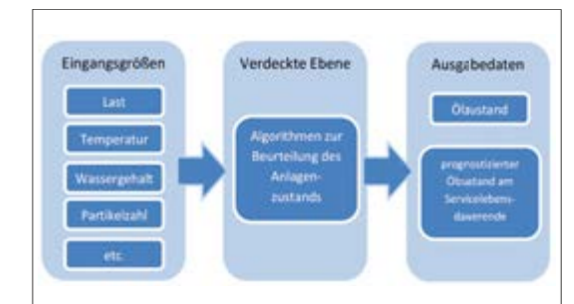


Abb. 6: Funktionsschema der Multisensorplattform zur Schadensfrüherkennung

TROAR Dipl. Ing (FH) Dieter Scharbillig  
Wehrtechnische Dienststelle für Landgebundene Fahrzeugsysteme,  
Pionier- und Truppentechnik (WTD 41)

WTD41GF220@bundeswehr.org

TRDir (Dipl. Ing) Mike Müller  
Wehrtechnische Dienststelle für Landgebundene Fahrzeugsysteme,  
Pionier- und Truppentechnik (WTD 41)

WTD41GF220@bundeswehr.org

## Dynamische Kettenspannvorrichtung

In dem bei der Wehrtechnische Dienststelle für Landgebundene Fahrzeugsysteme, Pionier- und Truppentechnik (WTD 41) vorhandenen Fahrwerksdemonstratorfahrzeug „DIOK“ wurde erstmals eine dynamisch verstellbare Kettenspannvorrichtung implementiert, die in Fahrversuchen getestet und optimiert werden soll.

Im Rahmen des F & T Vorhabens „Fahrwerkskonzepte der Zukunft“ werden innovative Fahrwerke für Kettenfahrzeuge konzipiert. Ziel ist die Steigerung der Mobilitätseigenschaften bestehender Systeme, den Erhalt der Restmobilität bei Kettenverlust sicherzustellen, eine Anpassung an unterschiedliche Fahrzustände u. a. durch Parameteranpassung von Feder- und Dämpfungskenngrößen zu ermöglichen und zusätzlich die Masse aller Bauteile auf ein Minimum zu reduzieren.

Die gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen können wesentliche Impulse für ev. Nutzungsdauerverlängerungen sowie anstehenden Folgegenerationen darstellen.

Im Rahmen des Teilprojektes „dynamische Kettenspannvorrichtung“ in Zusammenarbeit mit der Fa. DST, Fraunhofer IPT und der Universität der Bw München wurde eine dynamische Kettenspannvorrichtung im von der WTD 41 zur Verfügung gestellten Versuchsträgerfahrzeug Weasel DIOK (ein um eine Laufradstation verlängerter Wiesel 1, Abb. 1) realisiert. Die Prinziplösung soll auch für andere Kettenfahrzeuge einsetzbar sein.



Abb. 1: Demonstratorfahrzeug DIOK der WTD 41

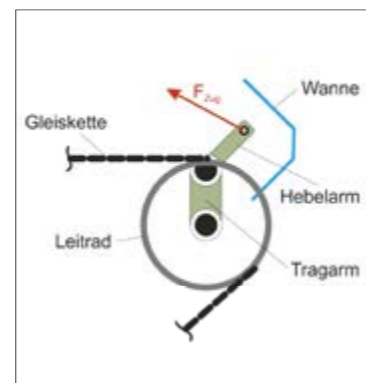


Abb. 2: Funktionsprinzip der Kettenspannvorrichtung

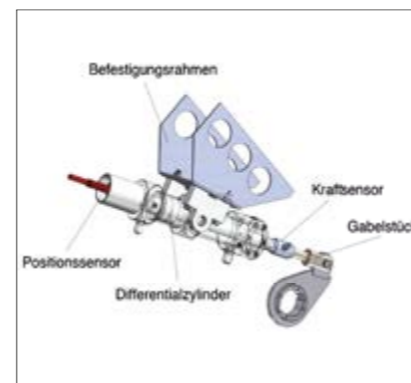


Abb. 3: Ausführung des Konzepts der Kettenspannvorrichtung

Die Primäraufgabe des Kettenspanners ist das Vermeiden des Kettenabwurfs bei folgenden Fahrzuständen wie:

- Fahren auf geneigter Fahrbahn
- Wendemanöver
- Überwindung von Hindernissen

Die Kettenspannung hat Einfluss auf:

- Verluste im Kettenfahrwerk
- Arbeitsvermögen des Fahrwerks
- Verzahnungseingriff am Antriebsrad
- Geländegängigkeit bzw. Griffigkeit
- Verschleiß der Laufwerkskomponenten
- Schwingungsbelastung im Fahrzeug

Ziel ist die Einstellung einer optimalen Kettenspannung, da bei zu geringer Vorspannung die Wahrscheinlichkeit des Ausspurens der Kette steigt, bei zu hoher Vorspannung hingegen der Fahrwiderstand und der Verschleiß im Fahrwerk steigt.

Konzeptfindung:

Bei der Konzeptfindung wurde bei der kinematischen Analyse zwischen schwenkbaren und translatorischen Varianten unterschieden. Ausgewählt wurde eine schwenkbare Variante.

Vorteile:

- Serienteile verfügbar (Zylinder, Speicher, etc.)
- Bauraum wie bisher
- Geringer Konstruktions- und Fertigungsaufwand
- Vollaktiver und quasistationärer Betrieb möglich
- Flexibler Abstimmung Zug-/Druckfederstufe
- Hydraulische Kopplung an zusätzliche Spannelemente möglich/nachrüstbar

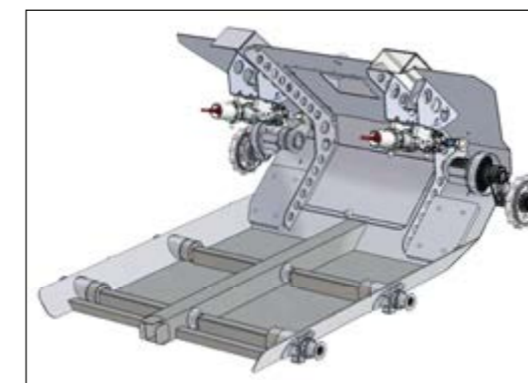


Abb. 4: Integration in die Fahrzeugwanne

Nachteile:

- Kontaktverlust mit Stützrollen wenn Fahrwerk komplett eingefahren ist (nur für Option der Niveauregulierung relevant)
- Federcharakteristik der hydropneumatischen (HP) Feder ist temperaturabhängig

Das Gesamtsystem der dynamischen Kettenspannvorrichtung besteht aus Aktorik, Sensorik und Informationsverarbeitungseinheit. Es handelt sich hierbei um ein mechatronisches System, das nach dem in Abb. 2 abgebildeten Prinzip aufgebaut ist. Die Kettenzugkraft wird über die hydraulischen Differentialzylinder, die durch die kompakte dezentrale Motor-Pumpen-Aggregate sowie regelbare Servoventile versorgt werden, eingestellt. Die Sensorik zum Überwachen der Zugkraft wird durch Kraftsensoren und alternativ durch Drucksensoren direkt an den Zylinderkammern realisiert. Weitere Drucksensoren überwachen den Zustand in den hydraulischen Versorgungsspeichern.

Das Komplettsystem wurde nach Montage bei der WTD 41 einem Basis-Funktionstest unterzogen. Bei diesen Tests konnten unterschiedliche Werte der Kettenvorspannung innerhalb des voreingestellten Bereichs zwischen 8 kN und 16 kN stufenlos eingestellt werden. Erste Fahrversuche (Hindernisbahn, stationäre Kreisfahrt und Slalomfahrt) konnten auf den Erprobungsbahnen der WTD 41 durchgeführt werden.

In 2017 sollen unter anderem die Optimierung der Reglerparameter im Fahrversuch, eventuelle komfortrelevante Anpassungen der Bedienoberfläche sowie die Erprobung eines vollaktiven Modus für das implementierte System durchgeführt werden.

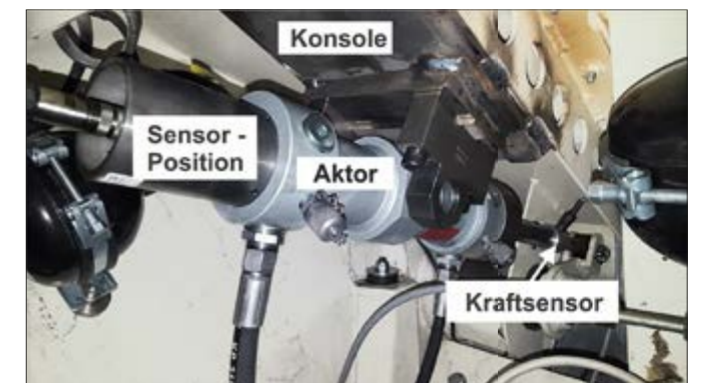


Abb. 5: Einbau im Fahrzeug



TORR Michael Steyerer  
Wehrtechnische Dienststelle für Schutz- und Sondertechnik (WTD 52)  
Oberjettenberg

WTD52posteingang@bundeswehr.org

OTL Markus Scheid  
Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen  
der Bundeswehr (BAIADBw), Abteilung Infra II 2 Grundlagen baulicher  
Schutz und Absicherung  
Bonn

BAIADBwinfraii2@bundeswehr.org

## Risikoanalysen bei der Bevorratung von Munition

**Bei der Bevorratung von Munition im Grundbetrieb und im Einsatz können vorgeschriebene Schutzabstände aufgrund örtlicher Gegebenheiten und vielschichtiger Randbedingungen nicht immer eingehalten werden. Diese Sonderfälle müssen in Bezug auf die erhöhte Gefährdung und das Risiko für Personen und Material spezifisch beurteilt werden können.**

Die Etablierung einer systematischen quantitativen Risikoanalyse für Sonderfälle der Bevorratung von Munition im Grundbetrieb und im Einsatz ist zukünftig ein wichtiger Bestandteil innerhalb des Risikomanagements der Bundeswehr. F & T in diesem Bereich bildet die Grundlage dafür, eine zielgerichtete Bewertungsfähigkeit auch in Zukunft aufrecht zu erhalten.

Die bei einem Unfall explodierende Munition hat eine sich ausbreitende Druckstoßwelle sowie Splitter- und Trümmerflug zur Folge, welche z. T. sehr große Schutzabstände erforderlich machen. Bei der Festlegung von Schutzabständen durch Risikoanalysen sind dies entscheidende Parameter. Die integrierte Nachweisführung hinsichtlich sicherheitstechnischer und operationeller Anforderungen wird mittels numerischer Simulation und Realversuchen durch die Wehrtechnische Dienststelle für Schutz- und Sondertechnik (WTD 52) und deren Partner sichergestellt. Diese bilden die Grundlage für eine Modellbildung und deren Integration in softwaregestützte Lösungen mit welchen die auftretenden Gefährdungen berechnet werden können. Das durch das Fraunhofer-Institut



Abb. 1: Vororterkundung der Munitionslagerstätte im Mali



Abb. 2: Analysen mittels ESQRA-GE für unterschiedliche Lastfälle

KptLt Alexander Perthel  
Kommando Territoriale Aufgaben der Bundeswehr (KdoTerrAufgBw),  
Abteilung MunTSichh/SchSichh – Dezernat 2  
Berlin

KdoTAAbtMunTSichhSchSichhDez2MunTSichh@bundeswehr.org

für Kurzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut (EMI) im Auftrag der WTD 52 entwickelte Risikoanalyse-Tool ESQRA-GE (Explosive Safety Quantitive Risk Analysis – Germany) bildet dabei viele Parameter ab, welche für eine transparente Darstellung der Ergebnisse zwingend erforderlich sind.

Am Beispiel der European Training Mission in Mali (EUTM Mali) wurde für die Ausbildungs- und Sicherungsmunition in einer durch französische Streitkräfte errichteten Munitionslagerstätte (EUTM MAO) ein solches standardisiertes Verfahren erstmals umgesetzt. Basierend auf klaren Strukturen und Zuständigkeiten, erstellt durch ein Expertenteam mit Vertretern KdoTerrAufgBw Abt MunTSichh/SchSichh, BAIADBw Infra II 2 und der WTD 52 wurde mit Hilfe der durchgeführten Risikoanalysen mittels ESQRA-GE (Abb. 1 und 2) ein gemeinsames Berichtswesen als Teil des zukünftigen Risikomanagements für die Unterstützung u. a. des Einsatzführungskommandos der Bundeswehr für Sonderfragestellungen erarbeitet.

Auch für den Grundbetrieb sind gemeinsame Analysen zwingend erforderlich. Am Beispiel eines Munitionsarbeitshauses im Munitionslager Köppern soll dies verdeutlicht werden. Die vorhandenen Schutzabstände zwischen dem vorhandenen Munitionsarbeitshaus und den sonstigen innerhalb des Schutzbereichs liegenden Gebäuden unterschritten die gefor-



Abb. 3: Vororterkundung Munitionsarbeitshaus Köppern

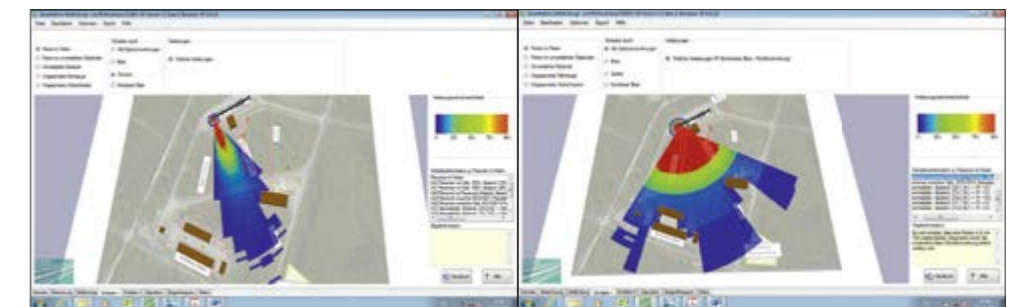


Abb. 4: Analysen mittels ESQRA-GE für unterschiedliche Lastfälle

Dr. Malte von Ramin  
Fraunhofer-Institut für Kurzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut (EMI)  
Freiburg

info@emi.fraunhofer.de

dernten Schutzabstände gemäß den einschlägigen Zentralrichtlinien. Die Nutzung des Arbeitshauses war nur eingeschränkt oder aufgrund von Ausnahmegenehmigungen gestattet. Hierzu wurde eine Analyse für den Lastfall Explosion erstellt. Für das Munitionsarbeitshaus wurden alle relevanten Szenarien analysiert. Die vorhandenen Gefährdungen konnten transparent und zielorientiert dargestellt werden (Abb. 3 und 4). Daraus abgeleitet konnten Empfehlungen für die weitere Nutzung erarbeitet werden. Im Ergebnis wurde nachgewiesen, dass bei Errichtung einer Schutztraverse das Munitionsarbeitshaus entsprechend dem gestiegenen Materialerhaltungs- und Instandsetzungsbedarf für Munition unter gewissen Auflagen weiter genutzt werden kann.

Auch für zukünftige F & T Aktivitäten bleibt das Hauptziel ein integrativer, ganzheitlicher und bundeswehrgemeinsamer Ansatz, welcher die Vorgaben der munitionstechnischen Sicherheit verbindet und in einem abgestimmten, einheitlichen Analyseprozess für alle Beteiligten wiedergibt. Im Vordergrund stehen hierbei der Einsatzbezug sowie die Optimierung des Schutz- und Sicherheitsgedanken im Grundbetrieb beim Umgang mit Munition.

Dipl.-Ing. Rudolf P. M. Rademakers  
Universität der Bundeswehr München,  
Institut für Strahltriebwerke  
Neubiberg

isa@unibw.de

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

isa@unibw.de

## Den besonderen Strömungsphänomenen in modernen Triebwerkseinlaufsystemen auf der Spur

**Die Integration von Antriebssystemen ist u. a. erforderlich zur Minimierung der Radarsignatur militärischer Flugzeuge. Eine präzise Vorhersage der Strömung in konturierten Triebwerkseinläufen ist selbst mit modernster Simulationssoftware eine große Herausforderung. Daher wurde am Institut für Strahltriebwerke ein eigens entwickelter Forschungseinlauf aufgebaut und ausführlich experimentell getestet.**

Bei künftigen militärischen Flugsystemen werden hohe Ansprüche an die Antriebsleistung und eine minimale Radarsignatur gestellt. Die Integration des Antriebssystems in den Rumpf wird dadurch unabdingbar. Die wesentlichen Vorteile eines kompakten Antriebssystems sind u.a. eine kürzere Gesamtlänge des Flugzeugs (und damit auch Gewichtsersparnis), eine Verringerung des aerodynamischen Widerstandes, und verbesserte Tarn Eigenschaften aufgrund reduzierter Sichtbarkeit rotierender Bauteile.

Durch starke Konturänderungen in komplexen Einlaufsystemen entstehen erhebliche Störungen der Zuströmung des Triebwerks. Diese Störungen beeinflussen die Stabilität und Leistungsfähigkeit des Antriebssystems in erheblichem Maße. Deshalb ist es wichtig, die Strömungsverhältnisse im Einlauf genau zu kennen. Eine präzise Vorhersage ist jedoch selbst mit modernster Strömungssimulationssoftware äußerst anspruchsvoll. Bei der Auslegung von Einlaufsystemen werden solche Simulationen dennoch immer häufiger eingesetzt. Um die Erfahrungen sowohl mit der Auslegung als auch der Simulation von komplexen Einlaufsystemen gezielt zu er-

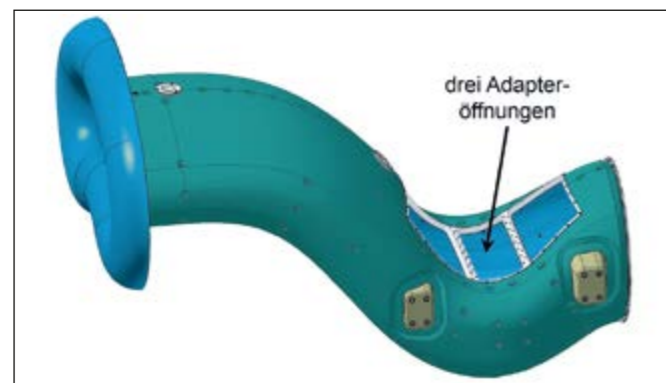


Abb. 1: CAD-Modell des MEIRD Einlaufsystems mit drei großen Adapteröffnungen für austauschbare Einsätze im Bereich einer großflächigen Strömungsablösung



Abb. 2: Der MEIRD Forschungseinlauf, installiert am Larzac 04 Versuchsträger in der Triebwerkversuchsanlage des Instituts für Strahltriebwerke

Dipl.-Ing. Marcel Stößel, Hptm  
Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge und  
Luftfahrtgerät der Bundeswehr (WTD 61)  
Manching

WTD61AntriebFuT@bundeswehr.org

weitem, hat die Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge und Luftfahrtgerät der Bundeswehr (WTD 61) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Strahltriebwerke der Universität der Bundeswehr München ein Forschungsprojekt initiiert.

Ein Forschungseinlauf wurde speziell für experimentelle Untersuchungen in der Triebwerkversuchsanlage des Instituts für Strahltriebwerke entwickelt und gebaut. Der sogenannte MEIRD (englisch für „Military Engine Inlet Research Duct“) wurde derart gestaltet, dass eine für militärische Triebwerkseinläufe typische Kombination aus Druck- und Drallstörungen hervorgerufen wird. Die Störungen sind ausreichend groß um aerodynamische Interaktionen zwischen Einlauf- und Verdichterdurchströmung vermessen zu können. Gleichzeitig ist die Fehlanströmung innerhalb der vom Triebwerkshersteller definierten Betriebsgrenzen, damit das für die Experimente eingesetzte Larzac 04 Triebwerk im gesamten Betriebsbereich eingesetzt werden kann. Eine umfangreiche Instrumentierung des Einlaufs ermöglicht eine detaillierte Vermessung komplexer Strömungsphänomene und deren Wechselwirkung mit dem Verdichtersystem. Damit wird zudem eine wertvolle Datenbasis für die Validierung von numerischen Simulationen geschaffen. Des Weiteren ist das Einlaufsystem adaptierbar für zukünftige Untersuchungen wie beispielsweise zur Strömungsoptimierung in Triebwerkseinläufen.

Der MEIRD wurde bereits in Betrieb genommen (siehe Abb. 2). Die Visualisierung der Durchströmung des Einlaufs war das Hauptziel der bisherigen Untersuchungen. Die großflächige Strömungsablösung (siehe Abb. 3) kann mit Hilfe des statischen Wanddrucks visualisiert werden. Große Druckgradienten auf der linken Seite der Abbildung zeigen den Beginn der Ablösung an. Der rote Bereich kennzeichnet ein Plateau konstanten Drucks, welches innerhalb des Rezirkulationsgebiets der Strömung auftritt. Die Druckgradienten auf der rechten Seite des Plots sind ein Indiz für das Wiederanlegen der Strömung.

Die ersten experimentellen Untersuchungen mit dem Forschungseinlauf in der Triebwerkversuchsanlage haben alle Erwartungen erfüllt. Sie liefern eine umfassende Datenbasis für allgemeine Strömungsanalysen des Einlaufsystems und für die Validierung von numerischen Strömungssimulationen. Die Adaptierbarkeit des Einlaufsystems ermöglicht umfangreiche weiterführende Untersuchungen zur passiven und aktiven Strömungsstabilisierung, um die Strömungsstörungen zu minimieren und so eine Leistungs- und Stabilitäts-optimierung zu erzielen.

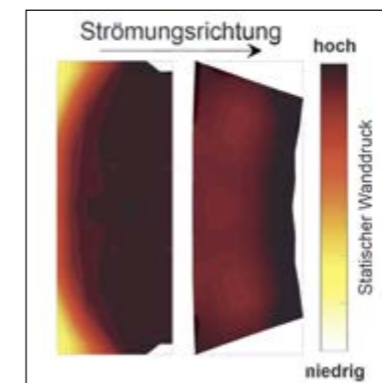


Abb. 3: Statischer Wanddruckverlauf zur Visualisierung der Strömungsablösung im Einlaufkanal



Dipl.-Ing. Dietmar Stiller  
Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen,  
Maritime Technologie und Forschung (WTD 71)  
Eckernförde

WTD71posteingang@bundeswehr.org

## Fortschrittliches Sendesignaldesign zur Taucherdetektion

**Der Eigenschutz von Schiffen oder von Einrichtungen gegen Angriffe aus dem Unterwasserbereich erfordert eine sichere und möglichst frühzeitige Detektion. Die Ortung von Tauchern erfolgt durch hochfrequente aktive Sonare. Für eine Erweiterung hin zu MIMO (Multiple Input Multiple Output) Sensoren ist die Wahl der Sendesignale entscheidend für die Güte der Ortung.**

Der Schutz von Schiffen oder Hafeneinrichtungen gegen Angriffe aus dem Unterwasserbereich erfordert eine dauerhafte Überwachung des Schutzbereichs mit einem oder mehreren Ortungssensoren. Um eine möglichst hohe Ortungsreichweite zu erreichen, sind für den Unterwasserbereich akustische Sensoren das Mittel der Wahl. Insbesondere bei Zielen mit schwachen Signaturen (wie z. B. Taucher oder militärische AUVs) ist die Verwendung von aktiven akustischen Verfahren notwendig.

Im Bereich der Taucherdetektion werden dazu im Wesentlichen hochfrequente aktive Sonare mit großem horizontalem Öffnungswinkel eingesetzt, um einen möglichst großen Schutzbereich überwachen zu können. Zur Verringerung von Falschalarmen kommt eine automatische Zielspurgenerierung zum Einsatz. In Abbildung 1 ist ein solches Szenario beispielhaft dargestellt.

Bei der technischen Auslegung des Sonars sind Sensorgröße, Ausbreitungsverluste und Radialauflösung konkurrierende Designmerkmale. Bislang werden im Wesentlichen SIMO



Abb. 1: Szenario des Überwachungsbereichs



Abb. 2: Hochfrequenz-Sonar Cerberus (F125)

(also Single Input Multiple Output) Sensoren verwendet, bei denen der gesamte Überwachungsbereich mit dem gleichen Sendesignal beleuchtet wird. Ein solches Sonar wird beispielsweise zum Eigenschutz der Fregatte des Typs F125 eingesetzt werden und ist auch für die MKS 180 vorgesehen. Dieses Sonar namens Cerberus ist in Abbildung 2 dargestellt.

Eine Erweiterung der Ortungssensoren hin zu MIMO (Multiple Input Multiple Output) Sensoren beinhaltet die Möglichkeit, unterschiedliche einander möglichst nicht beeinflussende (orthogonale) Sendesignale auszusenden. Dabei kann die Ortungsleistung durch einen Richtwirkungsgewinn auf der Sendeseite gesteigert und unterschiedliche Rückstreuungseigenschaften im Überwachungsbereich berücksichtigt werden. Die Eigenschaften der unterschiedlichen Sendesignale werden durch die breitbandige Kreuz-Mehrdeutigkeitsfunktion (Ambiguity-Funktion) beschrieben.

Auch bei SIMO Sonaren kann die Untersuchung von Sendesignalen und deren Eigenschaften zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Ortung mit einer breitbandigen Mehrdeutigkeitsfunktion in Anwendung auf das einzelne Sendesignal vorgenommen werden. Die aufwendigere breitbandige Mehrdeutigkeitsfunktion ist dann zu verwenden, wenn das Verhältnis von Ausbreitungs- zu Objektgeschwindigkeit nicht groß gegenüber dem Zeit-Bandbreitenprodukt ist. Dies ist im Bereich der Unterwasserortung der Fall.

Idealerweise erzeugt ein Sendesignal keine Mehrdeutigkeiten im Zeit- und Frequenzbereich, so dass eine eindeutige Verzögerung (also Radialentfernung) und eine eindeutige Dopplerverschiebung (also Radialgeschwindigkeit) gemessen werden kann.

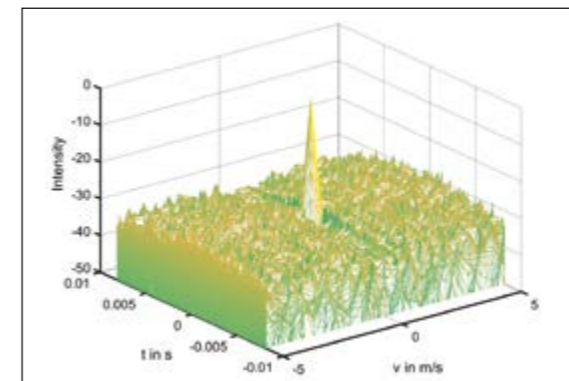


Abb. 3: Mehrdeutigkeitsfunktion eines codierten Pulses

Bei klassischen Sendesignalen der Sonar-Ortung, wie CW-Bursts (Continuous Wave) oder Chirps (Frequenzmodulierte Pulse), ist im Grunde entweder die Geschwindigkeit oder der Ort messbar.

Die Verwendung von codierten Signalen, bei denen die Information in der Zeit-Frequenzebene verteilt wird und bei denen eine nadelförmige Mehrdeutigkeitsfunktion realisiert werden kann (siehe Abbildung 3), ist mittlerweile durch die Verfügbarkeit breitbandiger akustischer Wandler und einer erheblich gesteigerten Rechenleistung der Signalverarbeitungshardware möglich. Codierte Sendesignale wie z. B. ein Pseudo-Noise-Puls (PN-Puls) lassen sich im Hinblick auf die Ortung nur mit Hilfe einer Dopplerfilterbank auswerten, die den Rechenaufwand um die Anzahl der Dopplerkanäle vervielfacht.

Der Nutzen solcher Sendesignale liegt in der gleichzeitigen Messung von Ort und Geschwindigkeit, was in Verbindung mit der Zielspur-Generierung (Tracking) zu einer Verringerung falscher Zielspuren führen kann. Die im Verlauf einer Annäherung an das Sonar erzeugten Zielspuren aus Kontakten eines codierten Sendepulses sind in Abbildung 4 gezeigt.

Der vorgestellte Ansatz zum Sendesignaldesign ermöglicht neben der gleichzeitigen Messung von Ort und Geschwindigkeit ebenso den gleichzeitigen Betrieb mehrerer Sonare durch die Verwendung unterschiedlicher Codes.

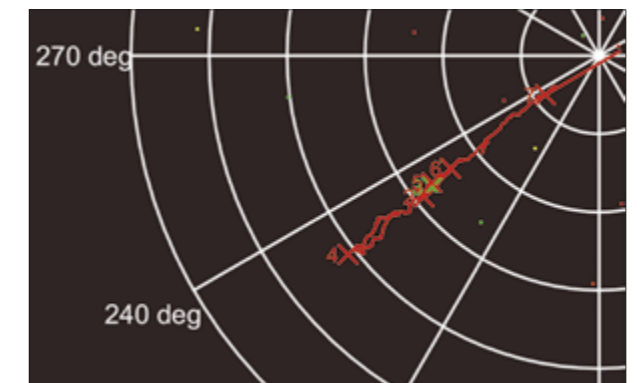


Abb. 4: Zielspuren eines Kunstziels gebildet mit codierten Sendepulsen

## MiDNet – Kommunizieren ohne Verbindung

In IP-basierten taktischen Funknetzen führen die Bewegungen der Netzwerkknoten und damit verbundene Störungen und Unterbrechungen zu einer geringen Wahrscheinlichkeit verlässlicher Ende-zu-Ende-Verbindungen zwischen Teilnehmern. Disruption Tolerant Networking (DTN) unterstützt die Informationsübertragung zwischen Kommunikationspartnern auch, wenn diese gerade keine Verbindung im mobilen Netzwerk haben.

Der veränderlichen Qualität einer Funkanbindung eines mobilen Netzwerkknotens kann durch verschiedene Maßnahmen begegnet werden. Adaptive Wellenformen können auf variierendes Kanalrauschen reagieren, wenn sich ein Netzwerkknoten in einem Einsatzfahrzeug in Grenzbereiche der Funkreichweiten zu seinem Nachbarknoten begibt. Die günstigere Nähe zu einem alternativen Nachbarn wird durch Routingprotokolle (MANET – Mobile Adhoc-NETworking) erfasst, die periodisch Topologieinformationen im Netz versenden und empfangen.

Dies schließt – sofern verfügbar – auch den Wechsel auf andere Funkkommunikationssysteme mit ein. Sämtliche dieser Verfahren stoßen jedoch an die Grenzen der Physik: wenn Verbindungsunterbrechungen länger oder zu häufig auftreten, kann keine stabile Route ermittelt werden.

2013 bis 2016 wurden in der multinationalen Studie MiDNet – Military Disruption Tolerant Networks – unterbrechungstolerante Netzwerktechnologien untersucht, welche den Kommunikationsanwendungen eine verlässliche Übertragungsmöglichkeit signalisieren können, ohne dass tatsächlich eine stabile durch-

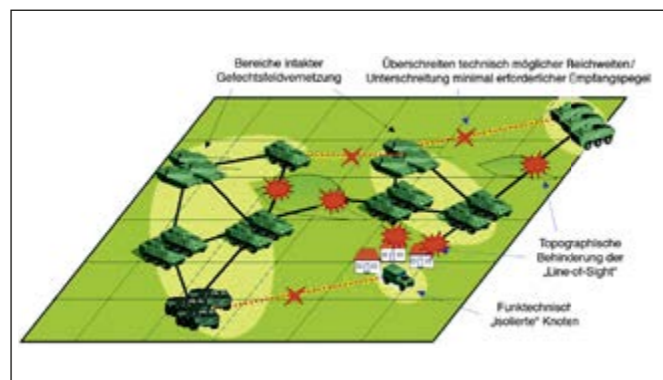


Abb. 1: Mobile taktische Kommunikation – die Herausforderung (Quelle: BAAINBw I1.1 als Mitglied der Program Arrangement Management Group (PAMG) für die EDA-Studie MiDNet, modifiziert durch den Autor)

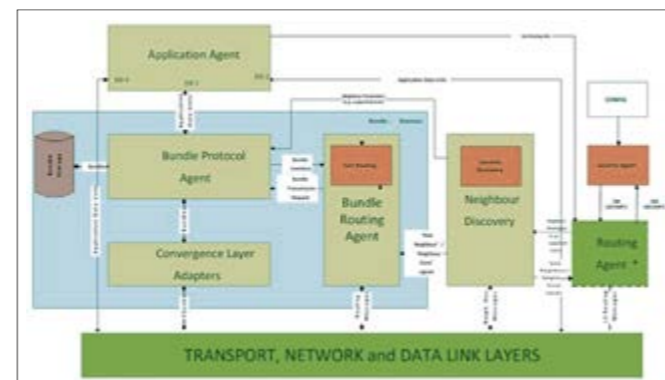


Abb. 2: Architektur eines Netzwerkknotens mit DTN Bundle-Layer und Geo-Routing (Quelle: BAAINBw I1.1 als Mitglied der Program Arrangement Management Group (PAMG) für die EDA-Studie MiDNet)

gängige Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen den Instanzen besteht.

In MiDNet wurde zwischen Netzwerk-/ Transportschicht und Anwendungsschicht ein „Bundle-Layer“ implementiert, das auf ein performantes MANET-Protokoll aufsetzt und zusätzlich mit Geo-Informationen gespeist wird: Mit jeder Topologieinformation des Routingprotokolls werden gleichzeitig auch GPS-Informationen des jeweiligen Teilnehmers übermittelt. Auch bei Verlust einiger solcher Nachrichten kann der wahrscheinliche Aufenthaltsort eines Teilnehmers von allen anderen unter Berücksichtigung vergangener Positionsinformationen extrapoliert werden. Hieraus kann im Falle eines Informationsaustauschanliegens vom Absender die physische Senderichtung zum Empfänger sowie die in dieser Richtung nächsten Teilnehmer im Netzverbund ermittelt werden. Per IP-Multicast wird die Information an alle diese Knoten geschickt, welche die Weiterleitung nach dem gleichen Mechanismus vornehmen. Erhält ein Weiterleitungsknoten die Information mehrfach von verschiedenen Nachbarn, sorgt dessen intelligenter Speicher dafür, dass Informationsdubletten gelöscht, bzw. ältere Informationen (z. B. Eigenpositionsmeldungen) durch aktuellere ersetzt werden. Gleichzeitig bleibt die weiter zu leitende Information gepuffert, falls von hier aus keine unmittelbare Weiterleitung in Richtung Ziel möglich ist.

Diese Eigenschaft kann auch für „Data Muling“ genutzt werden: Gefechtsstand und geführte Einheit haben keine vernetzte Verbindung miteinander, können aber Befehle und Lageinformationen vermittels einer Drohne austauschen, die Daten in den jeweiligen Bereich der Funckerreichbarkeit transportiert.

Auf der Grundlage eines militärischen Patrouillenszenarios konnten diese DTN-Funktionalitäten im Rahmen eines Feldversuchs im Mai 2016 an der Wehrtechnischen Dienststelle für Informationstechnologie und Elektronik (WTD 81) erfolgreich einem internationalen Fachpublikum demonstriert werden. Technologisch stellt DTN aufgrund des Austauschs von Topologieinformationen durch das MANET-Protokoll derzeit noch geringfügig höhere Bandbreitenanforderungen, als sie von aktuell in der Bundeswehr eingeführten Funksystemen bereitgestellt werden. Bei einem ungünstigen Verhältnis von permanentem Informationsaustauschbedarf und verfügbarer Übertragungsbandbreite bietet die jetzige Implementierung noch keinen signifikanten Vorteil, da Ursachen von Verbindungsstörungen nicht nach Kanalbelegung und physikalischer Übertragungsstörung differenziert werden können. Der nicht echtzeitnahe Informationsaustausch kann unter den technischen Rahmenbedingungen, die aktuelle und zukünftige V/UHF-Funksysteme bieten, als Voice- und Text-Chat, ebenso wie zwischen Instanzen serviceorientierter Architekturen trotz Unterbrechungen mit DTN zuverlässig gewährleistet werden.

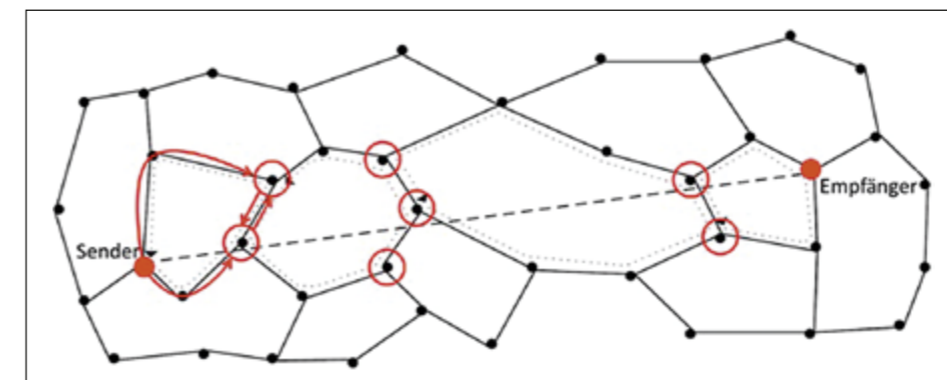


Abb. 3: Gerichteter Multicast im DTN-Netz. Weiterleitungsknoten erhalten die zum Ziel zu transportierende Information ggf. mehrfach (Quelle: BAAINBw I1.1 als Mitglied der Program Arrangement Management Group (PAMG) für die EDA-Studie MiDNet)



TRDir Christoph Lammers  
 Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition (WTD 91)  
 Meppen

WTD91@bundeswehr.org

## Verbesserung des Insassenschutzes beim Fahrzeugcrash

Die Fahrzeuge der Bundeswehr sind grundsätzlich mit hochentwickelten Schutztechnologien gegen hochdynamische Belastungen ausgestattet. Schwerpunktmäßig stehen Minen- und IED-Vorfälle (Improvised Explosive Devices) im Fokus. Der Einsatz von aktiven Insassenschutzsystemen (z. B. Airbags) ist hier aufgrund deren system-immanenten Latenzzeit jedoch nicht zielführend. Beim Crash-Szenario bieten sie jedoch ein vielversprechendes Potential.

Die im Einsatz befindlichen Fahrzeuge der deutschen Streitkräfte bieten einen definierten Schutz gegen Minen-, IED- und ballistische Bedrohungen. Diesen Bedrohungen gemeinsam ist eine vergleichsweise kurze Einwirkdauer des Impulses (ca. 3 – 10 ms). Im Gegensatz dazu weisen Crash-Szenarien, wie z. B. der „klassische“ Fahrzeugunfall, Einwirkzeiten von > 20 ms auf. Zum Schutz des Soldaten wurden bisher grundsätzlich passive Insassenschutzsysteme eingesetzt. Die passiven Maßnahmen zeichnen sich dadurch aus, dass sie keine systeminhärente Totzeit besitzen. Sie somit unmittelbar – ggf. nach einer Schwellwertüberschreitung – wirksam. Aktive Insassenschutzsysteme hingegen ermöglichen eine funktionale Analyse von Eingangssignalen und in der Folge eine differenziertere Entscheidung, wann das Schutzsystem wirksam sein soll.

Im Rahmen der Studie galt es nun herauszuarbeiten, inwieweit in militärischen Fahrzeugen der Schutz der Soldaten im Crash-Szenario durch den Einsatz von Airbags gesteigert werden kann. Da in der Vergangenheit keine diesbezüglichen systematischen Untersuchungen erfolgten, wurden zu Studienbeginn aufeinander abgestimmte Arbeitsschritte definiert.

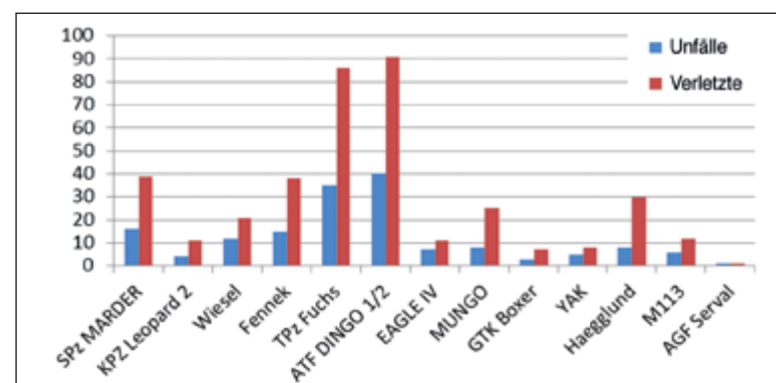


Abb. 1: Unfallstatistik (Jahre 2005 – 2013)

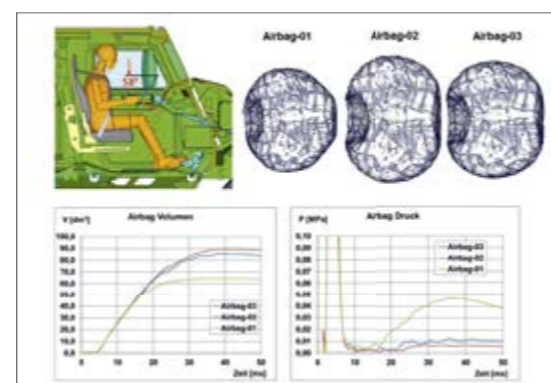


Abb. 2: Konzeptionelle Auslegung eines Airbags mittels numerischer Simulation

Begonnen wurde zunächst mit einer statistischen Auswertung der Unfalldaten aus den Jahren 2005 bis 2013. Insgesamt wurden 1349 Fahrzeugunfälle aufgenommen; 4 mit getöteten Insassen, 15 mit schwer verletzten Insassen und 412 mit leicht verletzten Insassen. Pro Jahr ereignen sich ca. 90 bis 140 Unfälle mit geschützten Fahrzeugen mit ca. 50 Verletzten. Ein Einsatz von Airbags und sonstigen (aktiven) Sicherungseinrichtungen kann nach dieser Analyse als sehr sinnvoll erachtet werden.

Die folgenden Arbeitsschritte konzentrierten sich auf die Ermittlung der Fahrzeugstrukturbelastungen und die Signalanalyse. Dazu wurden zur vergleichenden Betrachtung Versuchsdaten aus Minen- und IED-Schutzuntersuchungen herangezogen. Für den Fahrzeugcrash wurden mangels fehlender Versuchsdaten numerische Simulationen exemplarisch für die Fahrzeuge TPz FUCHS 1A7 und GFF 2 EAGLE V durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Lastfälle Anspregung und Verkehrsunfall sich grundsätzlich dadurch unterscheiden, dass erstere extrem hohe Beschleunigungen bei kurzen Einwirkzeiten gegenüber mittleren, aber länger wirkenden Beschleunigungen aufweisen. Allerdings können bei einem Frontalcrash mit einem TPz FUCHS 1A7 gegen eine nicht deformierbare Barriere im theoretischen Extremfall die gleichen Beschleunigungsamplituden wie bei einer Minen- oder IED-Anspregung erreicht werden. Des Weiteren kann bei Crashlastfällen durch eine – wenn auch steife – Knautschzone die Verletzungsgefahr reduziert werden. Dies trifft im Besonderen auf Haubenfahrzeuge mit vorne liegendem Motor, wie z. B. EAGLE IV, EAGLE V, DINGO 1 oder DINGO 2 zu. Auf dieser Basis wurde im Anschluss ein Algorithmus für ein Steuergerät für eine Auslösestrategie entworfen.

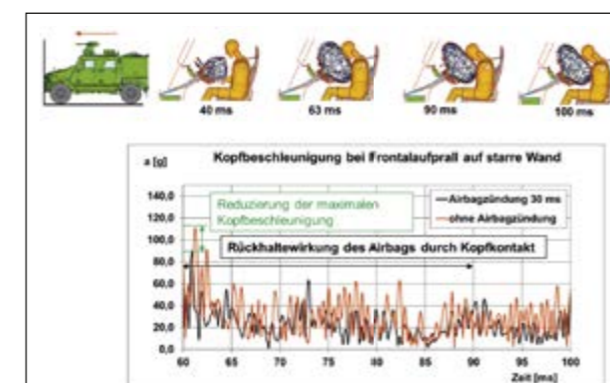


Abb. 3: Crashsimulation zum Nachweis der Schutzverbesserung mittels Airbag

Im November 2016 wurde im Rahmen eines Demonstrator-Versuchs erstmalig in der Bundeswehr ein Crash-Versuch mit einem instrumentierten Fahrzeug GFF2 EAGLE V erfolgreich durchgeführt. Diese Versuche dienen zum einen der Validierung der vorab per numerischer Simulation ermittelten Ergebnisse und zum anderen dem Nachweis der Systemwirksamkeit. Die humanbezogene Belastung wurde dabei mit Antropomorph Test Devices – ugs. „Crashtest-Dummies“ – ermittelt. Für 2017 sind weitere Crashversuche mit militärischen Fahrzeugen geplant.

Darüber hinaus werden sich die zukünftigen Arbeiten u. a. auf die Definition geeigneter Airbagsysteme für geschützte Fahrzeuge, wie z. B. Lenkradairbag, Vorhangairbags oder Kopf-airbags, erstrecken. Die Optimierungen der Geometrie und Charakteristika werden in Zusammenarbeit mit einem Airbaghersteller in einem zweiten Schritt erfolgen. Die Analyse, ob bereits markverfügbare Insassenschutzsysteme dem Ziel der Schutzverbesserung dienlich sein können, rundet das noch vorliegende Aufgabenpaket ab.



Abb. 4: Crashversuch mit GFF2-Fahrzeug



## 2

## Wehrmedizinische und Wehrpsychologische Forschung

Schutz und Wiederherstellung der Gesundheit der ihm anvertrauten Soldatinnen und Soldaten, das ist die zeitlose Verpflichtung des Sanitätsdienstes der Bundeswehr. Sie zu erfüllen erfordert beständige Innovation – einen entscheidenden Beitrag dafür leisten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die an Ressortforschungs- und Gesundheitseinrichtungen des Sanitätsdienstes der Bundeswehr im Dienst der Wehrmedizinischen Forschung tätig sind. Einige Arbeiten werden im Folgenden vorgestellt:

Das Institut für Radiobiologie der Bundeswehr beschreibt aktuelle Forschungsarbeiten, um im Fall einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung eine leistungsfähige klinische Triage zur Verfügung zu stellen und lebensrettende Maßnahmen so zielgerichtet und wirksam wie möglich einsetzen zu können.

Das Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr berichtet über die Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH) und die tragbare Vollgenom-Sequenzierung MinION, zwei Methoden der schnellen und verlässlichen Diagnostik für den Fall biologischen Ausbruchsgeschehens.

Mit den „Precision Long Cut Slices“ verfügt das Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr über ein neues Testsystem zur Entwicklung von Antidoten gegen die lebensbedrohende Atemlähmung durch Nervenkampfstoffe.

Von der in ABC-Szenarien lebensrettenden und unentbehrlichen isolierenden Schutzbekleidung geht zugleich eine

intensive Wärmebelastung aus. Das Zentrale Institut des Sanitätsdienstes Koblenz stellt mit dem System „Dry Air Comfort“ einen wirksamen Beitrag zur Reduktion dieser Belastung vor.

Das Schiffschiffsmedizinische Institut der Marine schildert seine Untersuchungen zur Rettung und zum sicheren Transport Erkrankter und Verwundeter unter maritimen Bedingungen.

Laser-Attacken können die Sicherheit von Piloten, Crew und Passagieren gefährden. Das Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin beschreibt diese wachsende Bedrohung und erste Schritte hin zu wirksamen Schutzmaßnahmen.

Auch die aktive Förderung gesunden Verhaltens gewinnt immer mehr Bedeutung für den Sanitätsdienst der Bundeswehr, die langfristige Leistungsfähigkeit der Streitkräfte und für die Gesundheit aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Mit der Ausfächerung des Betrieblichen Gesundheitsmanagement (BGM) hat der Geschäftsbereich BMVg zukunftsweisende Maßnahmen auf diesem Gebiet ergriffen. Über einen Aspekt des BGM, hier die Förderung einer gesunden Ernährung, berichtet die Task Force BGM am Kommando Sanitätsdienst der Bundeswehr.

Die wehr- bzw. militärpsychologische Forschung wird am Streitkräfteamt der Bundeswehr konzeptionell entwickelt, durchgeführt und /oder betreut. Berichtet wird über eine abgeschlossene Untersuchung zur beruflichen Mobilität in der Bundeswehr.





ORR Dr. rer. nat. Markus H. Antwerpen  
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr  
München

Institut fuer Mikrobiologie@bundeswehr.org

OFA Dr. Gelimer Genzel  
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr  
München

Institut fuer Mikrobiologie@bundeswehr.org

## Inmitten eines Ausbruchs: Sequenzieren im Felde

**Bei der Aufklärung ungewöhnlicher Ausbrüche hat die Identifizierung unbekannter Erreger höchste Priorität. Die Vollgenomsequenzierung kann dabei einen wichtigen Beitrag leisten. Mit Hilfe eines der ersten Sequenziergeräte in der Größe eines USB-Sticks wurden die Möglichkeiten und Limitierungen für den Einsatz solcher Geräte im Feld untersucht.**

Vollgenomsequenzierer zur Identifizierung unbekannter Erreger werden bislang grundsätzlich allein schon aufgrund ihrer Größe und ihres Gewichts nur innerhalb stationärer Labore eingesetzt. Ein rucksack-taugliches Vollgenom-Sequenziergerät, das an ein Laptop angeschlossen werden kann und in der Lage ist, in räumlicher Nähe zu einem unklaren Ausbruchsgeschehen eingesetzt zu werden, würde die Anwendungsbreite deutlich vergrößern. Mit einem solchen Gerät im Gepäck und stabiler Hochgeschwindigkeits-Internetverbindung zur Datenauswertung könnte man die hypothesefreie Aufklärung von Ausbrüchen schneller unterstützen. Im Frühjahr 2014 wurde bekannt, dass ein erster marktreifer „Sequenzierer auf dem USB-Stick“ für Expertenlabore verfügbar sei und man sich als Beta-Tester für dessen Erprobung in einer weltweiten Ausschreibung bewerben könne.

Die Fachgruppe „Mikrobielle Genomik und Bioinformatik“ des Instituts für Mikrobiologie der Bundeswehr (IMB) bewarb sich darum und konnte in den vergangenen zwei Jahren eines der neuartigen Geräte grundlegend zu erproben.



Abb. 1: Schnell-verlegbares Labor, abgetarnt bei Übung „Precise Response“



Abb. 2: Vollgenomsequenzer „MinION™“ der Firma Oxford Nanopore

Einige Sequenzierläufe unter den optimalen Bedingungen eines stationären Labors waren jedoch zunächst notwendig, um für den Einsatz im Feld zu üben. In Zusammenarbeit mit der Abteilung „Biomedizinische Aufklärung und Verifikation“ wurde das System dann erstmals im Rahmen einer Vektor-druckbestimmung auf dem Truppenübungsplatz Heuberg erprobt. Dazu wurde der Arbeitsplatz „Vollgenomsequenzierung“ zusammen mit den übrigen Geräten der schnellverlegbaren Diagnostikeinheit des IMB in tropentaugliche Kisten gepackt. Mittels „Metagenomic Profiling“ gelang es, die im Mikrobiom gesammelter Zecken vorhandenen potenziell humanpathogenen Bakterien anhand eines universellen bakteriellen Gens, der 16S-rRNA, zu identifizieren. Die gewonnene DNA musste dazu zunächst für die Sequenzierung vorbereitet werden. Bereits 15 Minuten nach Sequenzierungsbeginn standen dann die ersten Sequenzdaten zur Verfügung und erlaubten somit eine „Quasi-Echtzeit“-Analyse. Die erhobenen Daten wurden im Anschluss zunächst im stationären Labor analysiert und bewertet. Auch die Sequenzierungen wurden unter optimalen Laborbedingungen wiederholt. Zudem wurden Abweichungen analysiert, Fehlerraten bestimmt und die Analysealgorithmen durch einen Bioinformatiker hinsichtlich Leistung, Genauigkeit und Datenoutput für die Weiterverarbeitung optimiert. Danach begann im Februar 2016 im Rahmen einer binationalen Übung bei winterlichen Temperaturen der nächste Versuch. Erstmals gelang es dabei ohne spezifische Anreicherungs-schritte die gesamte in einer Blutprobe erhaltene DNA zu sequenzieren und auszuwerten, um den „unbekannten“ Übungs-Erreger zu identifizieren. Im Juli 2016 startete die letzte Erprobungsphase dieses Systems. Ausgestattet mit neuer Software zum autarken Sequenzieren und Auswerten startete der Vollgenomsequenzierer als nun

fester Bestandteil des mobilen Labors zur NATO-Übung „Precise Response“ ins kanadische Suffield. Mit dem speziell für die Auswertung weitergebildeten Laborpersonal war es nunmehr möglich, unabhängig von Bioinformatikern und großer IT-Infrastruktur erste Sequenzierungen und anschließende Datenanalysen durchzuführen. Dazu wurden auch lokale Datenbanken mitgeführt, die sogar eine erste Typisierung anhand der identifizierten bakteriellen DNA-Sequenzen zuließen. Parallel dazu konnte über eine Internetverbindung ein komprimierter Datensatz an das Reach-Back-Labor in München übermittelt werden, um weiterführende Analysen durchzuführen. Auf diese Weise gelang es, auf komplexer Expertise beruhende entscheidungsrelevante Informationen direkt im Feld zu generieren.

Weitere Fortschritte dieser Technologie und im Bereich der für die Datenanalytik erforderlichen Bioinformatik, werden es voraussichtlich zeitnah ermöglichen, die Vollgenomsequenzierung im Rahmen der Ausbruchsauflösung routinemäßig sowohl zur Identifizierung des auslösenden Agens, als auch bei der Rückverfolgungsanalyse zur Infektionsquellen-Ermittlung einzusetzen. So ist sie insbesondere dort von Vorteil, wo spezifische Tests kein Ergebnis produzieren und eine medizinisch unklare Ausgangslage gegeben ist.

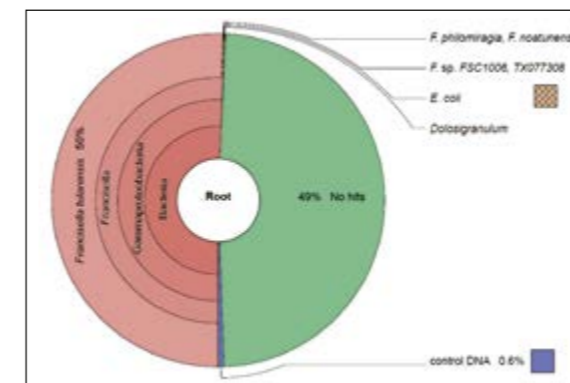


Abb. 3: Beispiel für eine automatische Ergebnisdarstellung detektierter Sequenzen einer unbekannter Probe

OTL Dr. Kilian Stoecker  
 Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr  
 München

Dr. Karin Aistleitner  
 Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr  
 München

Institut fuer Mikrobiologie@bundeswehr.org

Institut fuer Mikrobiologie@bundeswehr.org

## Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH) zur Identifikation hochpathogener Bakterien

Eine der Herausforderungen für den medizinischen B-Schutz ist die schnelle und verlässliche Diagnostik hochpathogener Bakterien im Feldeinsatz. Die Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung kann hierbei eine wertvolle Ergänzung zu klassischen molekularbiologischen Verfahren darstellen.

Hinsichtlich der diagnostischen Sensitivität und Spezifität gelten derzeit molekularbiologische Verfahren wie die Echtzeit-Polymerase-Kettenreaktion als Goldstandard beim Nachweis von B-Agenzien, sie stellen jedoch auch hohe Anforderungen an Logistik und Ausbildungsstand des Personals. Zudem haben diese Methoden Limitierungen, wenn sich z. B. im Rahmen der Gefahreneinschätzung die Frage stellt, ob es sich um lebende oder tote Erreger handelt oder ob man es mit einer oder mehreren Spezies zu tun hat. Darüber hinaus ist für die sogenannte „bestätigte Identifizierung“ von B-Agenzien die Verwendung zweier unabhängiger Methoden erforderlich.

Als komplementäre Methode zum klassischen molekularbiologischen Methodenportfolio für die Diagnostik bakterieller Erreger bietet sich die Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH) an. Dabei werden Bakterien mit kurzen Fluoreszenzfarbstoff-markierten DNA-Sequenzen (Gensonden) inkubiert, die an Zielsequenzen in der ribosomalen RNA der jeweiligen Zielorganismen binden. Die Hybridisierungsbedingungen sind dabei so gewählt, dass die Sonden-Bindung nur spezifisch erfolgt (Abb. 1). Bei Betrachtung unter einem Fluoreszenz-

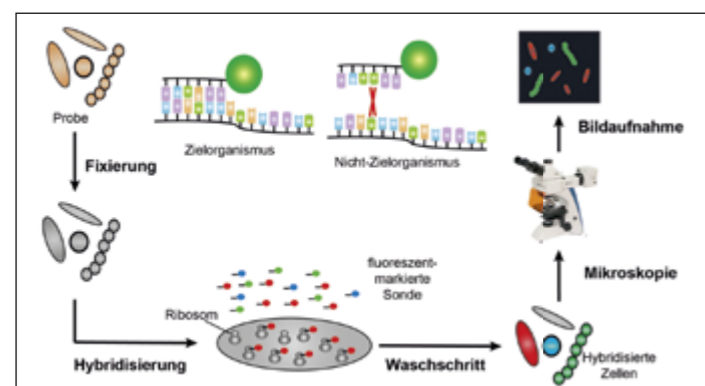


Abb. 1: Prinzip und Ablauf der Fluoreszenz in situ Hybridisierung. Nach der Fixierung der Bakterien werden diese mit spezifischen, fluoreszenzfarbstoffmarkierten Gensonden hybridisiert. Basierend auf Sequenzinformationen sind diese Sonden so gestaltet dass sie perfekt zur Gensequenz des Zielorganismus passen, während sie zu Nichtzielorganismen Basenfehlpaarungen aufweisen und daher dort nicht binden können. Nach einem Waschschriff wird die Hybridisierung mittels eines Fluoreszenzmikroskops ausgewertet. Zellen in denen eine Sondenbindung stattgefunden hat leuchten

mikroskop werden die Fluoreszenzfarbstoffe angeregt und die Zellen, in denen eine Bindung stattgefunden hat, leuchten (Abb. 2). Da das Zielmolekül für die Gensonden – die ribosomale RNA – nur in aktiven, lebenden Zellen vorliegt, werden auch nur solche erfasst und angefärbt. Durch den gleichzeitigen Einsatz von DNA-bindenden Farbstoffen, die alle Zellen gleichermaßen anfärben, erhält man die Information, ob der Zielorganismus in einer Mischung mit anderen Bakterien vorliegt. Ein besonderer Vorteil der Methode ist auch ihre weitgehende Unabhängigkeit von störenden Matrixeffekten.

Ziel des Forschungsvorhabens am Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr (IMB) war es, dieses Verfahren für die Anwendung unter Feldbedingungen zu adaptieren. Ferner sollte ein diagnostischer Algorithmus entwickelt werden, der es ermöglicht, verschiedene für den medizinischen B-Schutz relevante Erregerspezies zu identifizieren. Da es unter Feldbedingungen keine stationäre Laborinfrastruktur mit Chemikalienabzügen gibt, galt es in einem ersten Schritt eine alternative nichttoxische Komponente für das toxische Formamid zu finden, das ansonsten zur Erhöhung der Bindungsspezifität eingesetzt wird. Nach mehreren Versuchen und Protokolloptimierungen erwies sich Harnstoff als vollwertiger nichttoxischer Ersatz.

Sodann wurde in öffentlichen Datenbanken recherchiert, ob für die relevanten Zielorganismen bereits spezifische FISH-Sonden existieren. Wo das nicht der Fall war, wurden basierend auf phylogenetischen Sequenzinformationen eigene Gensonden entwickelt und deren Hybridisierungsbedingungen optimiert. Durch Verwendung von Mehrfachmarkierungen mit unterschiedlichen Farbstoffen und der Kombination von verschieden markierten FISH-Sonden konnte ein Algorithmus

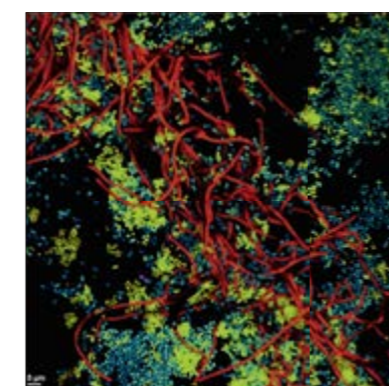


Abb. 2: Beispiel für eine Hybridisierung mit unterschiedlichen, verschiedenfarbig markierten Gensonden. Die jeweiligen Zielorganismen einer bakteriellen Spezies leuchten bei Betrachtung unter einem Fluoreszenzmikroskop in einer Farbe (hier Rot, Gelb und Türkis) und können so klar identifiziert werden

entwickelt werden, der es ermöglicht dreizehn für den medizinischen B-Schutz hochrelevante Erreger in nur zwei Hybridisierungsschritten speziesspezifisch nachzuweisen. Dazu werden im ersten Hybridisierungsschritt gruppenspezifische Sonden eingesetzt. In einem weiteren Hybridisierungsschritt wird dann mittels speziesspezifischer Sonden die jeweilige Erregerart nachgewiesen (Abb. 3). Um einen kühlkettenunabhängigen Einsatz dieser Methode zu gewährleisten, wurden sämtliche benötigten Puffer und Sonden zu Komplettmischen gemischt und gefriergetrocknet.

Am IMB wurde der neue FISH-basierte Diagnostikalgorithmus unter stationären Bedingungen bereits mehrfach an klinischen Proben erfolgreich zur Diagnostik hochpathogener Bakterien eingesetzt. Als nächstes steht die Erprobung der Methode unter Feldbedingungen an. Dem medizinischen B-Schutz steht damit eine weitere wichtige Methode sowohl zur stationären als auch zur feldbasierten Diagnostik zur Verfügung.

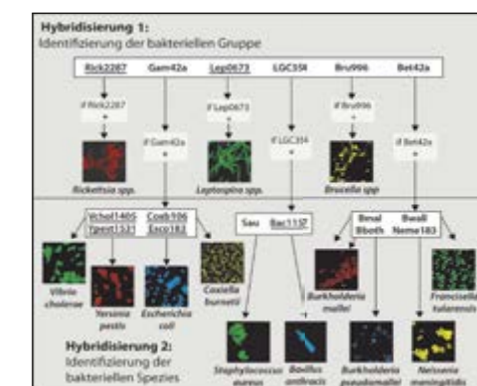


Abb. 3: Der diagnostische Algorithmus. In zwei Hybridisierungsschritten können 13 für den medizinischen B-Schutz hochrelevante Erreger spezifisch nachgewiesen werden. „Rick2287“, „Gam42a“ etc. bezeichnen die eingesetzten Sonden



Stabsveterinär Dr. Julia Herbert  
Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr  
München

Institut fuer Pharmakologie und Toxikologie@bundeswehr.org

Oberfeldarzt PD Dr. Timo Wille  
Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr  
München

Institut fuer Pharmakologie und Toxikologie@bundeswehr.org

## Precision Cut Lung Slices als Testsystem für neue Therapieoptionen bei Vergiftungen mit phosphororganischen Verbindungen

**Intoxikationen mit phosphororganischen Verbindungen (OP) wie Nervenkampfstoffen und Pestiziden sind eine Gefahr für das Leben von Soldaten und Zivilisten. In einigen Vergiftungsfällen ist die bisherige Standardtherapie unzureichend. In diesem Forschungsprojekt wurde daher mittels Precision Cut Lung Slices ein Modell zur Testung neuer Therapeutika von OP-Vergiftungen in Lungengewebe entwickelt.**

Die Bedrohung von Soldatinnen und Soldaten in militärischen Operationen durch verschiedenste Kampfmittel und Waffensysteme sowie die Gefährdung der zivilen Bevölkerung durch zunehmende terroristische Aktivitäten ist allgegenwärtig. Teil dieser Gefahr ist der Einsatz von chemischen Kampfstoffen, zu denen phosphororganische Verbindungen (OP) wie Nerven-kampfstoffe (z. B. VX, Sarin) gehören. Die Aufnahme von OP in den Körper führt zu einer irreversiblen Hemmung des Enzyms Acetylcholinesterase (AChE), dessen physiologische Funktion der Abbau des Botenstoffs Acetylcholin (ACh) ist. Die resultierende Anreicherung des ACh im Körper löst schwerwiegende Symptome an den Atemwegen aus (Lähmung der Atemmuskulatur, Atemwegsverengung, starke Schleimsekretion, Lähmung des zentralen Atemantriebs), die zum Tod führen können.

Die Standardtherapie der OP-Vergiftung besteht aus der kombinierten Verabreichung eines Oxims (zur Reaktivierung der gehemmten AChE) und Atropin (zur Aufhebung der ACh-Effekte). Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen OP ist dieses therapeutische Vorgehen jedoch in einigen Vergiftungsfällen nicht effizient genug. Alternative

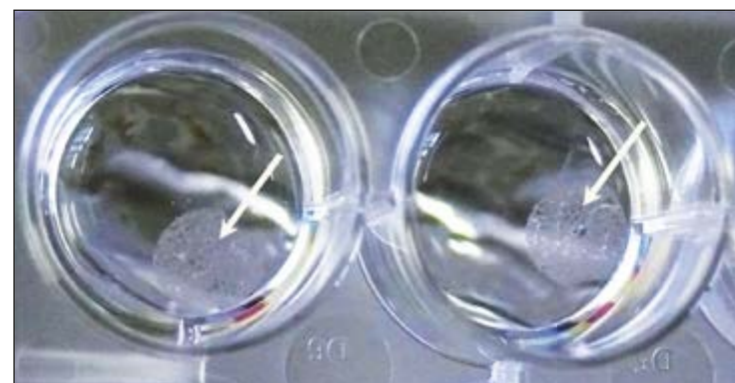


Abb. 1: Precision Cut Lung Slices in Zellkulturmedium

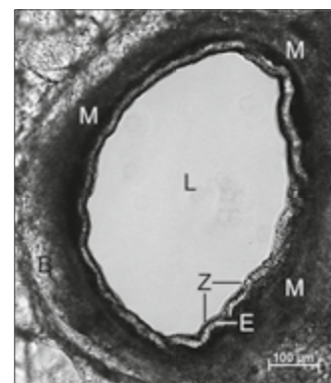


Abb. 2: Precision Cut Lung Slice unter dem Mikroskop, quer geschnittener Bronchus. L = Lumen, E = Bronchialepithel mit Ziliensaum (Z), M = glatte Muskulatur, B = peribronchiales Bindegewebe

Behandlungsoptionen sind rar, besonders hinsichtlich der Atemwegssymptomatik der OP-Vergiftung. Ziel des hier vorgestellten Forschungsprojektes ist es, die exakten pathophysiologischen Vorgänge in der Lunge aufzuklären, um neue, mechanismenorientierte Therapieoptionen zu evaluieren und so den Schutz von Soldaten und Zivilisten zu optimieren.

Als Testsystem für neue therapeutische Substanzen wurden die in der Forschung bereits etablierten Precision Cut Lung Slices (PCLS) genutzt. Diese Lungengewebeschnitte (Abb. 1) machen die Untersuchung pathophysiologischer Prozesse unter Erhaltung anatomischer und funktioneller Parameter des gesamten Organs möglich. Das zur Gewinnung von PCLS genutzte Lungengewebe kann humanen oder tierischen Ursprungs sein, wobei ein zentraler Vorteil der Methode die Gewinnung einer großen Anzahl an Gewebeschnitten aus wenig Material ist. Die Nutzung von PCLS trägt demnach auch zur Reduktion von Tierversuchen bei.

In dieser Studie wurde in PCLS durch mikroskopische Analysen ausgewählter Bronchien (Abb. 2) die Änderung der Atemwegsfläche nach Stimulation mit ACh als Hauptzielgröße bestimmt. In Kontrollgruppen führte ACh zu einer Kontraktion der Atemwege, die spontan reversibel war (Abb. 3). Dies zeigte sich durch eine initiale Reduktion der Atemwegsfläche auf rund  $30 \pm 5\%$  (Mittelwert  $\pm$  SEM) gegenüber der Ausgangsfläche (definiert als 100 %), mit nachfolgender spontaner Zunahme auf rund  $60 \pm 6\%$  der Ausgangsfläche. Grund für die Reversibilität ist der Abbau des applizierten ACh durch die pulmonale AChE. In PCLS, die mit Cyclosarin (GF) vergiftet wurden, war die ACh-induzierte Kontraktion der Atemwege

irreversibel, was sich durch eine konstante Reduktion der Atemwegsfläche auf rund  $7 \pm 2\%$  der Ausgangsfläche zeigte (Abb. 3). Probatorisch wurde das Standardtherapeutikum Atropin und das sich in der Zulassung befindliche Oxim HI-6 in Cyclosarin-vergifteten PCLS untersucht. Es zeigte sich, dass Atropin zu einer raschen Antagonisierung der ACh-induzierten irreversiblen Kontraktion führte (Abb. 4). Dagegen konnte selbst mit unphysiologisch hohen Dosen HI-6 keine signifikante Antagonisierung der Atemwegskontraktion innerhalb der Versuchsdauer von 66 min erreicht werden (Abb. 5). Dies unterstreicht die Notwendigkeit neuer Therapieoptionen, deren atemwegswirksame Effekte nun in PCLS getestet werden können.

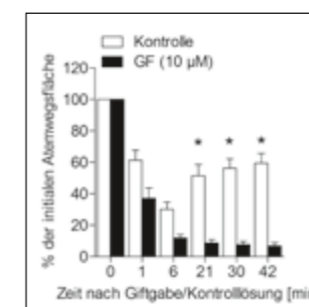


Abb. 3: Die Stimulation von Precision Cut Lung Slices (PCLS) mit Acetylcholin (ACh) führte in der Kontrollgruppe zu einer spontan reversiblen Kontraktion der Atemwege. In PCLS, die zuvor mit Cyclosarin (GF) vergiftet wurden, war die ACh-induzierte Atemwegskontraktion irreversibel. Die initiale Atemwegsfläche wurde als 100 % definiert. Dargestellt sind die Mittelwerte  $\pm$  SEM von  $n = 15$  (Kontrolle) bzw.  $n = 10$  (GF) PCLS. \* $p < 0,05$  (GF vs. Kontrolle)

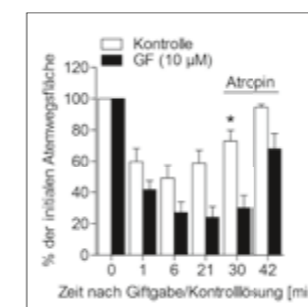


Abb. 4: Die Atropin-Applikation führte in Precision Cut Lung Slices, die zuvor mit Cyclosarin (GF) vergiftet wurden, zu einer Aufhebung der irreversiblen Acetylcholin-induzierten Atemwegskontraktion. Die initiale Atemwegsfläche wurde als 100 % definiert. Dargestellt sind die Mittelwerte  $\pm$  SEM von  $n = 9$  (Kontrolle) bzw.  $n = 8$  (GF) PCLS. \* $p < 0,05$  (GF vs. Kontrolle)

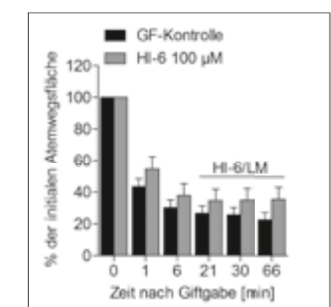


Abb. 5: In Precision Cut Lung Slices, die zuvor mit Cyclosarin (GF, 10 µM) vergiftet wurden, führte selbst eine unphysiologisch hohe Konzentration des Oxims HI-6 zu keiner signifikanten Aufhebung der irreversiblen Acetylcholin-induzierten Atemwegskontraktion. Die initiale Atemwegsfläche wurde als 100 % definiert. Dargestellt sind die Mittelwerte  $\pm$  SEM von  $n = 8$  (GF-Kontrolle) bzw.  $n = 6$  (HI-6 100 µM) PCLS; LM = Lösungsmittel

Oberstabsarzt Dr. med. Matthäus Majewski  
 Institut für Radiobiologie der Bundeswehr  
 in Verbindung mit der Universität Ulm  
 München

Oberstarzt PD Dr. med. Matthias Port  
 Institut für Radiobiologie der Bundeswehr  
 in Verbindung mit der Universität Ulm  
 München

Institut fuerRadiobiologie@bundeswehr.org

Institut fuerRadiobiologie@bundeswehr.org

## Aktuelle Forschungen zur Verbesserung der klinischen Triage nach radiologischen und nuklearen Schadensereignissen

**Nukleare Schadensfälle, Anschläge mit radioaktivem Material etc. sind potentielle Großschadensereignisse. Um die radiobiologische Triage von Patienten zu optimieren wurde im Institut für Radiobiologie der Bundeswehr das H-Modul entwickelt. Dieses IT-basierte Werkzeug wurde während einer NATO-Übung erfolgreich erprobt und soll zukünftig Ärztinnen und Ärzten aus verschiedenen Nationen vermittelt werden.**

In 2009 wurden durch den damaligen US-Präsidenten Barack Obama die nuklearen Sicherheits Gipfel ins Leben gerufen. Seine Aussage, dass nuklearer Terrorismus eine der größten Gefährdungen für die internationale Sicherheit darstellt, unterstreicht die Relevanz dieses Themas. Das terroristische Gefährdungsspektrum umfasst u.a. den Einsatz einer „Improvised nuclear device“ (improvisierte Kernwaffe) oder die Nutzung einer „dirty bomb“ (schmutzige Bombe, Beimischung von Radionukliden zu einem konventionellen Sprengkörper). Aber auch nukleare Schadensereignisse wie die Reaktorunglücke in Chernobyl und Fukushima sowie radiologische Schadensereignisse, z. B. Unfälle wie 1987 im brasilianischen Goiânia nehmen Einfluss auf das Leben von hunderttausenden Menschen. Gerade bei solchen Großschadensereignissen ist es notwendig durch eine klinische Triage (Sichtung) zu entscheiden, welche Personen tatsächlich von einer Strahlenexposition betroffen sind und welche dieser Patientinnen und Patienten ein hohes Maß an medizinischer Betreuung benötigen. Es gilt eine Überlastung der medizinischen Infrastruktur zu verhindern, um eine hohe Behandlungsqualität für die Patientinnen und Patienten gewährleisten zu können. Die Grundlage dafür

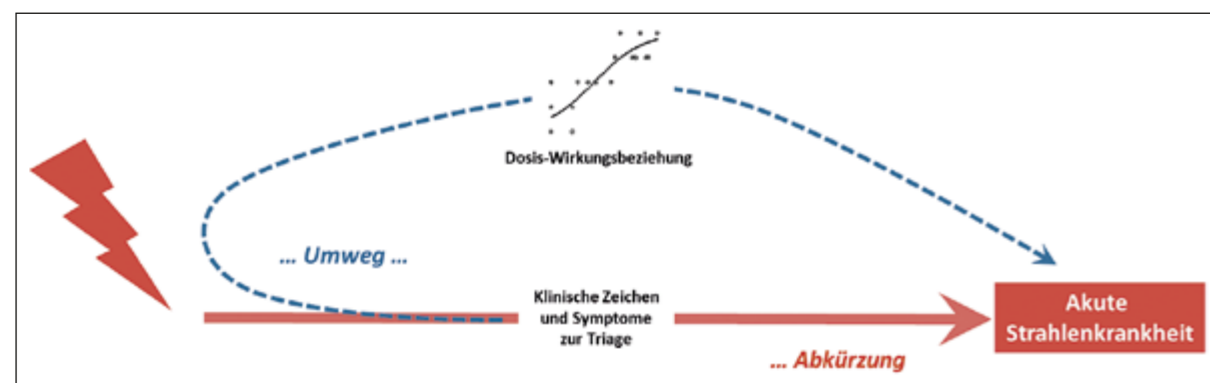


Abb. 1: Konzept zur Diagnostik der akuten Strahlenkrankheit. Dies kann einerseits über den „Umweg“ der zeitaufwendigen Dosisrekonstruktion erfolgen (klinische Zeichen und Symptome – Dosisrekonstruktion – Strahlenschaden). Andererseits kann der Strahlenschaden im Sinne einer „Abkürzung“ direkt an Hand klinischer Zeichen und Symptome (strahleninduzierte klinische Zeichen und Symptome – Strahlenschaden) erfolgen (Quelle: InstRadBioBw)

Oberstarzt Prof. Dr. med. Michael Abend  
 Institut für Radiobiologie der Bundeswehr  
 in Verbindung mit der Universität Ulm  
 München

Institut fuerRadiobiologie@bundeswehr.org

ist eine Abschätzung der aufgenommenen Strahlendosis, um dann in einem zweiten Schritt die Auswirkung auf den Organismus voraussagen. Neben dieser retrospektiven und enorm zeit- und arbeitsaufwendigen Biodosimetrie etablieren sich direkte Ansätze zur Diagnose der akuten Strahlenkrankheit anhand von klinischen Zeichen und Symptomen (Abb. 1).

Zur zeitnahen klinischen Sichtung wurde am Institut für Radiobiologie der Bundeswehr (InstRadBioBw) ein IT-basiertes Werkzeug (H-Modul) entwickelt (Abb. 2). Mittels Blutbildparametern vom ersten, zweiten oder dritten Tag nach Strahlenexposition wird das Auftreten eines hämatologischen Strahlenschadens und seines Schweregrads vorausgesagt. Darüber hinaus werden therapeutische Maßnahmen empfohlen. Grundlage für den hinterlegten Algorithmus sind Blutbildveränderungen realer Strahlenunfallopfer. Die Nutzung von Daten und biologischem Material aus betroffenen Kollektiven ist dabei als zentrales Qualitätsmerkmal zu bewerten.

Während einer multinationalen NATO-Übung unter Federführung des InstRadBioBw konnte das H-Modul seine Praxisrelevanz unter Beweis stellen. In einer „table-top“ Übung wurde die Deponierung einer Strahlenquelle in einem Langstreckenzug simuliert (Abb. 3). Nach nur drei Stunden konnte für die 191 Patientinnen und Patienten mit einer hohen Ge-

nauigkeit von im Mittel 90 % der Schweregrad des zu erwartenden hämatologischen Strahlenschadens ermittelt und eine Empfehlung zur Hospitalisierung gegeben werden. Eines der 8 beteiligten Teams verwendete das H-Modul und erreichte eine bis zu 19 % bessere Prädiktion des Krankheitsschweregrades der Patientinnen und Patienten im Vergleich zu anderen Teams.

Der Umgang mit dem H-Modul ist rasch zu erlernen. Studentinnen und Studenten des Masterstudiengangs Strahlenbiologie der TU-München erhielten eine mehrstündige Einweisung und konnten dann mit dem Programm Ergebnisse erzielen, die auf einem ähnlichen Niveau lagen, wie die von ausgewiesenen Strahlenbiologieexpertinnen und Strahlenbiologieexperten. Es ist geplant das H-Modul im Rahmen der NATO, auf Strahlenunfall-Management Lehrgängen Ärztinnen und Ärzten zu vermitteln. Im Falle eines nuklearen Schadensereignisses sind schnell einsetzbare Hochdurchsatzmethoden zur Diagnostik notwendig. Auf Grund seiner hohen Praxisrelevanz kann das H-Modul deshalb bei einem solchen Szenario eine wichtige Rolle spielen.

Erster Tag nach Bestrahlung			
	Lymphozyten/nl	Granulozyten/nl	Thrombozyten/nl
1. Tag nach Bestrahlung	0,6	8	300
<b>Diskriminierung</b>	<b>Voraussage (Wahrscheinlichkeit)</b>		<b>Diagnose</b>
H0 vs. H1-4	H1-4 vorausgesagt (PPV 48%)		schwerer bis tödlicher hämatologischer Schaden
H0-1 vs. H2-4	H2-4 vorausgesagt (PPV 54%)		<b>Maßnahmen</b> spezialisierte hämatologische Einrichtung, Intensivstation, Stammzelltransplantation erwägen
H0-2 vs. H3-4	H3-4 vorausgesagt (PPV 60%)		

Abb. 2: H-Modul zur Prädiktion des hämatologischen Strahlenschadens. H0-4: Schweregrade des hämatologischen Syndroms wird in den Graden 0 (nicht exponiert) und 1 (leicht) bis 4 (schwer) angegeben, PPW: positiv prädiktiver Wert (Quelle: InstRadBioBw)



Abb. 3: Szenario einer, im Zug deponierten Strahlenquelle. Dosisleistung: Gy/h (Gray pro Stunde) (Modifiziert nach: <https://www.remm.nlm.gov/red.htm> (Stand 19. 12. 2016))



Dr. Karl Jochen Glitz  
Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr  
Koblenz

ZInstSanBwKoblenzLaborabteilungIV@bundeswehr.org

OFA Dr. Ulrich Rohde  
Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr  
Koblenz

ZInstSanBwKoblenzLaborabteilungIV@bundeswehr.org

## „Dry Air Comfort“ (DAC) – Entwicklung einer „physiologischen“ Körperkühlmethode gegen den Hitzestress in isolierender Schutzbekleidung

**Isolierende Schutzbekleidung (ABC-Schutz, Barrier Nursing etc.) erzeugt Hitzestress, der die Tragezeit begrenzt. Die neue „Dry Air Comfort“-Methode (DAC) ermöglicht erstmals eine wirkungsvolle Entwärmung über den effektivsten physiologischen Kühlmechanismus, die Schweißverdunstung. Das innovative Verfahren realisiert Mitarbeitererfindungen und ist zum Patent angemeldet.**

Deutsche Soldatinnen und Soldaten müssen in Ausbildung und Einsatz auch isolierende Schutzbekleidung (ABC-Schutz, EOD-Anzug, Barrier Nursing etc., Abb. 1 und 2) tragen. Das Gewicht und die Bewegungseinschränkungen dieser Bekleidung erhöhen den Energieumsatz und damit die körpereigene Wärmebildung. Gleichzeitig behindert die thermische Isolation der Bekleidung die Wärmeabgabe, sodass der entstehende Hitzestress die körperliche Leistungsfähigkeit mindert und insbesondere im heißen Klima die Gesundheit (Hyperthermie) massiv gefährden kann.

Eine Präventionsmaßnahme sind Tragezeitbegrenzungen. Bei Hitze verkürzen sie die Arbeitszeiten jedoch auf weniger als 30 min, so dass eine effektive Arbeitsleistung kaum noch möglich ist. Abhilfe können Körperkühlrichtungen bieten. Mit herkömmlichen Verfahren ist allerdings eine langzeitige Ausdehnung der Tragedauer von isolierender Schutzbekleidung bislang nicht erreicht worden. Die Ursache liegt darin, dass die Schweißverdunstung (Evaporation) - als der wichtigste physiologische Entwärmungsmechanismus des körperlich



Abb. 1: Beispiele unterschiedlicher Formen isolierender Schutzbekleidung



Abb. 2: Übung zur Versorgung eines Patienten unter Barrier Nursing Bedingungen

OTA Prof. Dr. Dr. Dieter Leyk  
Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr  
Koblenz

ZInstSanBwKoblenzLaborabteilungIV@bundeswehr.org

Dr. Raman Tandon  
Wehrwissenschaftliches Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB)  
Erding

WIWeBGF330posteingang@bundeswehr.org

schwer arbeitenden Menschen – nicht oder nur unzureichend unterstützt wird.

Als Lösung hat das ZInstSanBw Koblenz eine neue Körperkühlmethode („Dry Air Comfort“, DAC) entwickelt: Dabei trägt eine Einsatzkraft einen innovativen Unterziehanzug (DAC-Suit, DAC-S), der den Körper über eine Schlauchverbindung kontinuierlich mit trockener Luft (<< 5 % rel. F.) zur Förderung der evaporativen Entwärmung umspült. Luftmenge (600 l/min) und -temperatur (max. 33 bis 34 °C) berücksichtigen die Schweißmenge und Durchblutungsregelung der Haut. Das Verfahren realisiert Mitarbeitererfindungen und ist zum Patent angemeldet. Der Unterziehanzug wurde gemeinsam mit dem Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB) entwickelt.

Die Belüftung vervielfacht die Schweißverdunstungsrate und bewirkt im Vergleich zu unbelüfteten Kontrollbedingungen eine signifikante Reduzierung des Hitzestress, der sich in geringeren Herzfrequenzen und niedrigeren Körperkern- und Hauttemperaturen ausdrückt. Die Methode erweist sich für isolierende Schutzbekleidung in Laboruntersuchungen als so wirkungsvoll, dass Tragezeiten während eines stationären Einsatzes (Abb. 3) bei einer kontinuierlichen Versorgung über eine Schlauchleitung zukünftig verlängert werden könnten

(z. B. Dekontamination bei ABC-Abwehr, Versorgung von ABC-Verletzten).

Aufgrund des begrenzten Aktionsradius durch die Schlauchverbindung ist das Verfahren bei einer permanenten Belüftung für mobile Tätigkeiten derzeit nur eingeschränkt anwendbar. Hier bietet sich eine intervallartige Entwärmung an: Während der Träger einer isolierenden Schutzbekleidung ohne hinderliche Anbindung (ungekühlt) arbeitet, könnte er in Pausen zur Körperkühlung an einen stationären Kompressor für die Luftversorgung angekoppelt werden.

Ziel einer aktuellen Studie (Abb. 4) ist es, die Wirksamkeit einer derartigen Strategie mit einem geeigneten Arbeitszeit-Pausen-Regime zu prüfen. Im Erfolgsfalle wäre mit der DAC-Methode auch im mobilen Einsatz eine Tragezeitverlängerung mit isolierender Schutzbekleidung möglich. Bei der intervallartigen Körperkühlung entfielen für eine pausierende Einsatzkraft das zeit- und personalintensive Ablegen der Schutzbekleidung: Die Arbeit könnte nach der Entwärmung fortgesetzt und eine zwischenzeitlich arbeitende Kraft wieder abgelöst werden. Durch den wechselnden Personaleinsatz ließen sich personelle Ressourcen reduzieren.



Abb. 3: Soldat des ABCAbwRgt 750 „Baden“ mit portablen Messwertaufnehmern während einer Arbeitsplatzanalyse



Abb. 4: Freiwilliger Proband in isolierender Schutzbekleidung in der Umweltsimulationskammer

Prof. Dr. Gertrud Winkler  
Hochschule Albstadt-Sigmaringen,  
Fakultät Life Sciences  
Sigmaringen

studiengang-leh@hs-albsig.de

Prof. Ulrike Arens-Azevedo  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg,  
Fakultät Life Sciences  
Hamburg

Department-oet@ls.haw-hamburg.de

## Wissenschaftliche Erkenntnisse für eine gesunde und zielgruppenorientierte Ernährung in der Bundeswehr im Kontext des Betrieblichen Gesundheitsmanagement

Gesunde Ernährung ist als Teil des Betrieblichen Gesundheitsmanagement ein Baustein für gesunde und leistungsfähige Streitkräfte. Im Rahmen zweier wissenschaftlicher Projekte konnten Optimierungsmöglichkeiten in der Nährstoffzusammensetzung der Truppenverpflegung identifiziert sowie kurz- und mittelfristig durch nudging-Maßnahmen die Wahl von gesunden Speisen und Getränken signifikant gesteigert werden.

Mit Durchführung einer Erprobungsphase und der anschließenden Einführung eines Betrieblichen Gesundheitsmanagement (BGM) im Geschäftsbereich (GB) des BMVg wird eine „systematische, zielorientierte und kontinuierliche Steuerung aller betrieblichen Prozesse mit dem Ziel Gesundheit, Leistung und Erfolg für den Betrieb und alle seine Beschäftigten zu erhalten und zu fördern“ umgesetzt.

Als Teil des BGM sollte der Mitarbeiter im GB BMVg während des Dienstbetriebes in Deutschland und im Einsatz optimale Möglichkeiten zur gesunden Ernährung erhalten. Eine ausgewogene Ernährung ist Basis von Gesundheitsförderung und Krankheitsprävention, sie beeinflusst Arbeitsfähigkeit und Lebenserwartung positiv.

Das Verpflegungsangebot ist in diesem Kontext von zentraler Bedeutung. Hierzu wurden in einem Teilprojekt der Begleitforschung des BGM die Truppenverpflegung und die Speisenangebote analysiert und Empfehlungen zur Optimierung abgeleitet.

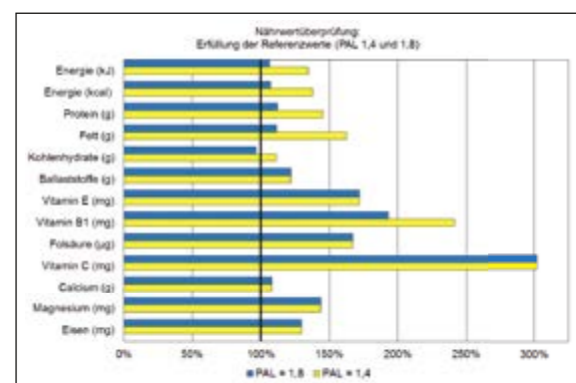


Abb. 1: Vergleich der Nährwertberechnungen des Mittagessens mit den D-A-CH Referenzwerten ausgewählter Nährstoffe



Abb. 2: Beispiel einer einfachen nudging-Maßnahme: Geschnittenes Obst als Dessert wird in attraktiven Gläsern und Stückobst in verschiedenen Sorten auf grünen Tablett angeboten (Foto: KErn)

Flottillenarzt Priv.-Doz. Dr. Stefan Sammito  
Kommando Sanitätsdienst der Bundeswehr  
Koblenz

kdosandstbwbgm@bundeswehr.org

Über einen Zeitraum von 20 Verpflegungstagen wurde vorrangig das Mittagsangebot der Truppenverpflegung auf Basis des Qualitätsstandards für die Betriebsverpflegung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung bewertet. Untersucht wurden die Häufigkeit der eingesetzten Lebensmittel sowie der Nährstoffgehalt auf der Basis von Nährwertberechnungen der Speisenrezepturen. Die Ergebnisse wurden mit den D-A-CH-Referenzwerten bei einem Physical Activity Level (PAL), als Maß für die körperliche Aktivität, von 1,4 (vorwiegend sitzende Tätigkeit) und 1,8 (starke körperliche bzw. sportliche Beanspruchung) verglichen. Auf Basis dieser Analysen konnte festgestellt werden, dass die aktuelle Truppenverpflegung hinsichtlich des Energiegehalts und der Makronährstoffe (Proteine, Fett, Kohlenhydrate) bezogen auf den PAL 1,4 ein deutliches Überangebot beinhaltet. Die wesentlichen Vitamine, Mineralstoffe und Ballaststoffe werden ausreichend angeboten (siehe Abbildung 1).

Neben dem reinen Gesamtangebot an Speisen beeinflusst auch die Präsentation des Speisenangebots die Auswahl in den Truppenküchen. Klassische, meist informationsvermittelnde Maßnahmen zur Verbesserung des Ernährungsverhaltens wirken insgesamt nur beschränkt. Mittels sanfter Anreize (= nudging von to nudge = sanft anstupsen) sollen Menschen dazu bewegt werden, ihr Verhalten vorteilhaft zu ändern.



Abb. 3: Beispiel einer einfachen nudging-Maßnahme: Zusätzliches Mineralwasser in Halbliterflaschen ist in grünen Behältnissen an mehreren Stellen im Ausgabebereich verfügbar (Foto: KErn)

Im Rahmen eines zweiten Teilprojektes wurde in der Truppenküche des Fliegerhorstes KAUFBEUREN untersucht, wie sich durch nudging-Maßnahmen im Speisenausgabebereich die Ausgabehäufigkeit gesunder Speisen und Getränke verändern. Einfache Veränderungen (u. a. besseres Handling am Salatbuffet; vielfältigeres Angebot von Obstdesserts; zusätzliches Angebot von Mineralwasser in auffälligen grünen Behältnissen – siehe Abbildungen 2 und 3) führten dazu, dass kurz- und mittelfristig signifikant mehr Essensgäste Salat als Beilage sowie frisches Obst als Dessert wählten und dass der Anteil von Wasser an den Getränken signifikant stieg (siehe Abbildung 4).

Zusammenfassend zeigt sich, dass im Bereich der Truppenverpflegung Optimierungsmöglichkeiten bestehen. Die Erkenntnisse dieser Teilprojekte werden in den Jahren 2017/2018 zu Veränderungen in den Truppenküchen durch Implementierung von nudging-Maßnahmen und durch Veränderungen der Basisrezepturen führen. Daneben wird es durch die Implementierung mindestens eines Mittagmenüs basierend auf einem PAL von 1,4 auch an Standorten mit hoher körperlichen Belastungen ein Angebot für die hier befindlichen Beschäftigten mit vorwiegend Schreibtischtätigkeiten geben.

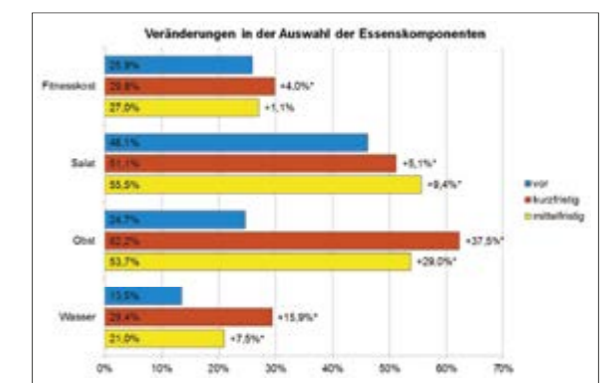


Abb. 4: Anteil der Essensgäste, die vor, kurz- (3 Monate) und mittelfristig (6 Monate) nach Einführung von nudging-Maßnahmen die Fitnesskost, Salat und Obst als Beilagen wählten sowie der Anteil von Wasser an allen Getränken, \* p < 0,001



Dr. med. Frank M. Jakobs  
Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe  
Fürstenfeldbruck

ZentrLuRmedLwii3caugenheilkunde@bundeswehr.de

## Cave Lucem – Laserangriffe auf Luftfahrzeuge

**Laserattacken auf Luftfahrzeuge durch Missbrauch von Laserpointern werden zunehmend zu einem Problem für die Flugsicherheit. Das Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe und seine Kooperationspartner haben es sich zur Aufgabe gemacht, die Hintergründe und Risiken dieses Trends zu analysieren und Massnahmen bereitzustellen, um die Piloten und Öffentlichkeit vor den möglichen Auswirkungen solcher Attacken zu schützen.**

Laser sind seit ihrer Entwicklung zum Inbegriff technologischen Fortschritts geworden. Faszination umgibt das Akronym, das auf der Einstein'schen Vorhersage der Amplifikation von kohärentem Licht beruht. Aber dieses Licht ist gefährlich, wenn es zweckentfremdet oder ohne die erforderliche Vorsicht gebraucht wird. Multiple Case Reports berichten über Kinder und Jugendliche, die sich durch direkten Blick in einen Laserpointer irreversible Netzhautverletzungen zugezogen und so ihr Sehvermögen dauerhaft geschädigt haben.

Die Frage, ob angesichts der zunehmenden Inzidenz von Laserattacken auch das Auge eines Piloten geschädigt werden könnte, ist somit berechtigt. Nach derzeitigem Wissen ist diese Frage im Grundsatz zu bejahen. Dies ist jedoch nur ein Teilaspekt der Laserproblematik. Als wesentlich wahrscheinlicher und damit gefährlicher ist die Beeinträchtigung der fliegerischen Performance in den kritischen Phasen des Fluges zu bewerten, in denen Höchstkonzentration und fehlerfreies Handeln von den Piloten gefordert wird. 60 % bis 80 % der Laserattacken erfolgen in dieser Phase, d. h. je langsamer und niedriger das Luftfahrzeug fliegt, desto wahrschein-



Abb. 1: AH-64 Apache Helikopter, angestrahlt durch multiple Laser-Pointer während öffentlicher Unruhen in Kairo 2013 (überlassen von David Cenciotti, 2017)



Abb. 2: Frontale Laserblendung am Boden während des Taxiing's, gesehen aus der Perspektive des Piloten (FAA Public Release, 2008)



Abb. 3: Lichtüberflutung von Cockpit und Pilot durch einen 5 mW Laser mit Streuung an der Aussenverglasung des Luftfahrzeugs (FAA Public Release, 2008)

licher wird statistisch die Konfrontation mit einem Laser.

Um die Interferenzen in dieser Situation besser abbilden zu können, wurde ein Modell entwickelt, das alle Möglichkeiten einer Laser-Inkapazitierung in flight berücksichtigt. In diesem Modell sind eine Ebene der mentalen (1), visuellen (2) und physischen (3) Interferenz definiert. Wie sich die Interferenzen auf Ebene 1 und 2 (Ablenkung und Blendung) auf die fliegerische Performance auswirken, ist bislang nicht bekannt. Im Rahmen des NATO SETS-198 wurde eine Computer-Simulation der Blendwirkung auf das menschliche Auge realisiert, die dokumentierte, dass das zentrale Gesichtsfeld abhängig von der Lichtenergie komplett durch einen Laserpointer eliminiert werden kann. Im Rahmen des Folgeprojekts (SET-249) soll nunmehr untersucht werden, inwieweit die individuelle Handlungssicherheit durch variierende Expositionsmuster beeinträchtigt wird.

Erhebliche Schwierigkeiten bereitet in diesem Kontext die Forderung nach Schutzmassnahmen. Wenn Fliegen unter Sichtbedingungen erhalten bleiben soll, muss eine a priori-Entscheidung getroffen werden, welche Wellenlänge bei welcher Transmission geblockt werden soll. Hieraus resultieren zwei Probleme: einerseits besteht gegen die verbleibenden Wellenlängen kein oder nur unzureichender Schutz, während andererseits das Herausfiltern einer einzelnen Wellenlänge aus dem sichtbaren Spektrum zu einer klinisch manifesten Farbsehstörung führt. Untersuchung entsprechender Schutzbrillen hat gezeigt, dass solche Farbsehstörungen Ausmasse annehmen können, die ein korrektes Ablesen der digitalen Anzeigen moderner Glas-Cockpits unmöglich machen.

Um den erforderlichen Kompromiss zwischen Lichtblockade und -transmission zu ermöglichen, wurde in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw) und dem Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUDBw) ein Arbeitspapier herausgegeben, in welchem die Blend- und Inkapazitierungspotenziale marktverfügbarer Laserpointer entfernungs-, energie- und wellenlängenabhängig berechnet sind. Die erste auf der Grundlage dieser Berechnungen ausgewählte Schutzbrille wird derzeit in Zusammenarbeit mit der Wehrtechnischen Dienststelle für Luftfahrzeuge und Luftfahrtgerät der Bundeswehr (WTD 61) in Manching erprobt. Parallel hierzu ist die Anbringung von LED-Panels an den Flugsimulatoren der fliegenden Verbände geplant, die zu Trainingszwecken bei unvorhergesehener Lichtexposition verwendet werden können. Das Pilotprojekt wird in Frittlar stattfinden.



Abb. 4: Globale Darstellung Luftfahrt-bezogener Laser-Zwischenfälle 2005-2009. Quelle: <http://aviation.globalincidentmap.com> (© OpenStreetMap)



Abb. 5: Globale Darstellung Luftfahrt-bezogener Laser-Zwischenfälle 2010-2014. Quelle: <http://aviation.globalincidentmap.com> (© OpenStreetMap)

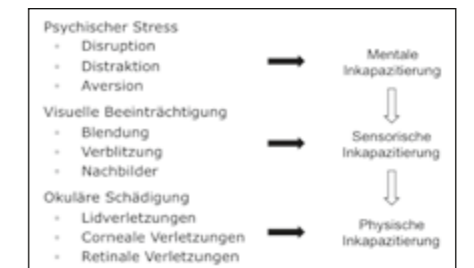


Abb. 6: Modell der okulären Laser in-flight Inkapazitierung, wie vom Autor vorgeschlagen (© FMJakobs, 2012)

Flottenarzt Dr. med. Ulrich van Laak  
Schiffahrtsmedizinisches Institut der Marine,  
Abt. I – Maritime Medizin  
Kronshagen

SchiffMedInstM@bundeswehr.org

Flottenarzt Dr. med. Henning Werr  
Schiffahrtsmedizinisches Institut der Marine,  
Abt. III – Forschung und Lehre  
Kronshagen

SchiffMedInstM@bundeswehr.org

## Qualifizierter Verwundetentransport an Bord von Einheiten der Deutschen Marine

Eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe des Schiffahrtsmedizinischen Instituts der Marine beschäftigt sich intensiv mit den Herausforderungen des Transports von Verwundeten und Kranken an Bord. Es wurde eine standardisierte und reproduzierbare Untersuchungsmethodik entwickelt, um Rettungs- und Bergeverfahren medizinisch, ergonomisch und sicherheitstechnisch analysieren und weiterentwickeln zu können.

Der Transport Erkrankter, Verletzter oder Verwundeter auf seegehenden Einheiten der Marine muss konzeptionell überdacht werden.

Bewährtes Gerät, das in die Jahre gekommen ist, muss an den technischen und praktischen Fortschritt angepasst und ergänzt oder ersetzt werden. Die fortschreitende Professionalisierung des zivilen Rettungswesens beeinflusst selbstverständlich auch den militärischen Sanitätsdienst. Aktuelle Regelungen und Grundsätze aus den Bereichen Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin müssen auch beim Krankentransport stärkere Berücksichtigung finden. Erfahrungen aus bewaffneten Auseinandersetzungen haben für die NATO-Streitkräfte zu einer Erneuerung der Konzepte der Ersten Hilfe und sanitätsdienstlichen Versorgung geführt. Die Einsatzrealität humanitär motivierter militärischer Missionen konfrontiert Sanitätspersonal mit dem Transport von Patienten aller Altersgruppen.

Die Arbeitsgruppe führt in Zusammenarbeit mit dem Sanitätspersonal verschiedener seegehender Einheiten streng praxisorientierte Evaluationen durch. Ziel sind Informationsgewinnung



Abb. 1: Untersuchung zum Krankentransport auf einem Unterseeboot der Marine



Abb. 2: Laboruntersuchung



Abb. 3: Prototyp eines Patienten-Fixiersystems

Oberstabsapotheker Katrin Kober  
Schiffahrtsmedizinisches Institut der Marine,  
Abt. I – Maritime Medizin  
Kronshagen

SchiffMedInstM@bundeswehr.org

und Dokumentation möglicher Defizite und besonderer Herausforderungen direkt vor Ort.

Hierzu kommt eine spezielle „Laborausrüstung“ zur Anwendung, bei der es sich im Wesentlichen um verschiedene Krankentransportgeräte mit Zubehör, Patienten-Simulationspuppen verschiedener Körpergrößen und Gewichtsklassen sowie Material zum Heben von Lasten handelt.

Die bislang gewonnenen Erkenntnisse haben zu einem Katalog standardisierter Testaufgaben geführt, der es ermöglicht, Krankentransportgeräte und insbesondere Krankentransportmethoden zu vergleichen.

Es erwies sich als zielführend nicht nur Material einzubeziehen, sondern die optimale Synthese aus medizinischen Erfordernissen, Kompetenz des anwendenden Personals und den möglichen Transportmethoden zu schaffen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Kompatibilität zwischen den verschiedenen Geräten, damit ein zeitraubendes und möglicherweise schädliches Umlagern von Patienten weitgehend vermieden werden kann.

Resultat der Evaluierungen sind unter anderem Empfehlungen für Beschaffungsvorhaben sowie die Unterstützung

bei der Lösung konkreter Transportprobleme vor Ort.

Mit dem vorhandenen Befestigungsmaterial kann beim Krankentransport an Bord zwischen Patienten und Krankentransportgerät oftmals keine ausreichend stabile Fixierung erreicht werden. Außergewöhnliche Patienten-Positionen, bis hin zum Aufrichten in die Senkrechte, sind damit nicht gefahrlos möglich. Hieraus ist mit der Entwicklung eines optimierten universellen Fixiersystems zur Immobilisation von Patienten ein eigenes Projekt entstanden.

Weil die vertikale Patientenbeförderung an Bord unvermeidlich ist, wird der Erarbeitung von Konzepten für „Vertikale Rettungs- / Bergungsverfahren“ besonderes Augenmerk geschenkt. Hierzu wurde eine intensive Zusammenarbeit mit Schiffstechnikern und Schiffbauern initiiert. Ziel es ist, den Einsatz moderner Hebezeuge und vertikaler Rettungstechniken an Bord in stärkerem Umfang zu etablieren.

Im Rahmen eines weiteren Forschungsprojektes hat die Arbeitsgruppe mit der Entwicklung eines Patienten-Schutzsackes begonnen, der den medizinischen Anforderungen eines Patiententransportes auf oder über See gerecht wird und bei einem Sturz ins Wasser die Überlebenschance erhöht.



Abb. 4: Seiltechnik zur Verbesserung der Ergonomie



Abb. 5: Seiltechnik bei der Rettung von Patienten im Seenotfall



Abb. 6: Überlebenssack für Patienten



L RDir Priv.-Doz. Dr. Jens T. Kowalski  
Streitkräfteamt, Grp Angewandte Militärpsychologie und Forschung  
Bonn

ORR'in Dr. Andrea Heiß  
Streitkräfteamt, Grp Angewandte Militärpsychologie und Forschung  
Bonn

SKAAbtPersGdsFordGrpMilPsych-Forschg@bundeswehr.org

SKAAbtPersGdsFordGrpMilPsych-Forschg@bundeswehr.org

## Befragung zur beruflichen Mobilität in der Bundeswehr

**Im Rahmen einer repräsentativ angelegten Umfrage in der Bundeswehr wurde berufliche Mobilität in ihrer gesamten Bandbreite empirisch erfasst: Es wurden Erkenntnisse zu deren Verbreitung, ihren Ursachen und Folgen gewonnen. Ansatzpunkte für Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Abmilderung von Belastungen, die mit der bei Bundeswehrangehörigen stark verbreiteten Mobilität einhergehen, wurden identifiziert.**

Die heutige Arbeitswelt fordert von Berufstätigen nicht nur Flexibilität, sondern auch in immer stärkerem Maße Mobilität. Als flächendeckendes Unternehmen ist die Bundeswehr auf die berufliche, d.h. räumliche Mobilität ihrer Beschäftigten besonders angewiesen.

Dabei existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten, beruflich mobil zu sein, die vom täglichen Pendeln über berufsbedingte längere Abwesenheiten von der Familie bis hin zu einem beruflich veranlassten Umzug reichen.

Auf der einen Seite bietet berufliche Mobilität viele Vorteile und Chancen: Für den Arbeitgeber Bundeswehr besteht der Nutzen u.a. darin, vakante Dienstposten adäquat zu besetzen oder flexibel mit Aus-, Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten umzugehen. Für den beruflich mobilen Bundeswehrangehörigen eröffnen sich gegebenenfalls mehr Karriereoptionen und Gelegenheiten zur Weiterentwicklung. Auf der anderen Seite ist berufliche Mobilität vielfach mit persönlichen und familiären Nachteilen für die Betroffenen und deren Angehörigen verbunden, z. B. in Form von häufigem Zeitdruck oder



Abb. 1: Pendeln mit dem Zug (© 2016 Bundeswehr/Dinnebier)



Abb. 2: Pendeln mit dem Auto (© 2016 Bundeswehr/Dinnebier)

der fehlenden Möglichkeit, sich ausreichend familiär und sozial zu engagieren.

Für die Bundeswehr lagen bislang keine umfangreichen belastbaren Zahlen zum Ausmaß beruflicher Mobilität, deren Ursachen und Folgen sowie zu möglichen Optimierungsmaßnahmen aus Sicht der Betroffenen vor.

Daher wurden im Rahmen einer repräsentativen Umfrage 15.082 Soldatinnen, Soldaten und Zivilbeschäftigte sowie deren Partnerinnen und Partner befragt. Die Rücklaufquote für die Bundeswehrbeschäftigten lag bei knapp 30 %. Von den antwortenden Bundeswehrangehörigen, die in einer Partnerschaft leben, meldeten sich 77 % der Partnerinnen und Partner zurück. Dieser substantielle Anteil liefert einen ersten Hinweis darauf, wie wichtig dieses Thema für die Angehörigen ist.

Bundeswehrbeschäftigte zeigen ein hohes Maß an Mobilität: 60 % der Antwortenden sind beruflich mobil. Damit liegt der Anteil an beruflich mobilen Bundeswehrbeschäftigten deutlich über dem der erwerbstätigen Deutschen mit 19 % (Schneider & Meil, 2008).

Nach Auskunft der Antwortenden sind vorrangig berufliche Gründe (z. B. Lehrgänge (22 %), Auswirkungen struktureller Änderungen (15 %) oder die Verbesserung zukünftiger (Be-)Förderungschancen (14 %)) sowie die Berufstätigkeit beider Partner (10 %) für ihre berufliche Mobilität verantwortlich.

Vorteile von beruflicher Mobilität werden am ehesten im Lernen von Neuem, in der Erweiterung des persönlichen Horizonts und im Knüpfen von Kontakten gesehen. Als gravierender

stellen sich für die Bundeswehrbeschäftigten allerdings die Nachteile dar: Hier stehen v. a. familiäre Auswirkungen (weniger Zeit für Kinder und Partner, Pflege von Angehörigen erschwert), hohe finanzielle Kosten und persönliche Einschränkungen wie Zeitdruck oder Erschöpfung im Vordergrund. Demzufolge wird berufliche Mobilität von den Betroffenen und von deren Partnerinnen und Partnern grundsätzlich als belastend erlebt (60% - 92% je nach Mobilitätsform).

Berufliche Mobilität wird in nur geringem Maße als Chance angesehen (29 %), vielmehr bewerten 73 % der Antwortenden berufliche Mobilität als Notwendigkeit, 54 % empfinden sie als Zwang. Knapp ein Drittel (27 %) äußert die Bereitschaft, (auch) in Zukunft beruflich mobil zu sein, 44 % sind hierzu nicht bereit.

Vor dem Hintergrund der Wettbewerbsfähigkeit des Arbeitgebers Bundeswehr und der zusätzlichen Belastung für Bundeswehrangehörige durch weitere Abwesenheitszeiten aufgrund von Auslandseinsätzen verdeutlichen die Befragungsergebnisse, dass die Fortführung und Weiterentwicklung von Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Abmilderung mobilitätsbedingter Belastungen notwendig und gewünscht ist. Aus Sicht der Betroffenen sind hier eine langfristige Verwendungsplanung und längere Stehzeiten, die Beachtung der familiären Situation bei Versetzungen, flexible Arbeitszeitmodelle sowie finanzielle Unterstützungen am wichtigsten.

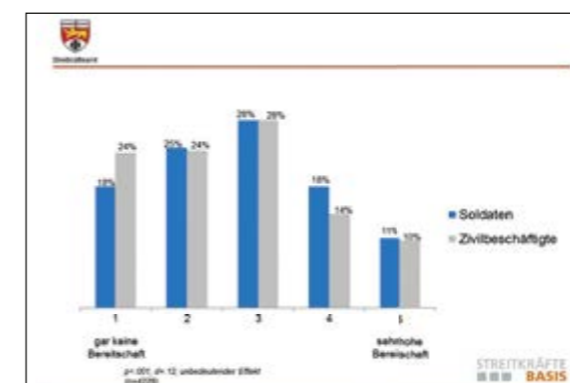


Abb. 3: Ausmaß der Bereitschaft für künftige Mobilität nach Status (militärische vs. zivile Beschäftigte)



# 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 (BMVg), um mit den dabei gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnissen die öffentlichen Diskussionen über Militär und Sicherheit in Deutschland aktiv mit zu gestalten.

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.





OTL Dr. Christian Stachelbeck  
Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften  
der Bundeswehr (ZMSBw)  
Potsdam

ZMSBwEingang@bundeswehr.org

Jens-Peter Lange  
Ruhr Universität Bochum  
Bochum

webmaster@ruhr-uni-bochum.de

## 57. Internationale Tagung für Militärgeschichte (ITMG) zum Thema „Materialschlachten 1916. Ereignis, Bedeutung, Erinnerung“

Das Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr (ZMSBw), Potsdam veranstaltet jährlich eine große internationale Tagung für Militärgeschichte. Anlässlich der 100. Wiederkehr der Schlacht von Verdun diskutierten im April 2016 in Trier zahlreiche Historikerinnen und Historiker Fragen zur Kriegführung und Alltagsgeschichte im Ersten Weltkrieg wie auch zur Erinnerungskultur.

Ganz im Zeichen der Massenschlachten des Jahres 1916 stand die 57. ITMG vom 18. bis 21. April 2016 in Trier, denn nicht weniger als vier bedeutende Großschlachten des Ersten Weltkrieges jährt sich 2016 zum 100. Mal: In Frankreich neben Verdun auch die Schlacht an der Somme, an der Südfront zu Italien der österreichisch-ungarische Angriff in Tirol sowie im Osten die Offensive des russischen Generals Brusilov. Die in Zusammenarbeit vom ZMSBw mit dem französischen Service Historique de la Défense (SHD, Vincennes) ausgerichtete Tagung bot über 150 internationalen Wissenschaftlern und Interessierten aus dem militärischen wie zivilen Bereich Einblicke in die aktuelle militärhistorische Forschung zur Schlacht von Verdun, zu den weiteren Materialschlachten des Jahres 1916 und deren Erinnerung in den kriegsbeteiligten Staaten.

Der Stellvertreter des Inspektors der Streitkräftebasis, Generalleutnant Peter Bohrer, betonte in seinem Grußwort dann auch die Bedeutung von Erinnerungsorten wie Verdun für das Selbstverständnis unserer Soldatinnen und Soldaten im heutigen Europa. Historische Bildung als Teil der politischen



Abb. 1: Grußwort stv. Inspekteur der Streitkräftebasis Generalleutnant Peter Bohrer, 18. 04. 2016



Abb. 2: Eröffnungsvortrag Professor (em.) Dr. Gerd Krumeich, 18. 04. 2016

Bildung zählt zu den Grundpfeilern der Inneren Führung und deren Leitbild vom Staatsbürger in Uniform. Militärgeschichte ist ein integraler Bestandteil der Ausbildung in der Bundeswehr.

Prof. Dr. Gerd Krumeich (Freiburg) skizzierte in seinem großen einführenden Abendvortrag am ersten Tag unter dem Thema „Verdun 1916. Die Schlacht und ihr Mythos“ Aspekte der Kriegsstrategie, des Schlachtfelderlebens der Soldaten und der Erinnerungskultur. Er zeigte eindrucksvoll die Reichweite des Verdun-Ereignisses über die Grenzen von Nationen, Generationen und einzelne Forschungsfelder hinaus auf und rückte so die große Bandbreite der Möglichkeiten der militärhistorischen Erforschung des Weltkrieges in den Fokus. Eben diese Bandbreite darzustellen, war sicherlich ein bedeutender Eckpfeiler der diesjährigen ITMG, um die neue Methodenoffenheit und Multiperspektivität der Weltkriegsforschung insgesamt zu verdeutlichen.

Diesen innovativen Ansatz nahmen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den Vorträgen und in regen Diskussionen auf. Ganz im Sinne einer erweiterten Militärgeschichte deckten die Vorträge der fünf Sektionen nicht nur die moderne Operationsgeschichte mit dem Thema „Lernen im Krieg“ ab, sondern lenkten mit Vorträgen beispielsweise über Religion, „Trench Art“ oder Medizinethik das Augenmerk auch auf die Erinnerungskultur, die Kunst- oder Medizingeschichte. Der Blick auch über den Tellerrand nationaler Betrachtungsweisen hinaus unterstrich dabei die hohe Relevanz des internationalen Vergleichs.

Eine eintägige Exkursion auf das Schlachtfeld von Verdun am vierten Veranstaltungstag beschloss die diesjährige Tagung.



Abb. 3: Militärgeschichtliche Exkursion, Beinehaus Verdun, 21. 04. 2016

In Anwesenheit des Inspektors der Streitkräftebasis, Generalleutnant Martin Schelleis, des Kommandeurs des Zentrums Innere Führung, Generalmajor Jürgen Weigt sowie des deutschen Verteidigungsattachés in Paris, Brigadegeneral Hans-Dieter Poth, besichtigten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zentrale historische Stätten des Schlachtfeldes. Die Forts Douaumont, Vaux sowie das Beinhaus (Ossuaire) führten noch einmal hautnah das Grauen der dreihundert-tägigen Schlacht wie auch die Erinnerung an dieses weithin prägende historische Großereignis vor 100 Jahren vor Augen. Ein gelungenes Beispiel für den modernen Umgang mit Erinnerungskultur und Geschichtsvermittlung bot dabei insbesondere der Besuch im renovierten und kürzlich neu eröffneten Mémorial de Verdun. Mit einer Kranzniederlegung im kleinen Rahmen gedachten führende Vertreter des ZMSBw und SHD der Gefallenen der Schlacht.

Ein Tagungsband ist inzwischen erschienen.

WissDir Dr. Gregor Richter  
 Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften  
 der Bundeswehr (ZMSBw)  
 Potsdam

ZMSBwEingang@bundeswehr.org

## Militärsoziologische Forschung zur Personalgewinnung und -bindung

**Untersuchungen zur Personalgewinnung und -bindung in Streitkräften bilden einen Kernbereich der internationalen Militärsoziologie. Gleichzeitig wird vom Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) – nicht erst seit Aussetzung der Wehrpflicht 2011 – vielfach Bedarf an sozialwissenschaftlicher Forschung zu Personalthemen artikuliert. Auch im Berichtsjahr 2016 standen deshalb entsprechende ministerielle Aufträge im Zentrum der Projektarbeit im Forschungsbereich „Militärsoziologie“ am Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr (ZMSBw).**

Generalthema der aktuellen Forschungsprojekte ist die Frage, wie die Bundeswehr ihre Stellung als attraktiver Dienst- und Arbeitgeber ausbauen kann. Den Schwerpunkt im Berichtsjahr bildete das Projekt „Personalbefragung 2016“. Ziel war die Wirkungsmessung der Maßnahmen der 2014 von Bundesministerin Dr. Ursula von der Leyen ins Leben gerufenen Attraktivitätsagenda „Bundeswehr in Führung – Aktiv. Attraktiv. Anders“. Dazu wurden etwa 10.000 Bundeswehrangehörige (Soldaten / Soldatinnen und zivile Mitarbeiter / Mitarbeiterinnen) im Zeitraum vom 13. Juni bis 19. Juli 2016 postalisch befragt. Die Ergebnisse sind mittlerweile als Forschungsbericht auf der Homepage des ZMSBw verfügbar.

Die Studie zeichnet ein erfreuliches Zwischenfazit: Sowohl für die untergesetzlichen Maßnahmen der Agenda, als auch für das Bundeswehrattraktivitätssteigerungsgesetz (BwAttraktStG) können positive Effekte auf die Arbeitgeberattraktivität nachgewiesen werden, d. h. Bundeswehrangehörige, die bereits Wirkungen von Maßnahmen der Agenda bei sich persönlich oder in ihrem Umfeld wahrnehmen, schätzen die Attraktivität des Arbeitgebers Bundeswehr höher ein. Auf die Frage, ob man



Abb. 1: Die Agenda „Bundeswehr in Führung – Aktiv. Attraktiv. Anders.“



Abb. 2: ZMSBw-Forschungsbericht zur Personalbefragung 2016

sich wieder für die Bundeswehr als Arbeitgeber entscheiden würde, antworteten 56 Prozent mit „ja“ – dies entspricht einem Anstieg von 13 Prozentpunkten gegenüber einer Referenzbefragung aus dem Jahr 2013. Auch die Dienstzufriedenheit ist 2016 mit 62 Prozent signifikant höher als noch vor vier Jahren; damals waren 49 Prozent eher zufrieden, zufrieden oder sehr zufrieden. Die Studie zeigt jedoch Nachsteuerungsbedarf für die Kommunikationsarbeit rund um die Attraktivitätsagenda auf: Zwar hat sich die Mehrheit der Bundeswehrangehörigen nach eigenen Angaben mit der Agenda beschäftigt und kennt die wesentlichen Fakten und Zusammenhänge, 29 Prozent der Bundeswehrangehörigen haben von der Attraktivitätsoffensive allerdings noch nichts gehört oder gelesen.

Zwei Forschungsprojekte, die besondere Zielgruppen der Personalarbeit in den Blick nahmen, konnten 2016 zum Abschluss gebracht werden. Es handelt sich dabei um die Langzeitprojekte zur „Personalgewinnung und -bindung im Sanitätsdienst der Bundeswehr“ (Laufzeit seit 2012) und zu „Offizieranwärtern und -anwärterinnen der Marine im ersten Ausbildungsjahr“ (Laufzeit seit 2013). Entsprechende Forschungsberichte und Zeitschriftenartikel wurden bereits publiziert oder die Veröffentlichung ist für 2017 vorgesehen.

Weitere Zielgruppenanalysen werden ab 2017 in Angriff genommen: Im Projekt „Motivation von Soldatinnen und Soldaten in der Bundeswehr“ sollen die Gründe für die Weiterverpflichtungsbereitschaft aller Dienstgradgruppen identifiziert und Vorschläge für die künftige Gestaltung von Laufbahnen erarbeitet werden. Beauftragt wurde auch ein Projekt mit dem Titel „Karrieren ehemaliger Zeitsoldaten in der Privatwirtschaft: Erfahrungen, Erfolgsfaktoren und

Perspektiven einer Zusammenarbeit“. In dieser Studie sollen die Karrieren ehemaliger Zeitoffiziere sowie Perspektiven einer verstärkten Zusammenarbeit zwischen Bundeswehr und zivilem Arbeitsmarkt eruiert werden. In 2017 ist darüber hinaus eine Tagung am ZMSBw geplant, die die militärsoziologischen Befunde zur Personalgewinnung und -bindung in einen weiteren wissenschaftlichen Kontext stellt.

Das wissenschaftliche Wirken des Forschungsbereichs „Militärsoziologie“ ist geprägt durch ein konsequentes Miteinander von Grundlagenforschung und Auftragsforschung. Auch 2016 gelang es, mittels verschiedener Forschungsprojekte dem konkreten Erkenntnisbedarf des Auftraggebers, des BMVg, gerecht zu werden und – zuweilen sehr kurzfristig – belastbare wissenschaftliche Befunde zu liefern. Gleichzeitig wurden die Untersuchungen so angelegt, dass sie einen wissenschaftlichen Mehrwert aufweisen und ihre Befunde in den akademischen Austausch eingespeist und für Publikationen und Vorträge genutzt werden können.

Inwieweit treffen die folgenden Aussagen auf Sie zu? (Angaben in Prozent)	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	teils/teils	trifft eher zu	trifft zu
Für mich ist die Bundeswehr ein attraktiver Arbeitgeber.					
2013	7	15	39	25	14
2016	3	8	30	35	24

Abb. 3: Bewertung der Attraktivität der Bundeswehr als Arbeitgeber. Datenbasis: Personalbefragungen des ZMSBw 2013 und 2016



Abb. 4: Aktuelle Veröffentlichung aus dem Forschungsbereich Militärsoziologie



## 4

## Geowissenschaftliche Ressortforschung

Das Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr (ZGeoBw) ist die zentrale Einrichtung des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr (GeoInfoDBw). In der Abteilung Angewandte Geowissenschaften sind die Aufgaben für die geowissenschaftliche Ressortforschung gebündelt, unterstützt durch den dem ZGeoBw zugeordneten Wissenschaftlichen Beirat. Der Abteilungsleiter fungiert als Beauftragter für die geowissenschaftliche Ressortforschung.

Die Geowissenschaftliche Ressortforschung ist ein Teilprozess des Leistungsprozesses „Geoinformationswesen sicherstellen“ des BMVg. Forschungs- und Entwicklung (FuE) des ZGeoBw sind über den Ressortforschungsplan des BMVg stets am unmittelbaren Bedarf der Streitkräfte und einsatzbezogen angelegt. Die weltweite Orientierung der Bundeswehr verlangt eine umfassende GeoInfo-Unterstützung aus den 18 Wissenschaftsdisziplinen, die im Geoinformationswesen der Bundeswehr (GeoInfoWBw) in interdisziplinärer Zusammenarbeit vereint sind. Dabei werden sowohl aktuelle und kurzfristige als auch mittel- bis langfristige Aufgaben- /Fragestellungen bearbeitet.

Die Ziele der Ressortforschung ergeben sich unmittelbar aus dem Auftrag der Bundeswehr bzw. GeoInfoDBw. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten tragen unmittelbar zur Deckung des Bedarfs an qualitätsgesicherten Geoinformationen bei. Des Weiteren müssen bereits eingesetzte Methoden und Verfahren an den sich stetig fortentwickelnden Forschungsstand angepasst werden. Relevante Geofaktoren und Umwelteinflüsse sind zu erkennen, deren Auswirkungen auf die Operationsführung zu beurteilen, aktuelle und qualitätsgesicherte gering- und

hochdynamische Geoinformationen für Übung und Einsatz weltweit und flächendeckend bereitzustellen, Einsatzkräfte geowissenschaftlich zu beraten und die Bedeutung von politischen Prozessen mit Raumbezug zu verdeutlichen.

Die Ergebnisse der geowissenschaftlichen Ressortforschung stellen die militärische Kernfähigkeit der GeoInfo-Unterstützung sicher, d. h., für alle raumbezogenen Aufgaben des BMVg und der Bundeswehr stets aktuelle wissenschaftsbasierte Grundlagen bereitzustellen, die darüber hinaus Eingang in Planungs- und Entscheidungsprozesse des BMVg und der Bundeswehr finden. Das ZGeoBw beteiligt sich an multinational sowie national geprägten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben.

Die geowissenschaftliche Ressortforschung setzt auf dem aktuellen Forschungsstand auf, analysiert geowissenschaftliche Ergebnisse und nutzt das Leistungsangebot von Forschungseinrichtungen anderer Bundesressorts sowie militärischer wie nicht-militärischer Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen. FuE-Projekte werden mit geeigneten Partnern aus anderen Ressortforschungseinrichtungen, Universitäten und Fachhochschulen sowie außeruniversitären Forschungseinrichtungen oder auch mit kommerziellen Unternehmen durchgeführt. Neben der ständigen Verbesserung der laufenden GeoInfo-Unterstützung der Bundeswehr wird die geowissenschaftliche Ressortforschung stets auch perspektivisch auf die Fragestellungen ausgerichtet, für die aktuell noch kein unmittelbarer Handlungs- oder Regelungsbedarf zu erkennen ist. So werden frühzeitig neue Entwicklungen erkannt und die Beratungsfähigkeit vorbereitend sichergestellt.





Dr. Andreas Iskam  
Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr,  
Dezernat Geopolitik/Geographie  
Euskirchen

ZGeoBwFachpublikationen@bundeswehr.org

## Die Ebola-Epidemie im westlichen Afrika

**Sierra Leone, Guinea und Liberia kämpften 2014 bis 2015 gegen eine Ebola-Epidemie. Die Entwicklung von der ersten Infektion hin zu einer Epidemie, machte den gesamten Sachverhalt relevant für eine geopolitische Betrachtung. Bestrebt, die Situation vor Ort zu verbessern, engagierte sich die Bundesrepublik Deutschland auch mittels Geldspenden und dem Entsenden der Bundeswehr.**

Ziel der Untersuchung war es, die Gründe für den Ausbruch und die Folgen der Ebola-Epidemie zu analysieren. Eine Schwächung der Wirtschaft und negative Entwicklungen in den Staaten hätten Folgen für die internationale Sicherheitspolitik nach sich ziehen können. Genutzte Herangehensweisen wie das „Scenario Planning“ sind Möglichkeiten, Entwicklungen einer Lage für die Zukunft zu diskutieren.

Bei Ebola wird davon ausgegangen, dass vor allem Fledermäuse dem Virus als Erregerreservoir dienen. Die enorme Anpassungsfähigkeit der Tiere an sich ändernde Lebensräume, wie die Rodung von Waldflächen und die Möglichkeit in verbleibenden Bäumen oder sogar Wohnhäusern unterzukommen, steigerte das Risiko einer Zoonose, dem Überspringen eines Krankheitserregers vom Tier auf den Menschen. In den betrachteten Ländern findet keine durchgehende Umnutzung bzw. totale Rodung der gesamten zuvor als Urwald zu definierenden Flächen statt, sondern eine Fragmentierung der vorhandenen Waldstücke. Die Kontaktfläche von Mensch und Natur wurde auf diese Weise erheblich vergrößert.



Abb. 1: Distanzen zwischen ausgewählten Städten und Flughäfen mit Direktverbindungen und relativer Übertragungswahrscheinlichkeit und ausgewählte Transitverbindungen nach Brockmann (2014).



Abb. 2: Relative Wahrscheinlichkeit der Übertragung von Ebola durch Wildtiere und Waldverlust 2000-2013

Um zu verstehen, wie sich das Virus zunächst unbemerkt und kaum eindämmbar ausbreiten konnte, musste die Vorgeschichte der Region einer Betrachtung unterzogen werden. Danach wurde klar, dass es sich bei der Epidemie keineswegs um eine spontane und räumlich willkürliche Entwicklung handelte. Die schleppende Entwicklung der Region kann auf die negative Vorbelastung der betroffenen Länder in Bezug auf die Bürgerkriege, wie auch auf den allgegenwärtigen Nepotismus und die Korruption zurückgeführt werden. Die fragile Staatlichkeit der betroffenen Staaten ist eine ungünstige Voraussetzung, um Ausbrüche von Epidemien zu verhindern oder einzudämmen.

Anfang 2014 erklärte die Weltgesundheitsorganisation die Ebola-Epidemie zum weltweiten Gesundheitsnotfall. Diese Entwicklung war der Tatsache geschuldet, dass das Virus in dicht besiedelten Gebieten auftrat. Ein wichtiger Punkt war, dass das Virus vom medizinischen Personal, sowohl in den Kliniken wie auch den Krankenhäusern der Staaten, nicht als Ebola-Virus erkannt wurde. Die starke Nachfrage der Bevölkerung an Medizinmännern erschwerte zudem das Eindämmen der Epidemie. Menschen in den Armutsvierteln der Städte waren besonders gefährdet, da sie auf engstem Raum leben, die sanitären Bedingungen katastrophal sind und es an sauberem (Trink-) Wasser mangelt.

Direkte Kosten der Epidemie, zum Beispiel durch Tote und den Verdienstaustausch durch erkrankte Erwerbstätige, müssen weit unter den Kosten beziffert werden, welche durch aversives Verhalten der Bevölkerung innerhalb der betroffenen Staaten, wie auch Institutionen und Industrien von außerhalb hervorgerufen wurden.



Abb. 3: Anlegen der Ganzkörperschutzkleidung für behandelndes Personal im Rahmen von Severe Infections Temporary Treatment Unit (SITTU) in Monrovia, am 26.01.2015 (Quelle: Bundeswehr/Wilke 2015)

Die Unterstützungsmission „Humanitäre Hilfe Westafrika“ bestehend aus dem Deutschen Roten Kreuz, der Bundeswehr und dem liberianischen Gesundheitspersonal hat einen wichtigen Beitrag im Kampf gegen das Ebola-Virus geleistet. Durch die Mitwirkung an der Anpassung des nationalen Krisenkonzeptes und an der nachhaltigen Ausbildung der einheimischen Fachkräfte, konnten aber entscheidende Beiträge geleistet werden.

In Bezug auf Ebola wurde deutlich, dass die Epidemie eine Entwicklungskrise darstellt, die sich in medizinischen Aspekten manifestierte und zu einer Verschärfung der Wirtschaftslage in den betroffenen Ländern führte. Es ist nicht so, dass mit dem Sieg über die Epidemie die Gefahr gebannt ist, noch, dass sich ein weiteres Engagement erübrigt. Das Gegenteil ist der Fall. Die Epidemie hat gezeigt, wie wichtig ein internationales Engagement für eine nachhaltige Entwicklungshilfe in eben solchen Ländern ist, welche geschichtlich vorbelastet und aus eigener Kraft nicht in der Lage sind, diesen Zustand zu verändern.



Abb. 4: Ein Oberfeldweibel übt mit liberianischen Pflegekräften im Rahmen von Severe Infections Temporary Treatment Unit (SITTU) in Monrovia, am 21.01.2015 (Quelle: Bundeswehr/Wilke 2015)



RR Dr. Lars Wiegand  
Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr,  
Grp Meteorologie beim Deutschen Wetterdienst (DWD)  
Offenbach

ZGeoBwEingang@bundeswehr.org

## Mineralstaubvorhersagen für die Einsatzgebiete der Bundeswehr

**Die Erstellung und stetige Verbesserung der Vorhersagen des Mineralstaubes auf Basis numerischer Wettervorhersagen für Einsatzgebiete der Bundeswehr wurde in den letzten Jahren vorangetrieben. Diese Information zusätzlich zur allgemeinen Wettervorhersage wird oft für aride Einsatzgebiete angefordert und ist sehr nützlich für alle TSK.**

Das Modellsystem COSMO-ART, Bundeswehrynomenklatur RLMD (Relocatable Local Model Dust), zeichnet sich durch die Online-Kopplung der numerischen Wettervorhersage (NWV)-Modelle des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und der Bundeswehr mit den am Institut für Meteorologie und Klimatologie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) entwickelten ART-Modulen zur Behandlung von Aerosolen und reaktiven Spurengasen in der Atmosphäre (englisch: „Aerosols and Reactive Trace gases“) aus.

Die Simulationen der NWV werden um die Prognose von Konzentrationen bestimmter Aerosolpartikel und bei Bedarf auch gasförmiger Komponenten zu jedem Zeitschritt und an allen Punkten des Rechengitters erweitert. Die Online-Kopplung bietet den Vorteil, dass die meteorologisch relevanten Größen der zusätzlichen Prozesse zeitlich synchron zur numerischen Wettervorhersage in hoher Frequenz genutzt werden können. Des Weiteren werden in diesem Fall z. B. für die Beschreibung von skaligen (Advektion) und subskaligen (Konvektion, Diffusion) Transportprozessen die gleichen Algorithmen wie für das NWV-Modell selbst genutzt. Spezifische



Abb. 1: Staubwalze mit aufkommender Sichttrübung unter 100 m (Feldlager Mazar-e Sharif / Afghanistan)

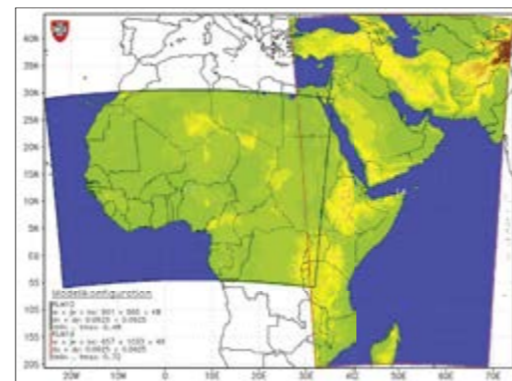


Abb. 2: Operationelle Modellgebiete für Mineralstaubprognosen, Stand 18.01.2017

Prozesse wie die Parametrisierung von Emissionen, Sedimentation, nasser und trockener Ablagerung (Deposition) am Erdboden oder Umwandlungsprozesse beispielsweise aufgrund chemischer Reaktionen werden durch die ART-Module bereitgestellt.

Bestehen gegenseitige Abhängigkeiten zwischen meteorologischen Prozessen und den zusätzlichen Größen, so kann auch dies in der Online-Kopplung grundsätzlich berücksichtigt werden (Aerosol-Strahlungs- oder -Wolkenwechselwirkung). In den momentanen operationellen Modellrechnungen für die Bundeswehr sind diese sehr rechenaufwändigen Wechselwirkungsprozesse nicht implementiert.

In den letzten Jahren wurde u. a. für Flugwetterberatungen oder die Staubanfälligkeit von Messgeräten auf Schiffen in verschiedenen Einsatzgebieten (z. B. Afghanistan) der Mineralstaub prognostiziert. Operationelle Prognosen werden zwei Mal am Tag (00 / 12UTC) erstellt für das Gebiet ATALANTA, einschließlich Syrien / Türkei / Irak (Vorhersage bis Tag 3), sowie für die Region Westafrika inklusive des Einsatzgebietes Mali (bis Tag 2). Damit deckt die Bundeswehr mit ihren Rechnungen fast die komplette Sahara und die arabische Halbinsel ab. Da an den Rändern der Modelle keine Übergabe des Mineralstaubes stattfindet, ist es sinnvoll mit dem Modellgebiet alle Staubquellen abzudecken, von denen emittierter Staub ins Ziel / Einsatzgebiet transportiert wird.

Im Jahre 2016 wurden durch wissenschaftliche Erkenntnisse Verbesserungen der Staubvorhersage für die Einsatzgebiete erreicht. Für eine nützliche Mineralstaubvorhersage ist ein möglichst genauer Bodendatensatz von Nöten. Die Emission

von Sandkörnern verschiedener Größen hängt maßgeblich von den Landnutzungsklassen und den Korngrößenverteilungen ab. Auf Grund dessen wurde ein zehn Mal höher räumlich aufgelöster Bodendatensatz (~ 1 km) ins System eingebaut. Des Weiteren ist es mit diesem Datensatz nun möglich weltweit zu operieren. Zur Prognoseverbesserung für die ersten (bis zu 12) Vorhersagestunden, in denen sich bei einem Kaltstart (staubfreie Atmosphäre) des Modells allmählich emittierter Staub ansammelt, wird eine Staubkonzentration zur Initialisierung als Startanalyse ins System eingebaut. Hierbei handelt es sich um eine 12-Stunden Vorhersage aus dem vorhergehenden Modelllauf. Diese Veränderung in der Vorhersage führt u. a. zu einer Verbesserung der Vorhersage von allmählicher Sichttrübung, welche sich über Tage aufbauen kann. Das Forschungsthema der Sichtweitenberechnung mit Hilfe der vorhergesagten Mineralstaubkonzentration ist im Moment Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten. Auf Grund von sehr wenigen Messungen der Sicht / des Mineralstaubgehaltes in den Einsatzgebieten ist eine Evaluierung nur erschwert durchzuführen. Wie am Fallbeispiel in Abbildung 3 zu sehen, erzielt die Staubkonzentrationsprognose eine gute Qualität im Vergleich mit Satellitenmessungen.

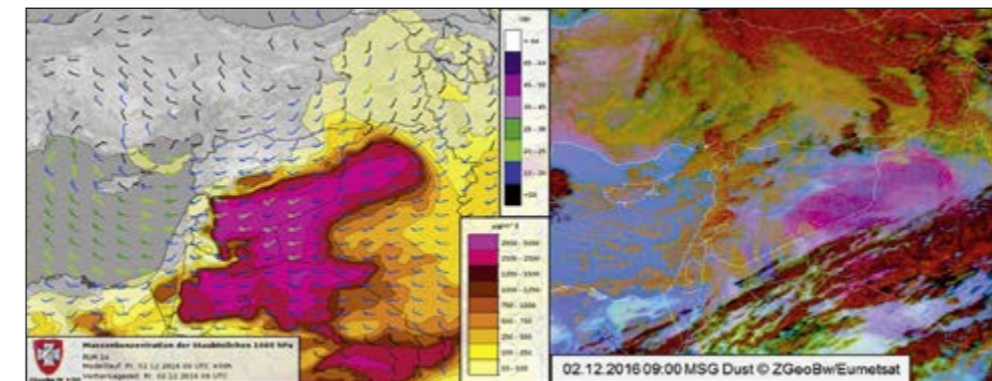


Abb. 3: Vergleich numerische Staubprognose mit Satellitenbeobachtung am 02.12.2016 09UTC im Bereich Syrien. Links: Prognostizierte Konzentration von Staubeitichen + Windpfeile, Rechts: Meteosat RGB Komposit Dust © Eumetsat, Darstellung von Staub durch violette Farbe

## Detektion von Hohlräumen mit Methoden der Angewandten Geophysik

**Methoden der bodengestützten Angewandten Geophysik werden auf ihre Tauglichkeit hinsichtlich der Detektion von Hohlräumen untersucht. Dabei werden auch neue Bildgebungsverfahren des Untergrunds entwickelt.**

Mit Methoden der Angewandten Geophysik wird die Erde durch Messung ihrer physikalischen Parameter untersucht. Diese kann man einteilen in passive Messmethoden, wie die Messung des Erdmagnetfeldes oder der Erdschwere und in aktive Methoden wie zum Beispiel Seismik, wo akustische Wellen in den Untergrund gesendet und wieder empfangen werden. Beide Methoden sind zerstörungsfrei. Im Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr (ZGeoBw) werden diejenigen Methoden untersucht, mit denen eine Detektion von unterirdischen Hohlräumen zu erwarten ist. Um überhaupt Hohlräume im Untergrund auflösen zu können, muss der Kontrast der physikalischen Parameter von Hohlraum (Luft) und umliegenden Boden oder Gestein hoch genug sein. Stark kontrastierende Parameter sind die Dichte, die elektrische Permittivität und die elektrische Leitfähigkeit. Diese, oder daraus resultierende Größen (Laufzeit von akustischen oder elektromagnetischen Wellen, Spannung), werden mit den Methoden Mikrogravimetrie, Seismik, Georadar und Geoelektrik gemessen.



Abb. 1: Eingangsbereich eines Minierstollens bei La Boisselle, Frankreich – ein ideales Messobjekt



Abb. 2: Geoelektrikmessung im Messgebiet La Boisselle, Frankreich. In diesem Fall war die exakte Lokation der Minierstollen unbekannt



Abb. 3: Georadarmessung mit einer 200 MHz Antenne (roter Kasten) bei Breitenbenden, Eifel. Die unterirdische Römische Wasserleitung (jetzt trocken) wurde in diesem Waldgebiet gesucht und gefunden

Zur Überprüfung der genannten Methoden auf ihre Nutzbarkeit für den Geoinformationsdienst der Bundeswehr zur Detektion von unterirdischen Hohlräumen, werden an unterschiedlichen Standorten im In- und Ausland Geländemessungen durchgeführt. Die Standorte sollen sich in ihrer Geologie und der Art und Weise des vorhandenen Hohlraums unterscheiden. Vermessen werden so z. B. historische Bergbaustollen oder Minierstollen des ersten Weltkriegs, deren Ausmaße denen von gegrabenen Tunneln irregulärer Truppen entsprechen. Vor der eigentlichen Messung wird eine möglichst realitätstreue Modellierung der Messung am Computer durchgeführt, in die die physikalischen Parameter der Böden und Gesteine des Messgebiets und die Ausmaße und Tiefe der Hohlräume eingehen. Dadurch erhält man optimale Messkonfigurationen der jeweiligen Messgeräte (wie z. B. Messpunktstand, Aufzeichnungsdauer von Signalen, etc), die eine Detektion der Hohlräume im Gelände erst ermöglichen. Interessant wird es dann, wenn die genaue Lokation des Hohlraums im Messgebiet nicht bekannt ist. Erst recht bedarf die Auswertung der Messdaten dann einer sensiblen Hand. Was ist Rauschen, was ist das Signal?

Nach der Messung werden die Daten prozessiert, ausgewertet und interpretiert. Nach einer genauen Fehleranalyse der Messdaten wird eine simulierte Messung eines sogenannten Startmodells am Computer mit den realen Messdaten verglichen. Die Diskrepanz zwischen synthetischen und echten Messdaten wird ermittelt und das Startmodell ein wenig angepasst. Hiernach wird wieder eine modellierte Messung berechnet und mit realen Messdaten verglichen. Dieser iterative Prozess (Inversion) wird so lange wiederholt, bis man ein Modell des Untergrunds gefunden hat, welches die Messdaten im Rahmen ihrer Fehlerungenauigkeit erklärt. Dies ist ein

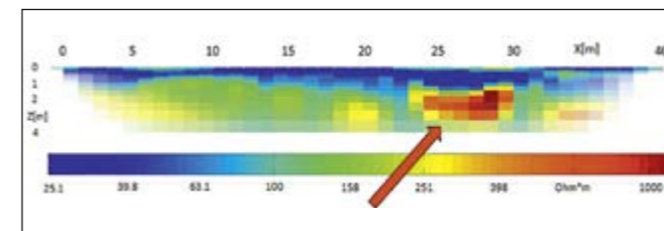


Abb. 4: Ergebnis einer Geoelektrikmessung von La Boisselle, Frankreich. Ein profilhafter Schnitt durch den Untergrund zeigt den scheinbaren elektrischen Widerstand. Ein Minierstollen ist klar als hochohmige Anomalie (rote Farben) zu erkennen

Bildgebungsverfahren, das nicht nur in der Geophysik, sondern auch prominent in der Medizin Verwendung findet. Das Ergebnis ist ein Bild des Untergrunds, das entweder als Schnitt in die Tiefe oder als dreidimensionales Modell im Raum vorliegt.

Die geophysikalische Forschung des ZGeoBw im Bereich der Hohlraumerkundung soll mehrere Ergebnisse erzielen:

Zum einen soll die GeoInfo-Fachkraft Handlungsanweisungen und Empfehlungen für Messungen im Einsatzland erhalten, die ihr erläutert, welche Messmethode mit welcher Konfiguration bei entsprechender Geologie des Untergrunds am besten einzusetzen ist. Zum anderen sollen Auswerterroutinen hinsichtlich lateraler Inhomogenitäten (Hohlräume) optimiert und ggf. erweitert werden. Am Ende steht die Entwicklung eines Computerprogramms, welches eine gemeinsame Auswertung von verschiedenen geophysikalischen Methoden erlaubt und so deren Vorteile zu einem besseren Abbildung des Untergrunds kombiniert.

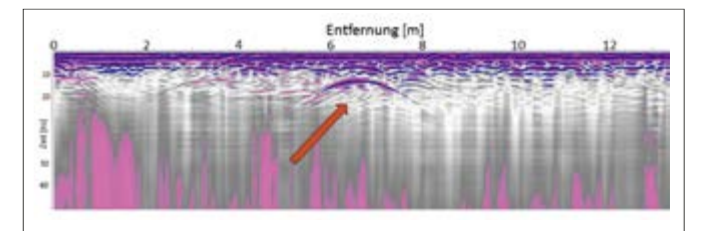


Abb. 5: Lediglich Startzeit-korrigierte Rohdaten einer Georadarmessung mit einer 400 MHz Antenne zur Vermessung der Römischen Wasserleitung bei Breitenbenden, Eifel. Obwohl die Daten noch nicht prozessiert sind, ist deutlich die Römerleitung in der Mitte des Profils zu entdecken



## 5

## Ressortforschung Cyber / Informationstechnik

Die wehrtechnische Forschung im Bereich der Cyber- und Informationstechnologien erhält mit der Neugründung der Abteilung Cyber / Informationstechnik (CIT) im Bundesministerium der Verteidigung eine Betonung, die diesen Technologien auch in ihrer Bedeutung für die Gesellschaft zukommt. Wir schätzen die Vorteile, welche die zunehmende Digitalisierung in einer hochgradig vernetzten Welt bietet, und verlassen uns dabei auf sichere Netze, die Vertraulichkeit von Informationen und dass die für die jeweiligen Entscheidungen relevanten Informationen zur rechten Zeit am rechten Ort verlässlich aufbereitet zur Verfügung stehen.

Anders als zivile Unternehmen oder andere Ressorts muss die Bundeswehr Cyber- und Informationstechnologien auch unter extremen Umweltbedingungen sowie unter Einsatz- und Gefechtsbedingungen schnell und zuverlässig bereitstellen und verwenden können. Sowohl das breite Spektrum der Anforderungen im Einsatz als auch die Erfordernisse hinsichtlich der Interoperabilität mit nationalen wie auch internationalen Partnern sowie supranationalen Organisationen sind Herausforderungen, für die kontinuierlich optimale Lösungen gesucht werden. Dabei gilt es, die am Markt entstehende Innovation schnellstmöglich für den Informations- und Kommunikationsverbund der Bundeswehr verfügbar zu machen.

Primäre Forschungsfelder bei den Cyber- und Informationstechnologien berühren somit Themen der Cybersicherheit, der Kommunikation innerhalb von Netzwerken und auch

über Funkwellen, der Hard- und Softwareplattformen und der darauf ablaufenden Anwendungen.

Die Untersuchungen können dabei abstrakte Fragestellungen aufgreifen, wie die Suche nach Möglichkeiten zur Integration von Architekturen in das Anforderungsmanagement im Beschaffungsprozess und die Verwendung von Funkdiensten über Satelliten zur Steuerung von unbemannten fliegenden Systemen. Es werden aber auch konkrete Lösungsansätze untersucht, z. B. zur Erstellung eines ebenengerechten und rollenbasierten Cyber-Lagebildes oder zu einer PublicKey-Infrastruktur (PKI) im Einsatzgebiet.

Ziel aller Untersuchungen ist dabei letztlich, die Bedeutung neuer Technologien für Bedrohungen und Fähigkeiten der Bundeswehr rechtzeitig zu erkennen und die erforderlichen wissenschaftlichen und technologischen Kenntnisse und Fertigkeiten für zweckmäßige und wirtschaftliche Ausrüstungsentscheidungen verfügbar zu machen.

In den nachfolgenden Artikeln werden drei Beispiele der wehrtechnischen Forschung der Cyber- und Informationstechnologien detaillierter dargestellt.





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

info@unibw.de

Dipl.-Ing. (FH) Mario Lorenz  
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS  
Ilmenau

info@iis.fraunhofer.de

## Ergebnisse der Systemstudie LTE over Satellite

**Die Einsätze der Bundeswehr erfordern hoch mobile, taktische Kommunikationsnetze sowie eine nahtlose Integration in die Weitverkehrskommunikation über Satellit. Die unter Leitung der Universität der Bundeswehr München, Institut für Informationstechnik (UniBw M) durchgeführte Systemstudie „LTE over Satellite“ hat die Stärken und Schwächen des kommerziellen Übertragungsstandards LTE unter besonderer Berücksichtigung von Satellitenverbindungen praktisch demonstriert.**

Die vom Referat für Satellitenkommunikation des Bundesamtes für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr initiierte Systemstudie „LTE over Satellite“ wurde im November 2016 im Rahmen einer breit angelegten Systemfähigkeitsdemonstration vor geladenen Gästen abgeschlossen. Die Studie wurde von der Professur für Informationsverarbeitung der Universität der Bundeswehr München geleitet und zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen sowie des Dresdner KMU INRADIOS integrated radio solutions GmbH durchgeführt.

Der Schwerpunkt der zweijährigen Studienaktivität lag auf der zentralen Frage ob, und auf welche Weise die unverzichtbaren Managementkomponenten eines LTE Kernnetzwerkes in hybriden Netzen mit terrestrischen Anteilen und geostationären Satellitenverbindungen geschickt verteilt und somit sicher und zuverlässig betrieben werden können. Auf der Grundlage von typischen militärischen Anforderungen, beispielsweise hinsichtlich einer zentralen Nutzerverwaltung und Rechtevergabe, wurden mehrere, teils komplexe Netzwerkstrukturen entworfen. Diese Strukturen wurden theoretisch

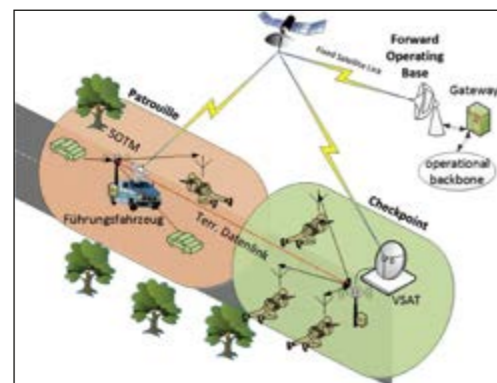


Abb. 1: Typisches militärisches Einsatzszenario als Basis für die im November 2016 an der UniBw München durchgeführten Demonstration von LTE over Satellite. Aufgebaut und betrieben wurden mobile und statische LTE Zellen, die über Satellit in einer Sternnetztopologie an ein Headquarter angebunden sind



Abb. 2: 4,6 m Hub-Station im Einsatz während der Demonstration LTE over Satellite als Teil der Referenzanlage SatCERTBw

Dipl.-Ing. Matthias Appel  
INRADIOS integrated radio solutions GmbH  
Dresden

info@inradios.com

und praktisch auf ihre Umsetzbarkeit unter den technischen Randbedingungen des kommerziellen Standards Long Term Evolution (LTE) analysiert und in mehreren Laboruntersuchungen getestet. Wesentliche Kriterien waren Zuverlässigkeit, Sicherheit und Performanz des Netzes. Die Studie fand ihren Höhepunkt schließlich in einer praktischen Live-Demonstration unter der Nutzung von Satellitenübertragungskapazitäten der Bundeswehr. Rund 40 Teilnehmer aus Industrie, Wissenschaft und Bundeswehr haben in den Laboren der Universität zwei Tage lang „Hands On“ Erfahrungen sammeln können und sich einsatznah einen Eindruck über die Leistungsfähigkeit von LTE über Satellit verschafft.

Basis der Demonstration war ein typisches Einsatzszenario bestehend aus einer Patrouille, einem stationären Checkpoint sowie einer Einsatz- und Führungszentrale als strategischer Komponente. Die Zelle der Patrouille war mobil über Satellit durch ein SATCOM on-the-Move (SOTM) Terminal des Herstellers L3-Com angebunden. Neben der für geostationäre Satellitenverbindungen typischen Signallaufzeit, ergeben sich in einem solchen Szenario besondere Herausforderungen aufgrund der Mobilität einer LTE-Basisstation und der regelmäßigen Abschattung des SOTM Fahrzeugs. Als besonderes „Highlight“ konnte selbst die Integration von Legacy Kommunikationsgeräten, wie der unter der Abkürzung FFOBZB in



Abb. 3: Erfolgreiche Integration von Legacy Kommunikationsgeräten in den modernen Systemverbund LTE über Satellit. Zwischen dem Feldfernsprecher (FFOBZB) aus dem Jahre 1956 wurde erfolgreich eine VoIP Verbindung zu LTE User Equipment mit Android Betriebssystem aufgebaut

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

office.sp@unibw.de

der Bundeswehr bekannte Feldfernsprecher, gezeigt werden. Möglich wurde dies durch ein über Satelliten-, LTE- und terrestrischem Netzwerk durchgehend harmonisiertes und technologieübergreifendes Quality-of-Service Konzept.

Die für die Demonstration benötigte SATCOM-Infrastruktur lieferte die von der Professur für Informationsverarbeitung aufgebaute und dort betriebene Test- und Referenzanlage SatCERTBw. Beim LTE Kernnetz fiel die Wahl nach Sichtung verschiedener Anbieter auf die bayerische Firma blackned GmbH, welche die flexibelste und skalierbarste Lösung anbot.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen die Möglichkeiten, aber auch die Grenzen bei der Nutzung des kommerziellen Mobilfunkstandards LTE über Satellitennetzwerke im militärischen Kontext auf. Die Erkenntnisse leisten einen systemübergreifenden Beitrag für die Erneuerung der mobilen taktischen Kommunikation und werden die Bundeswehr unterstützen, aussagekräftige Auswahlkriterien für ihre Beschaffungsentscheidungen zu entwickeln und geeignete Testszenarien zu entwerfen.



Abb. 4: Integration einer Sina Box in den Netzverbund im Rahmen der Demonstration an der UniBw München. Links: Sina Box mit VS GEHEIM Tunnel und Live-Videoübertragung über Satellit; Mitte: LTE Kernnetzwerk installiert auf einem handelsüblichen Laptop; Rechts: LTE Basisstation (eNodeB)



TORR Dipl.-Ing. Martin Dunkel  
Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung  
der Bundeswehr (BAAINBw I1.1)  
Koblenz

BAAINBwI1.1@bundeswehr.org

## Schnelles Prototyping mit flexiblen IP-Wellenformen für SDRs

Für die Bundeswehr wurde ein software basiertes Funkgerät (Software Defined Radio, SDR) entwickelt. Die Leistungsfähigkeit dieser Technologie wird maßgeblich durch die Wellenformen bestimmt. FLIP untersucht die Wellenformentwicklungsplattform sowie die prototypische Umsetzung einer flexiblen, skalierbaren und modularen IP (Internet Protocol)-Wellenform in Anlehnung an das schnelle Prototyping.

Mit der Einführung softwarebasierter Funkgeräte wird in der militärischen Funkkommunikation eine zukunftsorientierte Innovationsstufe erreicht. Auf einer generischen Plattform (ähnlich eines Personalcomputers) wird die gesamte Funkgerätefunktionalität durch das Ausführen standardisierter Software (Wellenformapplikation) realisiert. Durch Vorhalten mehrerer Wellenformen im Speicher eines SDRs kann agil auf Änderungen reagiert werden ohne hardwareseitig das Radio verändern zu müssen. Modularität, Flexibilität und Reduzierung des logistischen Aufwands sind einige Vorzüge dieser Technologie. Die enorme Leistungsfähigkeit entfaltet ein SDR durch den Einsatz moderner, IP-fähiger Wellenformen. Die konservative Entwicklung einer SCA (Software Communications Architecture)-konformen Wellenformapplikation ist zeit- und kostenintensiv. Für die Bewertungs- und Beurteilungsfähigkeit des Mehrwerts moderner Funkverfahren ist eine schnelle und prototypische Realisierung der Fähigkeiten zielführender. Das Vorhaben FLIP (Flexible IP-Wellenform) folgt dieser Prämisse. Es schafft die Möglichkeit, Technologieansätze schnell zu implementieren, um deren Leistungsfähigkeit anwendungsnah zu erproben. Durch die enge Zusammenarbeit



Abb. 1: Schematisch Darstellung des Testaufbaus, bestehend aus den beiden Testsystemen mit jeweils zwei erweiterten Testgeräten, verschaltet durch einen Kanalemulator (Quelle: Fraunhofer FKIE)

der Fraunhofer Institute IIS (Erlangen) und FKIE (Wachtberg), der Wehrtechnischen Dienststelle 81 in Greiding und des Bundesamtes für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw I1.1) konnte nach einem Jahr Forschungsarbeit das erste Inkrement einer „Flexiblen IP-Wellenform“ mit modernen Fähigkeiten (Routing, Priorisierung, simultane Übertragung von Sprache (Push-To-Talk) und Daten, IP-Fähigkeit, MANET-Fähigkeit, Cross-Layer-Optimierung) prototypisch umgesetzt und im Rahmen einer NATO-Übung demonstriert werden. Dabei wird eine kostengünstige, herstellerunabhängige und wissenschaftlich fundierte Grundlage geschaffen, um die Leistungsfähigkeit moderner Signalverarbeitungsalgorithmen, Protokolle, Routingmechanismen, Modulationsverfahren bewerten zu können und zeitgleich einen Demonstrator zu realisieren, der diese Fähigkeiten für den Nutzer sicht- und testbar macht.

Das „Erweiterte Test-Gerät“ der Fraunhofer IIS aus dem Projekt Streitkräftegemeinsame Verbundfähige Funkgeräteausstattung (SVFuA), welches die Sende- / Empfangsmodule über die gleiche Schnittstelle wie das Grundgerät SVFuA ansteuern kann, dient im Vorhaben FLIP als Demonstrator, Test- und Entwicklungsplattform für das schnelle Prototyping moderner Wellenformen. Die Nutzung verschiedener Hochsprachen und die Abstützung auf leistungsstarke General Purpose Processoren (GPP) beschleunigen die Zeiten für die Programmierarbeiten.

Die prototypische Umsetzung befähigt den öffentlichen Auftraggeber, neue Protokolle, Lösungsansätze und Algorithmen frühzeitig zu identifizieren und bewerten zu können. Des Weiteren wird die Erkenntnis gewonnen, mit welchem

Aufwand eine Wellenform auf die Zielplattform eines SDRs portiert werden kann. Dem Nutzer offeriert das schnelle Prototyping die Möglichkeit, seine Forderungen an dem modernen, technischen Mehrwert eines SDRs zu spiegeln und ggf. Auswirkungen auf operationelle und organisatorische Strukturen und Verfahren rechtzeitig zu erkennen. Dieses Feedback wird sich positiv und risikomindernd auf künftige Entwicklungen auswirken und liefert einen essentiellen Beitrag zur Mobilien Taktischen Kommunikation.

FLIP ist ein Technologieträger einer modernen, leistungsfähigen und IP-fähigen Wellenform für SDRs, die offene Standards und Übergänge zwischen unterschiedlichen Schichten definiert und den Wettbewerb künftiger Wellenformentwicklungen fördert.

In das Vorhaben FLIP fließen Erfahrungen aus nationalen und internationalen Studien und Projekten sowie operationelle Forderungen ein. Die Ergebnisse können nahtlos anstehenden Vorhaben zur Verfügung gestellt werden. Durch den industrieunabhängigen Wissensaufbau wird eine neue Qualität der Beurteilungsfähigkeit des öffentlichen Auftraggebers erreicht.

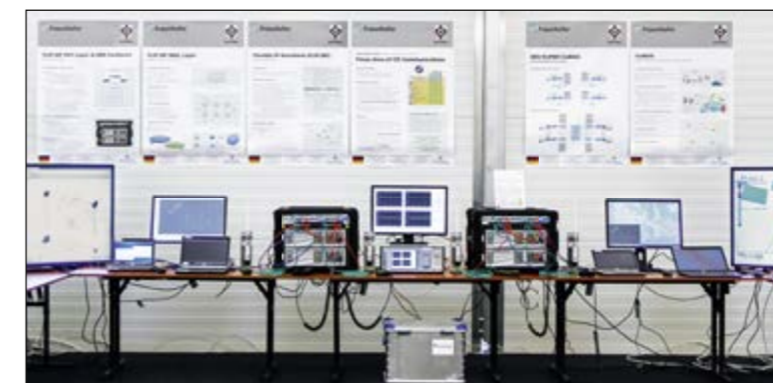


Abb. 2: Bild des gleichen Testaufbaus von der CWIX 2016 mit den beiden Testsystemen (schwarze Würfel) und dem Kanalemulator (Mitte) (Quelle: Joint Force Training Centre (JFTC) Bydgoszcz)

OTL Dipl.-Inform. Gerhard A. Schwarz  
 Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und  
 Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw I1.1)  
 Koblenz

BAAINBwI1.1@bundeswehr.org

TORR Dipl.-Ing. (FH) Andreas Muhr  
 Wehrtechnische Dienststelle für Informationstechnologie  
 und Elektronik (WTD 81)  
 Greiding

WTD81posteingang@bundeswehr.org

## Sichere Navigation mit dem Enhanced Location Service für Smart Devices

Ein wichtiges Merkmal der „Smart Devices“ sind die Positionsdienste. Zugelassene mobile Endgeräte, deren Positionsdienste aus Sicherheitsgründen entfernt wurden, sind für den militärischen Einsatz unbrauchbar. Mit dem Enhanced Location Service wurde ein sicherer und hochgenauer Dienst geschaffen, der um Zusatzfunktionen wie Authentizität, Indoor-Navigation und Quellenfusion ergänzt wurde.

Während „Smart Devices“ aus dem Alltag nicht mehr weg zu denken sind, stößt der militärische Nutzer eines zugelassenen Mobilgeräts auf unerwartete Grenzen. Oft besteht das Mobilgerät aus der gleichen Hardware wie das kommerzielle Gerät, aber es fehlen wichtige Funktionen. Aus Sicherheitsgründen wird die Nutzung der internen Global Positioning System (GPS)-Hardware als auch die Software zur Generierung und Bereitstellung einer einheitlichen Positionsinformation eingeschränkt bzw. abgeschaltet. Eine der Hauptfunktionen, mit denen Mobilgeräte zu einem unverzichtbaren Helfer im Einsatz werden könnten, ist jedoch die Positionsbestimmung. Fast jede Applikation (App) entfaltet ihre Stärke und den unmittelbaren Mehrwert aus der Kenntnis der eigenen Position, indem sie Informationen und Funktionen angepasst zum Standort und der aktuellen Situation aufbereitet darstellt. Was ist eine Navigations-App ohne aktuellen Standort?

Um Mobilgeräte für die „Letzte Meile“ nutzbar zu machen, wurde eine sichere Implementierung des Dienstes Location Manager am Beispiel des Android Framework an der WTD-81 untersucht. Die prototypische Implementierung umfasste

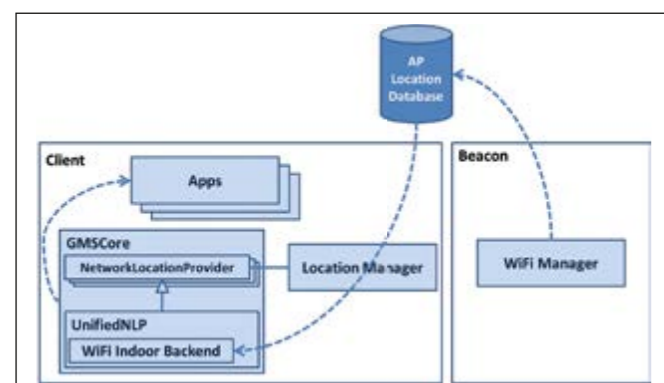


Abb. 1: Systemarchitektur mit Elementen der Indoor-Navigation



Abb. 2: Indoor-Navigation orange tatsächlicher Weg, blau Lokalisierungen (Quelle: Fraunhofer AISEC)



Abb. 3: Fusion verschiedener Sensoren für die Indoor-Navigation (Quelle: Fraunhofer AISEC)

nicht nur die vorhandenen Funktionalitäten, sondern ergänzt um militärisch notwendige Forderungen. Hierzu zählen Indoor-Navigation, die Authentizität der Position, hohe Präzision einer militärischen satellitengestützten Navigation (GNSS), Fusion verschiedener Positionsquellen, eine einheitliche Programmierschnittstelle (API), Erweiterungsfähigkeit auf zukünftige Quellen und eine offene Implementierung.

Die Analyse der Plattform erfordert einen äquivalenten Ersatz des Google Location Service API. Damit werden die architekturellen Vorgaben bezüglich API und fusionierter Schnittstelle sowie die Flexibilität bei unterschiedlichen und zukünftigen Quellen erreicht. Gleichzeitig werden Applikationen entlastet und vereinheitlicht, da nur eine gesicherte Positionsinformation bereitgestellt wird. Mit dem „µG GMScore“ konnte auf umfangreiche Vorarbeiten aus dem OpenSource zurückgegriffen werden. Abbildung 1 zeigt die grundlegende Systemarchitektur am Beispiel der Erweiterung um ein WLAN-Backend-Modul zur Indoor-Navigation unter Rückgriff auf eine Datenbank mit Funkbeacon, die entweder öffentliche Quellen oder aber militärische Netze aus WLAN-Relais wie z. B. aus der Studie „AdHoc-Messnetze“ oder LTE-Knoten aus „MAN Bw“ enthalten kann. Der in Abbildung 2 aufgezeichnete Weg der Indoor-Navigation mittels Funkbeacon lässt nicht nur den Rückschluss auf die Raum- und Fluraufteilung des Gebäudes zu.

Im nächsten Schritt wurden weitere Quellen wie z. B. Schrittzähler, Beschleunigungssensoren, Kompass oder Barometer zu einem Pedestrian Dead Reckoning Location Provider herangezogen. Zusätzlich ist ein Fusion-Backend zur Aggregation unterschiedlicher Location Provider implementiert, dessen Ergebnis in Abbildung 3 exemplarisch gezeigt ist. Die Anbin-

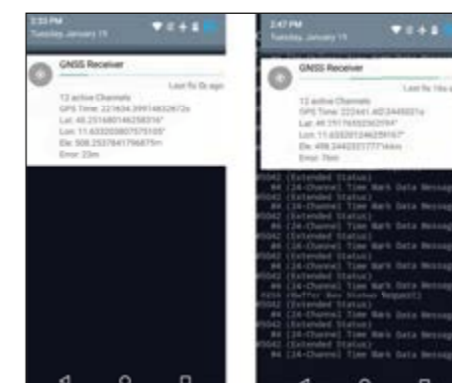


Abb. 4: Statusmeldung des verbundenen GNSS-Empfängers mit aktuellem Fix (links) und veraltetem, ungenauen Fix (rechts) (Quelle: Fraunhofer AISEC)

dung von GNSS-Empfängern, wie z. B. des „DAGR“ oder des „RSR“ erfolgte mit einer prototypischen Implementierung eines Hintergrunddienstes, der die Schnittstelle überwacht, mit dem GNSS-Empfänger über ein standardisiertes Protokoll kommuniziert, Konfiguration und Betrieb sicherstellt und den Network Location Provider benachrichtigt. Damit konnte nicht nur die Anbindung militärischer GNSS-Empfänger nachgewiesen (siehe Abbildung 4 und 5), sondern auch die Erweiterungsfähigkeit unter Ausnutzung der Modularität der Systemarchitektur gezeigt werden.

Insgesamt hat sich der umfassendere Architekturansatz bei der Implementierung der einzelnen Funktionen zur Sensor- und GNSS-Anbindung sowie der Fusion bewährt. Die Erweiterbarkeit und offene Implementierung gewährleistet eine zukünftige Verwendung in „Smart Devices“, damit die kommenden Generationen zulassungsfähiger Mobilgeräte aus den Projekten „Mobile Taktische Kommunikation“ oder „Mobile Taktische Informationsverarbeitung“ auch mit einer gesicherten Positionsinformation für den militärischen Einsatz ausgestattet werden können.



Abb. 5: Kartendarstellung der Eigenposition aus dem militärischen GNSS-Empfänger mit hoher und niedriger Genauigkeit (Größe des blauen Kreises) (Quelle: Fraunhofer AISEC)





# 6

## Anhang







Bundesministerium  
der Verteidigung

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

Abteilung Ausrüstung, Informationstechnik  
und Nutzung - A II 5  
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 1 41 66  
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 35 94  
E-Mail: BMVgAII5@bmvg.bund.de

Abteilung Ausrüstung, Informationstechnik,  
Nutzung - A II 6  
(Grundfinanzierung, Außeruniversitäre  
Forschungseinrichtungen, Internationale  
F&T-Kooperation)  
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 1 41 80  
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 4 41 89  
E-Mail: BMVgAII6@bmvg.bund.de

Abteilung Cyber / Informationstechnik  
- CIT I 2 (Informationstechnologie)  
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 III 5  
Tel.: +49 (0) 30 / 20 04 - 2 48 54  
Fax: +49 (0) 30 / 20 04 - 8 97 00  
E-Mail: BMVgFueSKIII5@bmvg.bund.de

Abteilung Cyber / Informationstechnik  
- CIT I 2 (Geowissenschaftliche Forschung)  
Tel.: +49 (0) 228 / 99 24 - 2 61 25  
Fax: +49 (0) 228 / 99 24 - 3 35 61 21  
E-Mail: BMVgCITI2@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: pressestelle@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 Kraftfahrzeuge und Panzer  
(WTD 41)  
Kolonnenweg  
54296 Trier - Grüneberg  
Tel.: +49 (0) 651 / 91 29 - 0  
Fax: +49 (0) 651 / 91 29 - 26 00  
E-Mail: WTD41posteingang@bundeswehr.org  
Internet: www.baainbw.de/wtd41



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



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



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



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



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



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





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



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.zmsbw.de



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



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:  
Institut fuer Pharmakologie und Toxikologie  
@bundeswehr.org



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:  
Institut fuer Radiobiologie@bundeswehr.org



Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin  
der Luftwaffe  
Flughafenstraße 1  
51147 Köln  
Tel.: +49 (0) 22 03 / 90 81 61 - 0  
Fax: +49 (0) 22 03 / 90 81 61 - 6  
E-Mail:  
ZentrLuRMedLwWissKoordinationLuRMedBw  
@bundeswehr.org



Schiffahrtmedizinisches Institut  
der Marine  
Kopperpahler Allee 120  
24119 Kronshagen  
Tel.: +49 (0) 431 / 54 09 - 17 00  
Fax: +49 (0) 431 / 54 09 - 17 78  
E-Mail: SchiffMedInstM@bundeswehr.org  
Internet: www.marine.de



Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der  
Bundeswehr Koblenz  
Laborabteilung IV – Wehrmedizinische  
Ergonomie und Leistungsphysiologie –  
Andernacher Straße 100  
56070 Koblenz  
Tel.: +49 (0) 261 / 896 - 7 74 04  
Fax: +49 (0) 261 / 896 - 7 74 09  
E-Mail:  
ZInstSanBwKoblenzLaborabteilungIV  
@bundeswehr.org  
Internet:  
www.sanitaetsdienst-bundeswehr.de



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



Streitkräfteamt  
Pascalstraße 10s  
53123 Bonn  
Tel.: +49 (0) 228 / 12 - 43 83  
Fax: +49 (0) 228 / 12 - 33 41  
E-Mail: SKALdP@bundeswehr.org  
Internet:  
www.streitkraefteamt.bundeswehr.de



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



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



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



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



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



Fraunhofer-Institut für  
Chemische Technologie ICT  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7  
76327 Pfinztal  
Tel.: +49 (0) 721 / 46 40 - 123  
Fax: +49 (0) 721 / 46 40 - 442  
E-Mail: info@ict.fraunhofer.de  
Internet: www.ict.fraunhofer.de



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



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-Institut für  
Optronik, Systemtechnik und  
Bildauswertung IOSB  
Standort Karlsruhe  
Fraunhoferstraße 1  
76131 Karlsruhe  
Tel.: +49 (0) 721 / 60 91 - 210  
Fax: +49 (0) 721 / 60 91 - 413

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

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



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



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Institut für Aerolastik DLR AE  
 Bunsenstraße 10  
 37073 Göttingen  
 Tel.: +49 (0) 551 / 709 - 23 41  
 Fax: +49 (0) 551 / 709 - 28 62  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/ae



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Institut für Aerodynamik und  
 Strömungstechnik DLR AS  
 Braunschweig:  
 Lilienthalplatz 7  
 38108 Braunschweig  
 Tel.: +49 (0) 531 / 295 - 24 00  
 Fax: +49 (0) 531 / 295 - 23 20  
 Göttingen:  
 Bunsenstr. 10  
 37073 Göttingen  
 Tel.: +49 (0) 551 / 709 - 21 77  
 Fax: +49 (0) 551 / 709 - 28 89  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/as



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Institut für Antriebstechnik DLR AT  
 Linder Höhe  
 51147 Köln  
 Tel.: +49 (0) 2203 / 601 - 21 44  
 Fax: +49 (0) 2203 / 673 - 10  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/at



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Institut für Bauweisen und  
 Strukturtechnologie DLR BT  
 Pfaffenwaldring 38-40  
 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 (0) 711 / 6862 - 8182  
 Fax: +49 (0) 711 / 6862 - 227  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/bt



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Institut für Flugführung DLR FL  
 Lilienthalplatz 7  
 38108 Braunschweig  
 Tel.: +49 (0) 531 / 295 - 2500  
 Fax: +49 (0) 531 / 295 - 2550  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/fl



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



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



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin  
 DLR ME  
 Linder Höhe  
 51147 Köln  
 Tel.: +49 (0) 22 03 / 601 - 35 24  
 Fax: +49 (0) 22 03 / 69 62 12  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/me



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 Robotik und Mechatronik  
 DLR RM  
 Oberpfaffenhofen  
 Münchner Straße 20  
 82234 Weßling  
 Tel.: +49 (0) 81 53 / 28 39 76  
 Fax: +49 (0) 81 53 / 28 11 34  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/rm

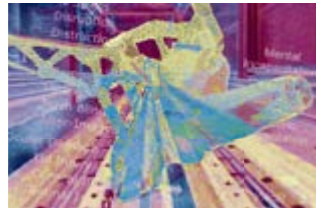
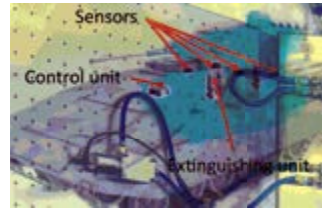


Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Institut für Technische Physik DLR TP  
 Pfaffenwaldring 38-40  
 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 (0) 711 / 68 62 - 773  
 Fax: +49 (0) 711 / 68 62 - 788  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/tp



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Institut für Raumfahrtantriebe DLR RA  
 Langer Grund  
 74239 Hardthausen  
 Tel.: +49 (0) 6298 28-203  
 Fax: +49 (0) 6298 28-190  
 E-Mail: info-pks@dlr.de  
 Internet: www.dlr.de/ra



**HERAUSGEBER**

Bundesministerium der Verteidigung  
Unterabteilung A II  
Fontainengraben 150  
53123 Bonn

**GESTALTUNG UND REALISATION**

Konzeptbüro Schneider, Erfstadt

**INHALTLICHE BETREUUNG**

Fraunhofer INT, Euskirchen

**DRUCK**

Warlich Druck Meckenheim GmbH, Meckenheim

**STAND**

Juli 2017

**FOTOS**

© Bundeswehr / Stephan Ink	01
© Bundeswehr / Torsten Kraatz	01
© Bundeswehr / Tom Twardy	01
© Bundeswehr / Sebastian Wilke	01
© Bundeswehr / Jana Neumann	08
© Bundeswehr / Torsten Kraatz	09
© Bundeswehr / Stephan Wagner	09
© Bundeswehr / Lars Koch	10
© Bundeswehr / Andrea Bienert	11
© Bundeswehr / Jane Schmidt	11
© Scienceimage CSIRO	46
© Bundeswehr / Ricarda Schönbrodt	60
© BAANBw I1.1	70
<a href="https://www.remm.nlm.gov/red.htm">https://www.remm.nlm.gov/red.htm</a>	83
© 2014 Bundeswehr / Alyssa Bier	84
© 2016 Bundeswehr / Steve Back	84
© KErn	86, 87
© David Cenciotti, 2017	88
© FAA Public Release, 2008	88
<a href="http://aviation.globalincidentmap.com">http://aviation.globalincidentmap.com</a> , © OpenStreetMap	89
© FMJakobs, 2012	89
© 2016 Bundeswehr / Dinnebier	92
© Bundeswehr / Sebastian Wilke	103
© Eumetsat	105
© JTFC / Bydgoszcz	113
© Fraunhofer AISEC	114

Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr,  
Koblenz

Bundesministerium der Verteidigung, Bonn

Deutsch-Französisches Forschungsinstitut, Saint-Louis

DLR Institut für Aerolastik, Göttingen

DLR, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig

DLR, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, Oberpfaffenhofen

DLR, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln

DLR, Institut für Technische Physik, Stuttgart

Fraunhofer EMI, Freiburg i. Br.

Fraunhofer FKIE, Wachtberg

Fraunhofer FHR, Wachtberg

Fraunhofer IAF, Freiburg i. Br.

Fraunhofer ICT, Pfinztal

Fraunhofer IIS, Erlangen

Fraunhofer IOSB, Karlsruhe, Ettlingen

Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

Hochschule Albstadt-Sigmaringen

Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, München

Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Bundeswehr, München

Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München

Schiffahrtmedizinisches Institut der Marine, Kronshagen

Streitkräfteamt, Bonn

Universität der Bundeswehr München

WIS, Munster

WIWeB, Erding

WTD 41, Trier

WTD 52, Oberjettenberg

WTD 71, Kiel

WTD 81, Greding

WTD 91, Meppen

Zentrales Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr Koblenz

Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr, Euskirchen / Offenbach

Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe, Fürstenfeldbruck

Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr,  
Potsdam