

Luft- & Raumfahrt

Informieren. Vernetzen. Fördern.



Sonderausgabe 2026

ISSN 0173-6264 B 13716

EUR 5,- / CHF 9,-

SONDERAUSGABE

Vernetzung und Resilienz in der **MILITÄRISCHEN LUFT- UND RAUMFAHRT**

LUFTFAHRT

Einblicke in die Combat Cloud

Konzeptentwurf
einer Abfangdrohne

Dual-Use-Fertigung
in der Luftfahrt

RAUMFAHRT

Weltraumsicherheit und
-architektur der Bundeswehr

Deutschlands militärische
Satelliteninfrastruktur

Abwehr von Gefahren aus dem All

DLRK²⁰²⁶

DEUTSCHER LUFT- UND RAUMFAHRTKONGRESS

8. – 10.09.2026 | AACHEN



Deutsche Gesellschaft
für Luft- und Raumfahrt
Lilienthal-Oberth e.V.



Liebe Leserinnen und Leser,

die Welt erlebt derzeit eine hohe Anzahl bewaffneter Konflikte. Erst Ende Februar dieses Jahres eröffnete sich mit dem Irankrieg ein weiteres Gefechtsfeld. Auch der Krieg im Nahen Osten und der inzwischen vier Jahre andauernde Ukrainekrieg sind weit von friedlicheren Zeiten entfernt. Dazu kommen viele weitere kleine und große Konflikte auf der ganzen Welt.

Nationale Verteidigungsfähigkeiten rücken mehr denn je in den Fokus, insbesondere die militärische Luft- und Raumfahrt in Deutschland. Sie steht jedoch vor der enormen Herausforderung, sicherheitspolitische Anforderungen mit technologischer Innovation und gesellschaftlicher Akzeptanz in Einklang zu bringen. Deutschland verfügt über eine starke industrielle Basis und exzellente Forschungseinrichtungen – beste Voraussetzungen, um in Schlüsseltechnologien wie unbemannten Systemen, künstlicher Intelligenz, Cybersecurity und weltraumgestützter Aufklärung eine führende Rolle einzunehmen. Gleichzeitig bestehen mit dem Weltraumkommando der Bundeswehr, der Luftwaffe und einem gestiegenen politischen Finanzierungswillen konkrete Möglichkeiten, diesen Herausforderungen zu begegnen.

In dieser Sonderausgabe beleuchten wir aktuelle Themen wie die **Abwehr** von **Kamikazedrohnen**, die Umsetzung einer **Multi-Domain Combat Cloud** und den Nutzen von **Dual-Use-Fertigung** in der **Luftfahrt**. Im Raumfahrtteil geben wir einen Überblick über **militärische Satellitenmissionen** sowie über die **Weltraumsicherheitsstrategie** und **-architektur**. Ergänzt wird dies durch Beiträge zum **Weltraumsicherheitsprogramm** der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* sowie durch Einordnungen zur **historischen Entwicklung** und zur aktuellen **Branchenlage** in Deutschland.

Die militärische Luft- und Raumfahrt steht heute stärker denn je im Fokus öffentlicher Diskussionen. Fragen nach ethischer Verantwortung, Transparenz und dem Zweck militärischer Fähigkeiten sind legitim und notwendig. Wenn Sie bei Begriffen wie erhöhter Zielgenauigkeit oder ressourceneffizientem Einsatz im Angriff Befremden empfinden, sind Sie damit nicht allein. Auch ich würde mir wünschen, dass wir darüber im Detail nicht reden müssten. Doch in einer solchen Welt leben wir nicht.

Für die Frauen und Männer, die sich für unseren Schutz und unsere Verteidigung einsetzen, ist das Vertrauen der Gesellschaft eine zentrale Grundlage. Als *Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)* möchten wir mit dieser Ausgabe eine offene, reflektierte Auseinandersetzung mit diesen Themen anstoßen und den Dialog fördern. Deutschland hat die Chance, nicht nur technologisch, sondern auch normativ Maßstäbe zu setzen – für eine Luft- und Raumfahrt, die Sicherheit gewährleistet, Innovation vorantreibt und zugleich den Werten einer offenen Gesellschaft verpflichtet bleibt.

Ihre Nicole Kretschmer

Zur Person

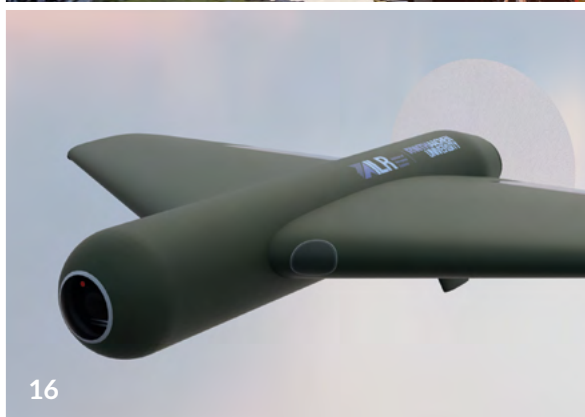
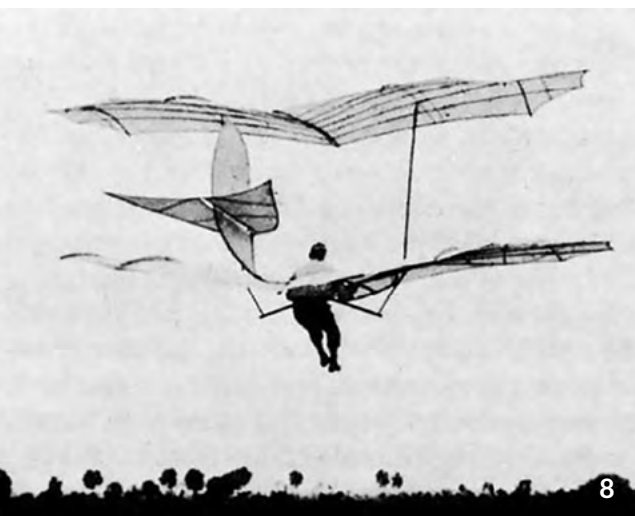


© Sarah Schwenberg Fotografie

Nicole Kretschmer

2. Chefredakteurin
„Luft- & Raumfahrt“

Deutsche Gesellschaft für
Luft- und Raumfahrt (DGLR)



- 3 Editorial
- 4 Inhaltsverzeichnis/Impressum
- 6 Vorwort
Generalmajor Michael Traut
- 8 Der Mensch hebt ab:
Der Traum vom Fliegen wird zum militärischen Vorteil
- 12 Ein Einblick in Stand und Entwicklung der Combat Cloud
- 16 Konzeptentwurf einer Abfangdrohne für die Drohnenabwehr
- 20 Dual-Use: Neue Wege zu mehr Leistung und Resilienz in der
Fertigung in einem sich ändernden industriellen Umfeld
- 24 Zwischen Zeitenwende und Technologiewettbewerb:
Deutschlands militärische Luft- und Raumfahrtindustrie im Wandel
- 28 Weltraumsicherheitsstrategie und militärische Weltraumarchitektur:
Was muss die Bundeswehr im Weltraum leisten können?
- 32 Unabhängigkeit im Orbit:
Deutschlands militärische Satelliteninfrastruktur
- 36 Abwehr von Gefahren aus dem All:
Das Weltraumsicherheitsprogramm der ESA



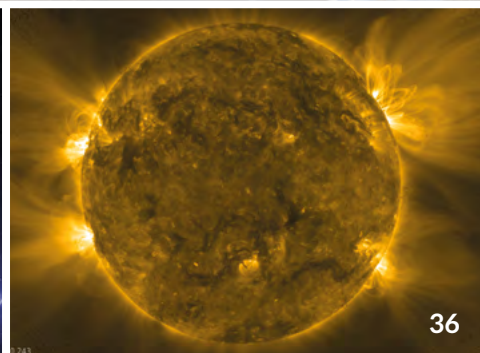
24



28



32



36

- 42 Wargaming:**
Interview mit Christian Nitzl
- 46 Veranstaltungen**
- 47 Aus der „Luft- & Raumfahrt“**
- Tankstelle, Lazarett, Transporter:
Der Airbus A400M der Bundeswehr im Profil
 - Asteroiden, Weltraumschrott und Cyberangriffe:
Das Weltraumlagezentrum schützt zivile und militärische Interessen
 - Heras Reise zum Asteroiden:
Eine Mission zur planetaren Verteidigung
 - European Sky Shield in Deutschland:
Zukünftige militärische Luftabwehrsysteme
 - Transporthubschrauber der Bundeswehr:
Wegweisende Beschaffung von 60 CH-47 Chinook
 - Aktuelle DLR-Forschung:
Assistenzsysteme für die Luftbetankung
 - Das Mensch-Maschine-Team:
Maßgeschneiderte Assistenz für militärische Pilotinnen und Piloten durch physiologische Zustandserfassung
- 50 DGLR-Organisation**

Impressum

Luft- & Raumfahrt

Jahrgang 47 | Sonderausgabe 2026

Herausgeber | Redaktion

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt – Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)
Godesberger Allee 70
DE-53175 Bonn
Tel.: +49 228 30805-0
Fax: +49 228 30805-24
E-Mail: info@dglr.de
Internet: www.dglr.de

Abonnentenservice

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt – Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)
Godesberger Allee 70
DE-53175 Bonn
Tel.: +49 228 30805-0
Fax: +49 228 30805-24
E-Mail: abo@dglr.de

Redaktion

Philip Nickenig M. A. (V.i.S.d.P.)
Nicole Kretschmer M. A. (Chefredaktion)
Alisa Griebler M. Sc. (Chefredaktion)
Raphael Havemann B. Sc. (Redaktion)
Elke Gober B. A. (Lektorat)

Redaktionsbeirat

Alisa Griebler M. Sc.
Dr.-Ing. Christian Gritzner
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms
Dr.-Ing. Rolf Janovsky
Pia Kausch B. Sc.
Dr. Lily Kooops
Nicole Kretschmer M. A.
Anna Maaßen M. A.
Philip Nickenig M. A.
Sascha Rahn M. A.

Anzeigen

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt – Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR)
Sandra Zühlke
Godesberger Allee 70
DE-53175 Bonn
Tel.: +49 228 30805-0
Fax: +49 228 30805-24
E-Mail: marketing@dglr.de

Grafik

Kerstin Fuchs Grafik Design e. U.
Marshallgasse 1-3/8
AT-3400 Klosterneuburg/Kierling
Tel.: +43 699 18115110
E-Mail: post@salzwasserfuchs.com
Internet: www.salzwasserfuchs.com

Druck

Silber Druck GmbH & Co. KG
Otto-Hahn-Straße 25
DE-34253 Lohfelden
Tel.: +49 561 52007-33
E-Mail: www.silberdruck.de
Internet: info@silberdruck.de

Erscheinungsweise

Luft- und Raumfahrt
erscheint 4-mal jährlich + 1 Sonderausgabe
Autorenbeiträge, die als solche gekennzeichnet sind, stellen nicht die Meinung des Herausgebers dar.

Druckschluss: 11.5.2026

Quelle Titelbild:
stock.adobe.com/PLATINUM

Werte Leserinnen und Leser,

über das Privileg, für diese Sonderausgabe ein Vorwort an Sie richten zu dürfen, habe ich mich sehr gefreut. Nicht nur, weil die *Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)* ein ausgezeichnetes Forum für die Diskussion und Weiterentwicklung der Luft- und Raumfahrt in Deutschland ist, sondern auch, um die Verbundenheit der militärischen Seite mit der DGLR, den Luft- und Raumfahrtforschenden sowie der dynamischen deutschen Hochtechnologieindustrie zu zeigen.

Unsere sicherheitspolitische Lage hat sich in den vergangenen Jahren grundlegend gewandelt. Neben der zunehmenden Abhängigkeit nahezu aller wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bereiche von weltraumgestützten Diensten zeigen sich Effekte einer Rückkehr von Machtpolitik und Volatilität: Es finden **militärische Konflikte** statt, die heute nicht mehr nur in den klassischen Dimensionen Land, Luft und See, sondern zunehmend auch im Weltraum entschieden werden. Der Krieg in der Ukraine hat eindrücklich gezeigt, welche zentrale Rolle weltraumgestützte Fähigkeiten für Aufklärung, Kommunikation und Navigation spielen. Gleichzeitig verdeutlichen die aktuellen Ereignisse im Nahen Osten die hohe Abhängigkeit moderner Streitkräfte von verlässlicher Lageinformation, robuster Vernetzung sowie leistungsfähiger Flugkörperabwehrfähigkeiten, die die besondere Verbindung von Luft- und Weltraum zeigen. Der Weltraum ist Gefechtsfeld und nicht nur Bereitsteller von Diensten. Auch der suborbitale Bereich wird erschlossen und schon bald militärisch eine größere Rolle spielen.

Gleichzeitig wird der Weltraum komplexer und umkämpfter. Abhängigkeit erzeugt Verwundbarkeit und unsere Gegnerinnen und Gegner versuchen, dies für sich auszunutzen. Die **Bedrohung** reicht von Störungen und gezielten Beeinträchtigungen von Satellitensignalen über riskante Annäherungen und Manöver im Orbit bis hin zu Cyberangriffen und po-

tenziell kinetischen Effekten. Hinzu kommen immer mehr kommerzielle Akteure und große Satellitenkonstellationen, die die Dynamik im Weltraum zusätzlich erhöhen. Schutz und Resilienz weltraumgestützter Fähigkeiten gewinnen entscheidend an Bedeutung.

Der Weltraum ist eine **kritische Infrastruktur**. Ohne weltraumgestützte Dienste wären moderne Gesellschaften gelähmt, Streitkräfte in ihrer Handlungsfähigkeit massiv beeinträchtigt. Entsprechend ist weltweit ein deutlicher Anstieg politischer Aufmerksamkeit und finanzieller Investitionen zu beobachten. Die Raumfahrt ist kein Nischenthema mehr, sondern inzwischen fest in der sicherheits- und verteidigungspolitischen Agenda verankert. Jetzt kommt es darauf an, diese politischen Vorgaben in handfeste Fähigkeiten umzumünzen. Wir müssen liefern!

Weltraumsicherheit kann nur im Verbund gewährleistet werden. Die Zusammenarbeit mit Partnernationen, unserer Wissenschaft und unserer Industrie ist unverzichtbar. Gleichzeitig bleibt es essenziell, eigene Fähigkeiten gezielt zu stärken und ein angemessenes Maß an technologischer und operativer Souveränität zu bewahren.

Die vorliegende **Sonderausgabe** greift diese **Themen** in ihrer ganzen Bandbreite auf. Die Beiträge beleuchten die enge Verzahnung von Luft- und Raumfahrt und zeigen, wie Multi-Domain-Ansätze – etwa im Kontext einer Combat Cloud – die Operationsführung der Zukunft prägen. Sie thematisieren die Bedeutung von Dual-Use-Technologien und die Rolle der Industrie ebenso wie konkrete Fähigkeiten im Bereich moderner Satellitensysteme. Ergänzt wird dies durch strategische Einordnungen, etwa im Rahmen nationaler und internationaler Weltraumsicherheitsstrategien.

Ab jetzt liegt der **Fokus** zunehmend auf Resilienz, dynamischer, unbürokratischer Innovation und verlässlichen

Zur Person



Generalmajor Michael Traut
Kommandeur des Weltraumkommandos der Bundeswehr und DGLR-Senatsmitglied

© Bundeswehr

Fähigkeiten. Der Weltraum gewinnt weiter an strategischer Bedeutung und wird zum Rückgrat moderner Streitkräfte. Mit den vorhandenen Erkenntnissen und den angekündigten Investitionen lässt sich viel erreichen – wenn wir gemeinsam Mut zu (risikobehafteter) Innovation beweisen, gezielt den wissenschaftlichen und industriellen Fortschritt in Deutschland und Europa fördern und schnell Fähigkeiten aufbauen.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen und freue mich, wenn Sie aktiv am Diskurs zur Weiterentwicklung unserer Fähigkeiten teilnehmen.

Ihr Generalmajor Michael Traut

WE CONNECT IN SPACE

JEDE MISSION

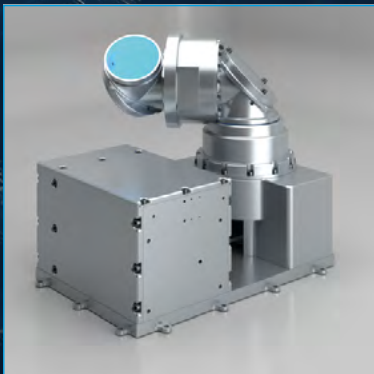
JEDE UMLAUFBAHN

JEDERZEIT



SCHNELLE, SICHERE & ROBUSTE MULTI-DOMAIN KONNEKTIVITÄT.

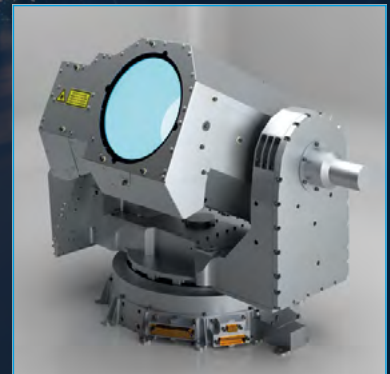
Ihr Partner für sichere Satellitenkommunikation: Erprobt im All, gefertigt in Deutschland, gemacht für die Herausforderungen von heute und morgen.



SCOT30



SCOT80



SCOT135

Für weitere Informationen besuchen Sie www.tesat.de





Otto Lilienthals Flug im Doppeldecker,
Fliegeberg in Berlin-Lichterfelde am 19. Oktober 1895

Der Mensch hebt ab

Der Traum vom Fliegen wird zum militärischen Vorteil

Von Marco Seliger, Neue Zürcher Zeitung

Der Mensch wollte fliegen, lange bevor er es konnte. Und lange bevor er es konnte, dachte er darüber nach, was man von oben sehen würde. Heute geht es beim Fliegen nicht mehr nur um das individuelle Bedürfnis Einzelner. Es trägt zur Weltwirtschaft bei und sichert in Kriegszeiten einen strategischen Vorteil. Eine Zeitreise von den ersten Flugversuchen bis hin zum zivilen und militärischen Nutzen der Luft- und Raumfahrt in Deutschland.

Schon im alten China, mehrere Jahrhunderte vor unserer Zeitrechnung, steigen **Drachen** in den Himmel. Die historische Überlieferung beschreibt sie nicht nur als Objekt des Spiels oder Rituals, sondern auch als eine Art militärisches Hilfsmittel. Die *Encyclopaedia Britannica* verweist beispielsweise darauf, dass Drachen damals auch zur Übermittlung von Nachrichten und zum Ausspähen eingesetzt wurden. Technisch sind diese Drachen einfach, aber funktional. Ein leichter Rahmen, meist aus Bambus, wird mit Stoff und Papier bespannt. Der Wind strömt gegen die Fläche, wird nach unten abgelenkt und erzeugt so Auftrieb. Die Leine übernimmt eine doppelte Funktion: Sie stabilisiert das System und ermöglicht eine primitive Form der Steuerung. Damit ist der erste Schritt hin zu einer kontrollierten Nutzung des Luftraums durch den Menschen getan. Er wird Gegenstand taktischer Überlegungen, lange bevor er technisch erschlossen ist.

In Europa taucht dieser Gedanke deutlich später auf. Der erste halbwegs belastbare Bericht stammt aus England. Im 11. Jahrhundert beschreibt der Mönch **William von Malmesbury**, wie sein Benediktinerbruder **Eilmer von Malmesbury** von einem Turm seiner Abtei springt – mit Flügeln aus Holz und Stoff. Einige der modernen Historiker halten den beschriebenen, 200 Meter weiten Gleitflug für physikalisch plausibel.

Bei der Landung soll sich Eilmer die Beine gebrochen haben. Der Apparat war noch nicht ausgereift. Doch was hier passiert, ist technisch bemerkenswert. Eilmer nutzt, bewusst oder unbewusst, das Prinzip des **Gleitflugs**. Ein Flügel erzeugt Auftrieb durch Druckunterschiede zwischen Ober- und Unter-

seite. Gleichzeitig wirkt der Luftwiderstand bremsend. Ohne Antrieb entsteht ein stabiler Sinkflug entlang einer schrägen Bahn. Entscheidend ist dabei das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand, das sogenannte Gleitverhältnis. Erst einmal fehlen noch zentrale Elemente moderner Luftfahrt: Steuerflächen, Stabilisierung, Kenntnisse über Strömungsabriss. Aber das Experiment des Benediktiners zeigt, dass er den Übergang vom freien Fall zum kontrollierten Gleiten verstanden hat – zumindest intuitiv.

Von Beobachtungen zur Theorie

Erst im 19. Jahrhundert wird daraus System. Das erste **Luftschiff**, die *Giffard I* vom französischen Ingenieur **Henri Giffard**, absolviert seine Jungfernfahrt 1852. Bekanntester Konstrukteur in Deutschland ist **Ferdinand Graf von Zeppelin**.

In den 1890er-Jahren beginnt ein Mann in Lichterfelde und später in den Rhinower Bergen mit Arbeiten an einem Flugapparat: **Otto Lilienthal**. Ausgebildet als Maschinenbauingenieur, verbindet er Beobachtung und Konstruktion. Er analysiert den Vogelflug, misst Auftriebskräfte und entwickelt daraus Maschinen.

Seine **Gleiter** sind technisch durchdacht. Anders als Eilmer von Malmesbury baut er etwa eine Art Leitwerk an sein Flugzeug. Gewölbte Tragflächen erzeugen stabilen Auftrieb. Der Pilot hängt unterhalb des Flügels, was den Schwerpunkt absenkt und für eine gewisse Eigenstabilität sorgt. Lilienthal steuert seinen Gleiter durch die Verlagerung seines Gewichts. Diese Methode hat er aus der Beobachtung von Vögeln abgeleitet. Gleichzeitig baut er eigene Testeinrichtungen und misst damit Auftrieb und Widerstand. Damit trägt er entscheidend zur wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Fliegen bei. Wenige Jahre später folgt die physikalische Theorie. **Ludwig Prandtl** arbeitet ab 1904 in Göttingen. Seine **Grenzschichttheorie** erklärt, warum reale Strömungen sich anders verhalten als idealisierte Modelle vom Schreibtisch. Direkt an der

Oberfläche eines Körpers entsteht eine dünne Schicht, in der die Luft durch Reibung abgebremst wird. Diese Grenzschicht bestimmt, ob die Strömung stabil bleibt oder abfällt. Löst sie sich ab, entstehen Turbulenzen. Der Auftrieb bricht ein, der Widerstand steigt stark an. Diese Erkenntnis ist zentral für die Luftfahrt. Sie erlaubt erstmals, Strömung gezielt zu kontrollieren. Tragflächen können auf dieser Basis so gestaltet werden, dass die Strömung möglichst lange anliegt. Widerstand kann reduziert, Effizienz gesteigert werden.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts erproben viele Forschende und private Pionierinnen und Pioniere das Fliegen. Flugversuche mit ersten konstruierten Flugzeugen wurden auf der ganzen Welt unternommen, wie beispielsweise von den **Brüdern Wright** in Amerika. Mit Prandtl kommt die wissenschaftliche Erforschung hinzu. Zeitgleich floriert das Geschäft der Luftschiffahrt und ermöglicht es wohlhabenden Personen, die Welt von oben zu erleben und Reisen luxuriös und schneller zu machen.

Der Erste Weltkrieg

Mit dem Ersten Weltkrieg hält die Luftfahrt Einzug ins **Militär**. Bereits vor 1914 werden Erfindungen und Forschungen der Luftfahrt zunehmend für einen militärischen Zweck gefördert. Mit Ausbruch des ersten Weltkriegs werden Flugzeuge und Luftschiffe zunächst zur Aufklärung über den Schlachtfeldern Frankreichs und Belgiens genutzt. Sie kartieren Frontverläufe, melden Truppenbewegungen, korrigieren Artilleriefeuer.

Technisch bedeutet das, dass Flugzeuge stabil sein, lange in der Luft bleiben und zusätzliche Last tragen müssen. Kameras werden verwendet, um erste Luftbilder zu schießen. Durch diese Entwicklung werden Informationen schneller, genauer und systematischer verfügbar. Auch Angriff und Verteidigung in der Luft rücken zunehmend in den Fokus. Flugzeuge werden mit Waffen ausgestattet. Das zentrale Problem ist mechanisch: Der rotierende Propeller blockiert die Schusslinie. Der Niederländer **Anthony Fokker** entwickelt 1915 in Schwerin die Lösung. Sein Synchronisationsmechanismus koppelt das Maschinengewehr an die Propellerbewegung. Es feuert nur in den Momenten, in denen kein Propellerblatt im Weg ist. Der Pilot kann nun direkt zielen. Fliegen und Kämpfen verschmelzen. Das ist der Beginn des Luftkampfes. **Oswald Boelcke**, Kommandeur der 2. Jagdstaffel Deutschlands im Ersten Weltkrieg formuliert seine Einsatzgrundsätze: Höhe als Vorteil, Angriff aus der Sonne, Koordination im Verband. Der Luftkampf wird zur systematischen Disziplin.

Unter der Führung von **Manfred von Richthofen** wird das *Jagdgeschwader 1* zu einer erfolgreichen Einheit der noch jungen Luftwaffe, die damals noch ein Teil des Heeres war. Boelcke und Richthofen entwickeln ein Muster, das sich durch die gesamte weitere Geschichte der militärischen Luftfahrt zieht: Technik allein reicht nicht. Erst in Verbindung mit Organisation, Doktrin, Einsatzgrundsätzen und fliegerischem Können der Piloten entfaltet sie ihre Wirkung.

Das Schlachtschiff SMS Großer Kurfürst wird vom Luftschiff SL 8 überflogen, 1917



Nach dem Ersten Weltkrieg verschiebt sich diese dynamische Entwicklung in die Industrie. In den 1920er- und 1930er-Jahren entstehen leistungsfähige Flugzeuge, getragen von staatlicher Förderung und industrieller Produktion.

Weitere Entwicklungen

Bereits 1919 werden Flugzeuge auch in der **zivilen Luftfahrt** eingesetzt. Die *Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft (AEG)* baut eine im Krieg militärisch genutzte *AEG J.II* um und richtet einen Linienflugverkehr für anfangs weniger als eine Handvoll Passagierinnen und Passagiere ein. Die ersten längeren Passagierflüge gab es 1919 mit der französischen *Farman Goliath*, einem zweimotorigen Doppeldecker, von Paris nach London.

Frankreich war neben den USA und Großbritannien maßgeblich bei der militärischen Entwicklung der Luftfahrt beteiligt. Doch die technologischen Vorreiter kamen aus Deutschland. **Willy Messerschmitt** entwickelt damals in Augsburg leichte, aerodynamisch optimierte Jagdflugzeuge. Er reduziert strukturelles Gewicht zugunsten von Geschwindigkeit und Wendigkeit. **Kurt Tank** arbeitet in Bremen bei *Focke-Wulf* und setzt stärker auf robuste Konstruktionen, die auch unter Belastung zuverlässig bleiben. Messerschmitt und Focke-Wulf stecken heute im Airbus-Konzern, in dem sie Jahrzehnte später aufgingen. Technisch geht es in den Jahren zwischen den Weltkriegen um Integration: Stetig wachsende Motorleistung, Aerodynamik und Flugzeugstruktur müssen zusammenwirken. Metall ersetzt Holz. Tragflächen werden dünner, Profile präziser. Der Luftwiderstand sinkt.

Im Zweiten Weltkrieg erreicht diese Entwicklung eine neue Stufe. Mit der *Messerschmitt Me 262* entsteht das erste einsatzfähige **Düsenflugzeug**. Der Unterschied zum Propeller ist grundlegend: Statt Luft über den Propeller zu beschleunigen, wird sie im Triebwerk verdichtet, mit Treibstoff verbrannt und als heißer Gasstrahl ausgestoßen. Der Rückstoß erzeugt Schub. Die Geschwindigkeiten werden höher, aber die technischen Herausforderungen steigen. Dazu zählen hohe Temperaturen, Materialverschleiß und die komplexe Fertigung. Parallel wachsen Reichweite und Nutzlast. Bomber werden zu strategischen Waffensystemen.

Der Krieg wirkt als massiver Beschleuniger technologischer Entwicklung. Der militärische Druck zwingt alle beteiligten Staaten, Innovationen in kürzester Zeit zur Einsatzreife zu bringen. Besonders in Deutschland entstehen unter hohem Ressourceneinsatz sogenannte „Wunderwaffen“-Programme. Neben der *Me 262* gehören dazu auch die ersten Marschflugkörper (*V1*) und ballistischen Raketen (*V2*). Diese Systeme markieren einen qualitativen Sprung: Erstmals können Ziele über große Entfernungen ohne direkten Sichtkontakt angegriffen werden. Die Trennung zwischen Front und Hinterland beginnt sich aufzulösen.

Gleichzeitig verändert sich die Rolle der Luftfahrt grundlegend. Flugzeuge sind nicht mehr nur taktische Unterstützungsinstrumente, sondern werden zu strategischen Trägern von Zerstörung. Langstreckenbomber ermöglichen Flächenbombardements weit hinter der Front, während neue Antriebstechnologien – insbesondere Strahltriebwerke – die Grundlage für zukünftige Hochgeschwindigkeitsflugzeuge legen.

Auch der **Raketenbau** erhält erstmals eine klare militärische Funktion. Die *V2* ist nicht nur eine technische Innovation, sondern ein neues Waffenkonzept: eine weitgehend nicht abwehrbare, autonom fliegende Angriffswaffe. Ihre strategische Wirkung ist militärisch begrenzt, psychologisch jedoch erheblich. Gleichzeitig zeigt sie das Potenzial von Raketen als Trägersysteme für große Nutzlasten über interkontinentale Distanzen. Damit legt sie den Grundstein für die spätere Entwicklung von Interkontinentalraketen und Raumfahrtträgern im Kalten Krieg.

Raketenbau aus Deutschland

Das Prinzip der Rakete definiert **Hermann Oberth** und entwickelt dabei die Ideen des russischen Mathematikers und Autodidakten **Konstantin Ziolkowski** weiter. Ziolkowski formuliert wesentliche Prinzipien des Raumflugs, arbeitet die Raketengleichung aus und beschreibt, dass für den Weg in den Orbit mehrstufige Raketen mit Flüssigtreibstoffen nötig sind. Eine Rakete funktioniert, indem sie Masse (heißes Gas) nach hinten ausstößt. Dadurch wird sie nach vorn oder oben gedrückt. Anders als ein Flugzeug braucht sie dafür keine Luft. Alles, was sie für den Antrieb benötigt, ist in ihr selbst enthalten.



Militärische Junkers CL.I mit Kabinenaufsatz, zivil genutzt durch die Junkers Luftverkehrs AG auf der Strecke Dessau-Weimar (um 1920)



Aggregat 4 (A4), vor allem unter dem nationalsozialistischen Propagandabegriff V2 bekannt, war die Typenbezeichnung der im Jahr 1942 weltweit ersten funktionsfähigen ballistischen Rakete mit Flüssigkeitstriebwerk. Abgebildet ist eine A4 beim Start, Prüfstand VII, 1943

Die V2-Rakete setzt dieses Prinzip technisch um. Flüssiger Sauerstoff und Alkohol (Ethanol-Wasser-Gemisch) reagieren in einer Brennkammer. Die entstehenden Gase dehnen sich aus und strömen durch eine Düse nach außen. Der entgegengesetzte Impuls beschleunigt die Rakete auf eine ballistische Flugbahn. Der im heutigen Polen geborene Ingenieur **Wernher von Braun** entwickelt dieses System in Peenemünde an der Ostsee. Seine Rakete wird zur ersten Waffe, die den Rand des Weltraums erreicht. Nach der deutschen Kapitulation arbeitet er in den USA weiter und wird innerhalb der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde *NASA* zu einer Schlüsselfigur bei der Entwicklung von Trägerraketen für Weltraumkapseln.

Dabei kann er auch auf die Forschung von **Eugen Sänger** zurückgreifen. Sänger, ein österreichischer Ingenieur, ist einer der wichtigsten frühen Theoretiker der Raumfahrt. Bekannt wird er durch sein Konzept des *Silbervogels*, eines raketengetriebenen Raumflugzeugs. Seine Ideen für Hyperschallflug, Raumgleiter und wiederverwendbare Raumfahrzeuge prägen bis heute die Luft- und Raumfahrt.

Wege in den Weltraum

Nach 1945 werden die deutschen Entwicklungen Teil eines neuen Systems. Raketen, die, wie die V2, lediglich gut 300 Kilometer weit reichten, werden zu Interkontinentalraketen. Satelliten werden entwickelt und bleiben im Orbit, weil sie durch ihre hohe Geschwindigkeit in einem physikalisch stabilen Gleichgewichtszustand zwischen Gravitation und Trägheit verharren.

Viele deutsche Raketenwissenschaftler bringen ihr Wissen nach dem Krieg für andere Staaten ein, darunter auch die Sowjetunion. Neben ihnen sind es Ukrainer, die den Wettlauf im All zunächst für die UdSSR entscheiden. Unter der Leitung von **Sergej Koroljow** entsteht die *R-7*, die erste erfolgreiche sowjetische Interkontinentalrakete, die 1957 *Sputnik 1*, den ersten Satelliten, in den Orbit bringt.

Die Erfindung des **Satelliten** wird sofort strategisch genutzt. Aufklärungssatelliten liefern Bilder unabhängig von Grenzen.

Kommunikationssatelliten verbinden Kontinente. Navigationssysteme bestimmen Positionen mit hoher Genauigkeit. Parallel dazu wird die zivile Luftfahrt weiter ausgebaut.

Das Strahltriebwerk *Jumo 004b* der Firma *Junkers* wird später für Passagierflugzeuge adaptiert. Sie nutzen dieselben physikalischen Prinzipien wie militärische Jets. Druckkabinen ermöglichen Flüge in großer Höhe, wo die Luft dünner und der Luftwiderstand geringer ist. Das steigert Effizienz und Reichweite. Tragflächen werden nach hinten geneigt (gepfeilt), um bei hohen Geschwindigkeiten stabile Strömungen zu gewährleisten.

Militärische Luft- und Raumfahrt heute

Der Himmel wirkt friedlich, ist aber seit jeher ein strategisches Ziel. Luftfahrt war immer beides: militärisch und zivil. Ohne die staatliche Förderung im Zuge der Weltkriege wäre technische Innovation nicht so zielstrebig und schnell vorangetrieben worden. Heute sind der Luftkampf und einsatzfähige Systeme wie bemannte und unbemannte Luftfahrzeuge entscheidend für moderne Kriegsführung.

Gleiches gilt für die Raumfahrt: Der erdnahe Orbit ist dicht besetzt mit Satelliten. Ein großer Teil davon gehört zu *Starlink* von Elon Musks *SpaceX*. Durch die vielen kleinen Satelliten entsteht ein globales Netzwerk mit geringer Übertragungsverzögerung. Möglich wird das durch wiederverwendbare Raketen, industrielle Serienproduktion und extrem verkleinerte Elektronik. Technisch ist das eine Evolution. Strategisch ist es ein Sprung. Infrastruktur im All wird privat, bleibt aber Teil eines globalen Machtgefüges. Sie ist strategisch zu wichtig, um nur privat sein zu können.

Der Himmel ist heute voller Technik und das All auch. Aber die Taktik ist alt. Wer oben ist, sieht weiter. Und wer weiter sieht, gewinnt einen Vorteil.





Ein Einblick in Stand und Entwicklung der Combat Cloud

Von Tobias Heiss und Winfried Lohmiller, Airbus

Für ein *Future Combat Air System (FCAS)* nimmt die Zielvorstellung der *Combat Cloud* in den letzten Jahren zunehmend Gestalt an: Es handelt sich dabei um eine dezentrale, selbstorganisierte Vernetzung heterogener Plattformen – von Kampfjets über unbemannte Systeme bis hin zu Kommandozentralen – zu einem intelligenten *Combat Network*. Darin übersteigt die kollektive Fähigkeit die Summe der Einzelleistungen. Dieser Beitrag beleuchtet die technologischen Grundlagen, den aktuellen Entwicklungsstand und die strategische Bedeutung der *Combat Cloud* aus Sicht von Airbus. Er zeigt auf, wie sie die militärische Luftfahrt von der Ära der Einzelplattform in das Zeitalter der vernetzten *Multi-Domain Operations (MDO)* führt – und warum Standards, Abstraktion und Autonomie dabei entscheidend sind.

Militärische Luftfahrt heute: Vom Hochleistungsjet zum Netzwerkknoten

Traditionell steht der militärische Luftkampf im Zeichen der **Einzelplattform**: Der Kampfjet oder Bomber als technologischer Hochleistungsträger vereint hoch entwickelte Sensoren, Bewaffnung, elektronische Kampfführung und ein individuell darauf abgestimmtes Missionssystem in einer geschlossenen Architektur. Solche exquisiten Fähigkeiten sind das Rückgrat gegenwärtiger Luftüberlegenheit. Sie sind aufgrund ihrer Entwicklungskosten jedoch in vielen Luftstreitkräften limitiert verfügbar.

Zudem zeigen aktuelle Konfliktszenarien, dass auch hoch entwickelte Einzelplattformen verletzlich sein können. In umkämpften Lufträumen birgt jede Nutzung der eigenen Sensorik oder breitflächigen Kommunikation trotz Tarnkappentechnologie die Gefahr der Erkennung durch ein feindliches Luftverteidigungssystem. Moderne Streitkräfte setzen deshalb vermehrt auf **vernetzte Luftoperationen**, beispielsweise indem die Zielerfassung durch weit entfernte Überwachungsflugzeuge erfolgt, während bewaffnete Kampfjets im passiven Modus verbleiben und erst spät im Angriffsprozess aktiv werden. So bleiben taktisch wertvolle Plattformen möglichst unerkant. Diese linearen Aufklärungs- und Wirkketten (Zielerfassung → Entscheidung → Wirkung) lassen sich auch mit starren, hierarchischen und bandbreitenarmen Kommunikationsmedien aus den 1980er-Jahren erreichen. Allerdings besteht die Gefahr, dass die Wirkkette beeinträchtigt wird, wenn ein Glied der Kette ausfällt.

Um ihre Kampfkraft zu erhalten und zu steigern, setzen Luftstreitkräfte zunehmend auf einen Flottenmix nach dem Prinzip der erschwinglichen Masse. Durch die Kombination von Hochwertplattformen mit einer großen Zahl kostengünstiger, funktional fähiger, meist unbemannter Systeme – sogenannter **Collaborative Combat Aircraft (CCA)** – wird Kampfkraft erzeugt. Ziel ist es, die gegnerische Abwehr durch Vielfalt und Masse anstelle absoluter Leistung einer Einzelplattform zu überlasten,

sensorische und waffentechnische Lücken zu schließen und die Abnutzung teurer Systeme zu reduzieren.

Doch Masse allein ist nicht automatisch ein Vorteil – erst **Vernetzung** macht Masse wirksam: Eine dynamische, mehrwegige Vernetzung multipler Plattformen, Sensoren, Entscheidungstragender und Wirkmittel formt einen **Aufklärungs- und Wirkverbund** – ein robustes, dezentrales Operationsnetzwerk, das auch beim etwaigen Ausfall einzelner Knoten weiter operativ bleibt. Hier setzt die *Combat Cloud* an.

Mit ihr lassen sich Sensorik, redundante Kommunikation, elektronische und kinetische Effektoren, Informationsverarbeitung und Entscheidung gemeinsam im Netzwerk betreiben. Dies ermöglicht es, kostengünstige Plattformen durch kollektive Intelligenz aufzuwerten, Hochwertplattformen zu entlasten und die Identifikation kritischer Knoten zu erschweren.

Combat Cloud: Meilenstein für die Vernetzung

Die erfolgreiche Ausgestaltung des Konzepts und die Systemspezifikation markieren entscheidende Schritte von der Vision zur technischen Realisierbarkeit. Erstmals wird ein verteiltes IT-System als eigenständiges System weitgehend agnostisch zu den parallel entwickelten Luftfahrzeugen ausgestaltet. Dieser Paradigmenwechsel bricht mit der traditionell plattformzentrischen und flugsicherheitsbedachten, militärischen Luftfahrt und stellt einen wesentlichen Meilenstein dar.

Gleichzeitig wurden zuletzt zentrale **Grundlagentechnologien** für die Realisierung der Combat Cloud signifikant weiterentwickelt. Kommunikationstechnologie bildet die Basis für ein funktionierendes, resilientes Netzwerk, das unter operativen Bedingungen zuverlässig Daten austauscht – auch bei wechselnden Netzwerktopologien, begrenzter Bandbreite und feindlicher Störeinwirkung. Dafür werden Datenlinks, die kaum

von gegnerischen Kräften erkannt werden können, bevorzugt. Ergänzend soll die Combat Cloud bei der Kommunikation auf Satellitenkommunikation mittels moderner Satellitenkonstellationen sowie laserbasierter Kommunikationssysteme zurückgreifen.

Eine digitale Infrastruktur als Betriebssystem der Combat Cloud

Aufbauend auf eine zuverlässige Kommunikation wird die Combat Cloud in militärischen Luftfahrzeugen durch Softwareanteile des Missionssystems realisiert. Eine digitale Infrastruktur der Combat Cloud, als einer dieser Anteile, bildet das netzwerkübergreifende Rückgrat für den Betrieb verteilter Dienste. Vergleichbar zu einem Betriebssystem für mobile Endgeräte abstrahiert sie die darunterliegende Hardware und schafft über eine vereinheitlichte Schnittstelle einen zusammenhängenden, datenzentrierten Informationsraum. Damit lassen sich Anwendungen, sogenannte **Mission Apps**, auf verschiedenen Luftfahrzeugen ohne plattformspezifische Anpassungen verteilen und unabhängig vom Lebenszyklus der Plattformen aktualisieren – ein Prinzip, das unter dem Stichwort *Software-defined Defence* Einzug in den Sprachgebrauch von Militär und Rüstungsindustrie gefunden hat. Mission Apps unterschiedlicher Hersteller könnten so in einem App Store gelistet und tagesaktuell in das Missionssystem heruntergeladen werden, statt auf die Wartungszyklen der Plattform angewiesen zu sein. Gleichzeitig werden Daten und Rechenleistung als geteilte Ressourcen verstanden. Im Sinne einer virtuellen Handelsbörse stellen alle verbundenen Plattformen ihre Fähigkeiten, Daten und Apps dem Netzwerk zur Verfügung und fordern bei Bedarf die Daten und Fähigkeiten anderer Plattformen an. Abhängig vom Einfluss auf den Missionserfolg und verfügbarer Bandbreite werden einzelne Trades zwischen Produzent und Konsument priorisiert und ausgeführt.



Fiktiver Aufklärungs- und Wirkverbund auf Basis der Combat Cloud

Während kommerzielle Software- und Cloudtechnologien viele dieser Prinzipien für eine digitale Infrastruktur der Combat Cloud bereits unterstützen, liegt die eigentliche **Herausforderung** in der Auswahl und Anpassung kommerzieller Technologien an die speziellen Bedürfnisse der militärischen Luftfahrt. Entgegen modernen Rechenzentren und Webanwendungen operiert die Combat Cloud dezentral und in Umgebungen mit begrenzter Bandbreite und Rechenkapazität sowie mit hoch dynamischen und oft unterbrochenen Verbindungen. Jede Millisekunde einer bestehenden Verbindung zweier Knoten muss für den Austausch von missionskritischen Informationen genutzt werden. Zudem schränken die strengen Anforderungen an Flugzulassung und Cybersecurity die Möglichkeiten der Nutzung kommerzieller oder Open-Source-Technologien ein.

Verteilte Missionsanwendungen für zukünftige Missionssysteme

Der letzte Baustein zur Realisierung der luftgestützten Combat Cloud umfasst kollaborative Anwendungen im Missionssystem, die durch die zugrunde liegenden Kommunikationsmittel und die digitale Infrastruktur der Combat Cloud befähigt werden. Diese Mission Apps repräsentieren die eigentlichen operativen Fähigkeiten des verteilten IT-Systems. Für den Verbund von bemannten Militärflugzeugen und unbemannten *Collaborative Combat Aircraft (CCA)* sind Apps für die verteilte Datenaufnahme und Lageerfassung, KI-gestützte Entscheidungsunterstützung, intelligente Routenplanung oder die optimierte Effektorzuweisung vorgesehen. Die missionsrelevanten Fähigkeiten eines traditionellen Missionssystems werden damit plattformübergreifend erweitert und mit deutlich höherem Automatisierungsgrad versehen.

Der Unterschied zu traditionellen Missionssystemen ergibt sich jedoch nicht allein durch die gemeinsame Missionsausführung in einer einzelnen fliegenden Formation. Zukünftige Luftoperationen müssen als Gesamtheit eingebundener Luftstreitkräfte gedacht werden. Während militärische Abläufe heute der Planung, Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung folgen, eröffnet die Durchgängigkeit des Informationsraums von Planungs- und Koordinierungsebene zu ausführenden Einheiten neue Möglichkeiten der Operationsorganisation. Echtzeitdaten, veränderte Bedrohungen oder der Ausfall einzelner Knoten bilden stets Entscheidungsgrundlagen, die eine Umplanung oder Optimierung der Mission erforderlich machen können. Anstelle einer detaillierten Ablaufplanung könnte eine Zielbeschreibung mit offenem Entscheidungskorridor über die Mission hinweg situativ geweitet oder verengt werden. Entscheidungen können je nach Lage an das Missionspersonal im Überwachungsflugzeug, Pilotinnen und Piloten oder autonome Systeme delegiert werden. Diese Dynamik im Missionsmanagement ist ein entscheidender Faktor zukünftiger Mission Apps, steht jedoch in Wechselwirkung mit der Weiterentwicklung operationeller Prozesse.

Die gewünschte **Dynamik** und das Update von Mission Apps stellen eine signifikante technologische und regulatorische Herausforderung dar. Das situative Nachladen neuer oder aktualisierter Fähigkeiten ist nur unter bestimmten Umständen mit den Anforderungen an die luftfahrttechnische Zulassung eines militärischen Luftfahrzeugs vereinbar. Dieser

Herausforderung begegnen die Ingenieurinnen und Ingenieure durch eine strenge Abgrenzung sicherheitskritischer Funktionen, die eine Verkehrssicherheit direkt beeinträchtigen könnten, von lediglich missionskritischen Fähigkeiten. Die Segregation von missionskritischen Apps erleichtert die Anforderungen an die Luftfahrtzertifizierung der Mission Apps und ermöglicht insbesondere im Zusammenspiel mit automatisierten Tests eine Beschleunigung des Updatezyklus.

Standardisierung als unumgänglicher Weg für die Combat Cloud

Die Combat Cloud versteht sich als Ökosystem und Referenzmodell, dessen Stärke aus der Vielfalt und Menge der Einzelplattformen resultiert. Die Ausweitung des Ökosystems kann folglich nur durch internationale Kollaboration und die Definition gemeinsamer Standards und Referenzarchitekturen gelingen, die heutige und zukünftige nationale und verbündete Systeme interoperabel gestalten. Die Zusammenarbeit mit europäischen Industriepartnern wird deshalb von Airbus als logische Notwendigkeit für die Entwicklung einer Combat Cloud verstanden.

Stand der Entwicklung und Ausblick

Bei der Beschreibung des Systems wird ersichtlich, dass es sich bei der Combat Cloud trotz des Namens nicht um eine kommerzielle Cloud-Infrastruktur handelt, sondern um ein **dezentrales Netzwerk**, das auch unter extremen Bedingungen operieren kann: mit begrenzter Bandbreite, wechselnden Verbindungen, begrenzter Rechenleistung und auf militärischen Luftfahrzeugen verteilt. Die erfolgreiche Ausgestaltung des Konzepts und die Systemspezifikation sind dabei entscheidende Schritte.

Bei der Entwicklung der Combat Cloud konnte *Airbus* zuletzt ebenfalls Fortschritte verzeichnen. Aufbauend auf den Konzepten investiert der Luft- und Raumfahrtkonzern in die Entwicklung einer *Airbus Combat Cloud Digital Infrastructure*. Airbus betrachtet das Betriebssystem der Combat Cloud als Fundament für die Entwicklung zukünftiger Softwarefähigkeiten. Bereits Mitte 2025 wurde ein Prototyp der Digital Infrastructure im Flug getestet. Mit einer *Airbus DT-25 Ziel-darstellungsdrohne* konnte im norwegischen Andøya erfolgreich der Aufbau eines datenzentrischen Netzwerks und die Bereitstellung einer flugzulassungsfähigen Infrastruktur für Mission Apps in mehreren Flügen validiert werden.

Der Erstflug stellte einen Meilenstein auf dem Weg zu einem minimal einsatzfähigen Produkt dar, das bereits 2026 als missionskritische Komponente in Airbus' zukünftigem Missionssystem *Multiplatform Autonomous Reconfigurable and Secure (MARS)* integriert wird. Mit dem Produkt MARS instanziiert das Unternehmen die Combat Cloud auf ihren bestehenden und zukünftigen fliegenden Systemen.

Die Combat Cloud soll jedoch nicht nur Flugzeuge vernetzen, sondern auch Raketenabwehrsysteme, Satelliten, Bodentruppen und Cybereinheiten einbinden. Damit wird sie ein **Schlüsselbaustein** für *Multi-Domain Operations (MDO)* werden – also



Erstflug der Airbus Combat Cloud Digital Infrastructure in Andøya, Norwegen

der Integration von Luft-, Land-, See-, Raum- und Cyberoperationen in einem gemeinsamen Wirkverbund. Die Airbus Combat Cloud Digital Infrastructure bildet auch hier das Fundament für kollaborative Mission Apps.

Technisch wird angesichts der zu erwartenden Datenmengen aus Sensoren, Kommunikation und Mission Apps in Zukunft die Entwicklung und Anwendung von KI-Modellen unverzichtbar. KI unterstützt dabei nicht nur die Datenfusion und Entscheidungsunterstützung, sondern auch die Ressourcenverteilung, Priorisierung von Trades und die adaptive Orchestrierung von Diensten. In der Cybersicherheit sind weitere technische Fortschritte zu meistern. Der konzeptionierte *Zero-Trust-Ansatz*, der sicherstellt, dass jedes Netzwerkelement – ob bemannt, unbemannt oder virtuell – sich kontinuierlich authentifiziert und autorisiert, ist wie die Entwicklung von Mission Apps mit militärischen Rahmenbedingungen, beispielsweise unterschiedlichen Zugriffsrechten einzelner Akteure oder unterschiedlicher Einstufung von Daten, abzustimmen. Dabei ist die enge Zusammenarbeit mit militärischen Nutzenden essenziell, um in einem für die Softwareentwicklung typischen, inkrementellen Ansatz schrittweise zu einer Einsatzreife zu gelangen.

Fazit

Die Combat Cloud markiert einen Paradigmenwechsel in der militärischen Luftfahrt: Weg von der Einzelplattform, hin zum vernetzten Aufklärungs- und Wirkverbund, dessen kollektive Fähigkeit die Summe der Einzelleistungen übersteigt. Sie ist die technologische Antwort auf die wachsende Komplexität moderner Konflikte – und zugleich ein Katalysator für neue Strategien wie *Affordable Mass*. Der Fortschritt in grundlegenden Technologien, die Konzeption und Systemspezifikation zeigen, dass die Vision greifbar wird. Sie stellen entscheidende Fortschritte in der Realisierung eines eigenständigen, verteilten IT-Systems für militärische Luftfahrzeuge dar.

Mit der von Airbus entwickelten Combat Cloud Digital Infrastructure als zentralem Baustein für das MARS-Missionssystem steht eine wesentliche Komponente als bereits flugerprobte Produktversion zur Verfügung. Dies ist ein Fundament, auf dem zukünftige softwaredefinierte Fähigkeiten gebaut werden können. Dennoch bleiben Herausforderungen: Standardisierung, sichere KI, zertifizierte Softwareentwicklung und die Integration in Multi-Domain Operations erfordern weiterhin Anstrengungen und eine enge Zusammenarbeit zwischen Nutzenden, Beschaffung und Industrie – national wie international. ✖

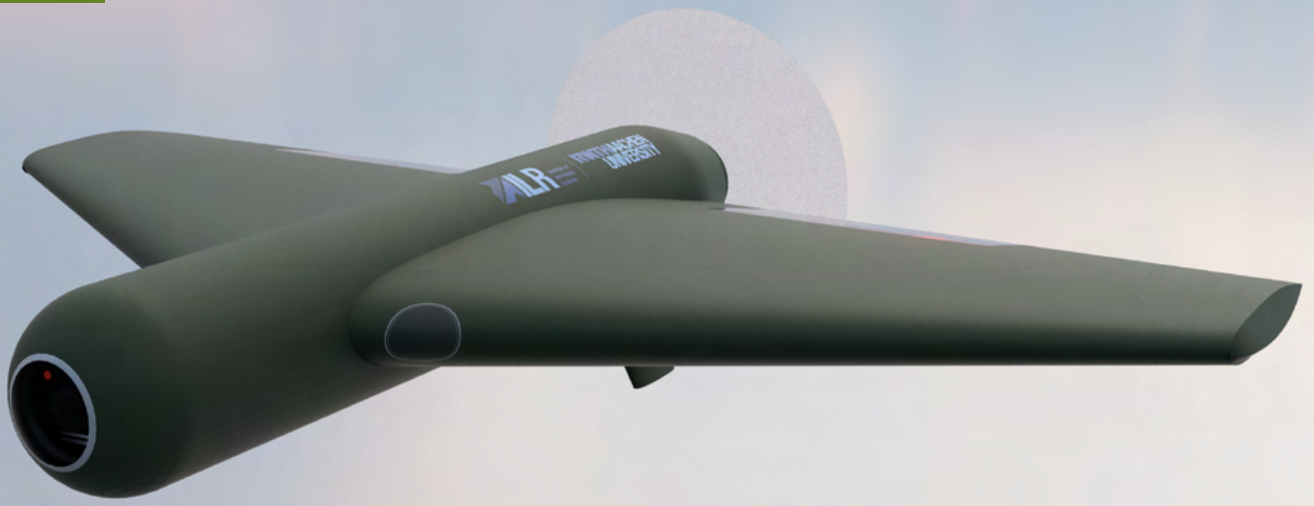


Abbildung 1: Illustration eines möglichen Abfangdrohnenkonzepts

Konzeptentwurf einer Abfangdrohne für die Drohnenabwehr

Von Lukas Neuerburg und Simon Gradel,
Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme der RWTH Aachen

Aktuelle zwischenstaatliche Konflikte wie der Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine oder der aktuelle Konflikt zwischen Iran, Israel und den USA zeigen die enorm gesteigerte Bedeutung von Drohnen in der Kriegführung. Insbesondere Kamikazedrohnen haben sich als kostengünstiges und zugleich wirkungsvolles Mittel etabliert: Ihr Einsatz zwingt die Verteidigung häufig dazu, teure Luftabwehrraketen zur Abwehr einzusetzen. In großer Zahl eingesetzt, können solche Systeme die Verteidigungsfähigkeit schnell an ihre Grenzen bringen. Vor diesem Hintergrund untersucht eine Studie der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen) kosteneffiziente Maßnahmen zur Abwehr von Kamikazedrohnen.

Kamikazedrohnen zeichnen sich durch eine im Vergleich zu Marschflugkörpern reduzierte Flugleistung bei gleichzeitig hoher Reichweite aus. Sie folgen typischerweise einer vorprogrammierten Trajektorie. Kamikazedrohnen werden dabei in der Regel nicht zur Bekämpfung militärischer Ziele an der Frontlinie, sondern für Luftangriffe auf Infrastruktur oder auch die Zivilbevölkerung im Hinterland des Gegners eingesetzt.

Die in **aktuellen Konflikten** am häufigsten genutzten Drohnenmodelle sind die iranische *Shahed-136* und die davon abgeleitete russische *Geran-2-Drohne*. Beide Modelle sind Deltaflügler, die durch einen Kolbenmotor im Heck angetrieben sind. Der Gefechtskopf der Drohnen wiegt weniger als 100 Kilogramm, was im Vergleich zu den Gefechtsköpfen konventioneller Marschflugkörper gering ist. Bedingt durch den schwachen Kolbenmotor erreichen die Drohnen nur niedrige Maximalgeschwindigkeiten von unter 200 Kilometer pro Stunde. Die offizielle Reichweite wird mit bis zu 2.500 Kilometern angegeben und die Produktionskosten Stand 2024 vom *Royal United Services Institute* auf 30.000 bis 80.000 US-Dollar geschätzt.

Kosteneinsatz

Damit steht die Kamikazedrohne einer allgemeinen Entwicklung zu immer hochwertigeren, leistungsfähigeren, aber auch teureren Waffensystemen entgegen. Bei Kamikazedrohnen wird dagegen auf **geringe Komplexität** und **geringe Stückkosten** durch Skaleneffekte in der Produktion gesetzt. Nach ukrainischen Angaben setzt Russland gerade in den Wintermonaten mehrere hundert Kamikazedrohnen pro Tag ein. Offensichtlich wird das Verhältnis von Wirkung zu eingesetzten Ressourcen im Vergleich zu komplexeren Waffensystemen wie Marschflugkörpern zunehmend als günstiger angesehen.

Ein wichtiger Aspekt ist dabei das Verhältnis der Ressourcen für eine Angriffswelle mit Kamikazedrohnen zu den für deren Abwehr benötigten Ressourcen. Dazu ist in **Abbildung 2** das **Kostenverhältnis** zwischen klassischer Offensiv- und Defensiv-

munition und Kamikazedrohnen skizziert. In kurzen Konflikten können Kamikazedrohnen effektiv durch teure und leistungsfähige Luftabwehrsysteme (zum Beispiel das israelische *Iron Dome*) bekämpft werden. In längeren Konflikten kann eine derartige Asymmetrie der Kosten zwischen Angriff und Verteidigung jedoch zu gravierenden Problemen für die Verteidigung führen: Für den Abschuss einer relativ preiswerten Kamikazedrohne muss mindestens eine wertvolle Luftabwehrrakete eingesetzt werden. Große Drohnenschwärme können daher schnell einen Mangel an Flugabwehrraketen verursachen. Daher ist es wichtig, kosteneffektive Verteidigungsmaßnahmen gegen Kamikazedrohnen zu entwickeln.

Aktuelle Abwehrmaßnahmen

Die **Ukraine** konnte sich in den letzten Jahren auf die Abwehr von Kamikazedrohnen einstellen und nutzt hierfür ein breit gefächertes Portfolio an **Aufklärungs-** und **Gegenmaßnahmen**. Zur Aufklärung der in der Regel tief fliegenden Kamikazedrohnen wird so zum Beispiel ein großes Netz an bodengebundenen Mikrofonen genutzt. Die Bekämpfung der Drohnen kann dann durch boden- oder luftgestützte Mittel erfolgen. Bodengebundene Rohrwaffensysteme, wie beispielsweise Flugabwehrpanzer, bieten eine ressourceneffiziente Abwehr, haben aber nur eine Reichweite von wenigen Kilometern. Sie eignen sich daher sehr gut zum Schutz von militärischen Objekten in Frontnähe sowie von Hochwertzielen im Hinterland. Für einen Schutz der gesamten Landesfläche wären jedoch unrealistisch viele Systeme vonnöten. Klassische fliegende Plattformen, wie zum Beispiel Kampffjets, können ein weitaus größeres Gebiet verteidigen, sind aber deutlich teurer und benötigen hochausgebildete Pilotinnen und Piloten, was es schwierig macht, rechtzeitig und angemessen schnell mit den offensiven Fähigkeiten der Angreifenden mit zu skalieren. Zusätzlich kommen neu entwickelte Abfangdrohnen zum Einsatz, die die Kamikazedrohnen durch kinetischen Einschlag zerstören. Diese haben zwar eine höhere Reichweite als Rohrwaffen, sind aber weiterhin in ihrem Einsatzradius begrenzt.

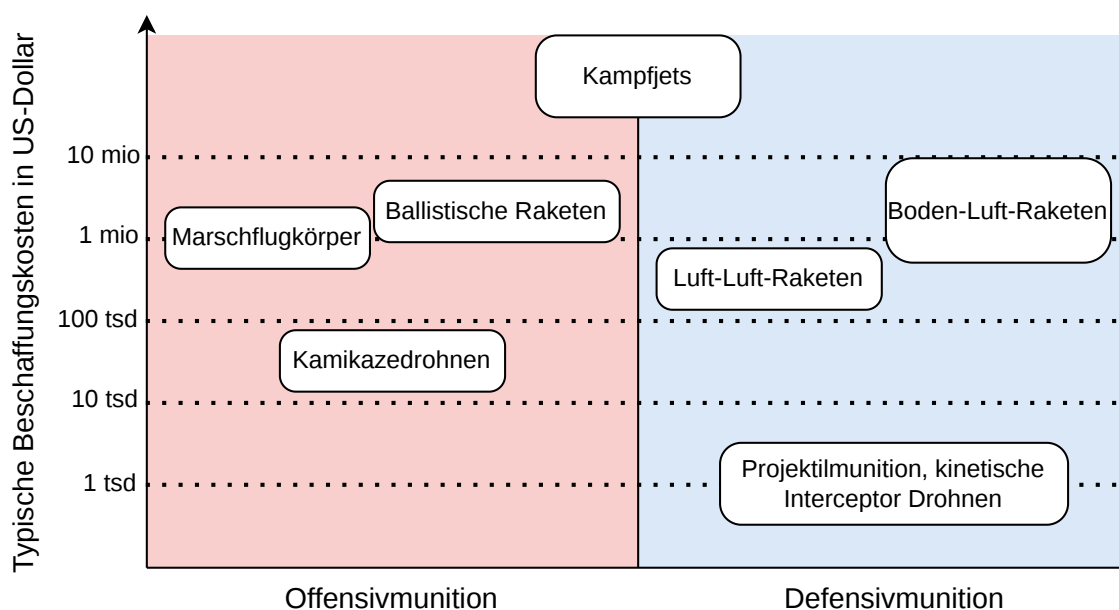
Das Konzept

Eine mögliche Lösung, die die Vorteile von ressourceneffizienter Abwehr und weiträumiger Gebietsabdeckung kombiniert, können unbemannte, mit Rohrwaffen ausgerüstete **Abfangdrohnen** sein. Am *Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme (ILR)* der RWTH Aachen wurde eine Studie für eine solche Abfangdrohne durchgeführt. **Abbildung 1** zeigt eine künstlerische Darstellung einer solchen Drohne. Sie soll aktuelle Abwehrsysteme unterstützen und entlasten.

Ein Geschwindigkeitsvorteil gegenüber den Kamikazedrohnen ist für den Abfangvorgang wünschenswert, wodurch die Wahl der Antriebsart auf einen Turboprop fällt. Wie in vielen etablierten Drohnenkonzepten wird dieser als Pusher im Heck integriert, um nach vorne freie Sicht für Bewaffnung und Sensorik zu ermöglichen. Die Wahl der Bewaffnung fällt auf Rohrwaffen oder ungelenkte Raketen, da nur so die Kosten zur Bekämpfung der Kamikazedrohnen niedrig gehalten werden können. Die Abfangreichweite der Drohne wird in der Studie auf 150 Kilometer gesetzt. Dadurch lässt sich der Luftraum über Mittel- und Osteuropa über die bestehende Infrastruktur aus kommerziellen, militärischen und Kleinflughäfen zufriedenstellend abdecken.

Die Auslegung der Drohnen erfolgt gemäß eines multidisziplinären Vorentwurfsprozesses. Die Drohnenkonzepte wurden mit einem *PT6A-67D-Triebwerk* des Herstellers *Pratt & Whitney* ausgelegt, das üblicherweise in der *General Aviation* Anwendung findet.

Die Flugmission für den Auslegungsprozess setzt sich aus einem Steigflug, einem Abfangflugsegment, einem Luftkampf, einem Rückflugsegment und einer Warteschleife vor der Landung zusammen, die in **Abbildung 3** schematisch skizziert sind. Für das Abfangsegment werden hohe Geschwindigkeiten von Mach 0,44 und eine Flughöhe von 2.000 Metern gewählt, um die Antriebsleistung des Turboprops zu steigern. Der Luftkampf zeichnet sich im Auslegungsfall damit aus, dass die



© Quelle Zahlen: Center for Strategic & International Studies (CSIS)

Abbildung 2: Vergleich der Anschaffungskosten von Offensiv- und Defensivmunition



Abfangdrohne ihre Geschwindigkeit an die abzufangende Drohne oder den Drohnenschwarm anpasst und eine Position hinter dem Ziel einnimmt. Für das Luftkampfsegment werden demnach eine Geschwindigkeit von 180 Kilometer pro Stunde und eine Flughöhe von circa 50 Metern angenommen.

Die Entwürfe

Untersucht wurden *Tube-and-Wing-Konzepte (TAW-Konzepte)* und Deltaflügler mit unterschiedlichen Bewaffnungskonfigurationen. Beim **Deltaflügler** bietet die dicke Flügelwurzel zusätzlichen Bauraum, um größere Sensorik und Bewaffnung zu integrieren. Durch die Integration im oder unter dem Rumpf kann die Bewaffnung nah am Gesamtschwerpunkt angebracht werden. Bei der TAW-Konfiguration muss größere Sensorik in der Nase verbaut werden. Die Bewaffnung muss entweder ebenfalls in den vorderen Rumpf integriert, oder in Pods unter dem Flügel aufgehängt werden. Eine Integration der Bewaffnung in den vorderen Rumpf ermöglicht es, die hinten liegende Masse des Triebwerks auszugleichen und den Gesamtschwerpunkt nach vorn zu verschieben, was die Flugstabilität begünstigt.

Die maximalen **Abflugmassen** der untersuchten Konzepte liegen zwischen 1.200 und 1.700 Kilogramm. Die Deltaflügelkonfiguration kann mit etwas kleineren Spannweiten und Rumpflängen ausgeführt werden, wie in **Abbildung 4** dargestellt ist, und erreicht gegenüber der TAW-Konfiguration um etwa zehn Prozent reduzierte Abflug- und Treibstoffmassen.

Um den Entwurfsraum besser zu verstehen, wurden im Rahmen der Studie die Entwurfsgrenzen untersucht. Die kritischen Entwurfsgrenzen sind hierbei die maximale Abfanggeschwindigkeit und die Gesamtmasse. Durch die Erhöhung der **Abfanggeschwindigkeit** kann die Zeit bis zum Einsatz verringert werden. Eine konkrete Erhöhung der Abfanggeschwindigkeit von Mach 0,44 auf Mach 0,5 kann die Zeit bis zum Luftkampf von circa 22 auf 18 Minuten reduzieren. Durch die erhöhte Geschwindigkeit steigt die Bedeutung der Widerstandsreduktion

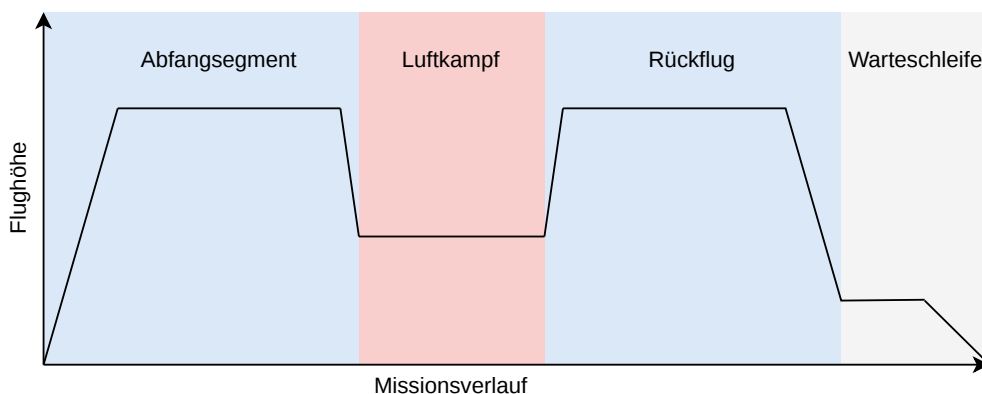
auf den Gesamtentwurf. Externe Waffenpods erzeugen zu viel Widerstand, sodass die hohen Geschwindigkeiten mit dem verwendeten Triebwerk nicht zu erreichen sind. Auch für die erhöhten Geschwindigkeiten zeigt das Deltaflügelkonzept bessere Flugleistungen.

Eine Erhöhung der **Gesamtmasse** kann durch unterschiedliche Anforderungen hervorgerufen werden. Für eine höhere Reichweite müsste beispielsweise mehr Treibstoff mitgeführt werden. Eine Erhöhung der Waffenlast (für Rohraffen größeren Kalibers oder auch für mehr Munition) führt ebenfalls zu einer höheren Gesamtmasse. Aufgrund der gestiegenen Flügelbelastungen haben die Drohnen beim Luftkampf bei niedrigen Geschwindigkeiten Probleme mit Strömungsabriss, die sich nur durch Vergrößerung der Flügelflächen beheben lassen. Eine Vergrößerung der Flügelflächen führt jedoch zu dem im Vorentwurf typischen Schneeballeffekt: Die Gesamtmasse steigt, wodurch Treibstoff- und Strukturmasse größer werden. Dadurch werden Hochauftriebssysteme nötig und die Gesamtkosten und Komplexität des Systems steigen drastisch an.

Insgesamt zeigen die Entwurfsstudien, dass ein Abfangdrohnenkonzept unter den gewählten Annahmen möglich ist. Die gleichzeitige Optimierung auf den schnellen Abflug und den langsamen Luftkampf sowie die Massenreduktion sind die zentrale Herausforderung des Entwurfs.

Ausblick

Zwei bisher nicht im Detail untersuchte Aspekte sind die **Sensorik** und die **Autonomie** der Abfangdrohne auf der Abfangtrajektorie und während des Luftkampfs. Durch den Kolbenmotor emittieren die Kamikazedrohnen eine für elektrooptische Sensoren im Nahbereich deutlich zu erkennende Wärmesignatur. Der Einbau eines **Radars** kann helfen, Kamikazedrohnen auf größere Distanzen zu detektieren, erhöht aber die Produktionskosten und die Systemkomplexität der Abfangdrohne erheblich. Hier muss eine Abwägung getroffen werden, inwiefern eine bodengestützte Heranführung flächendeckend

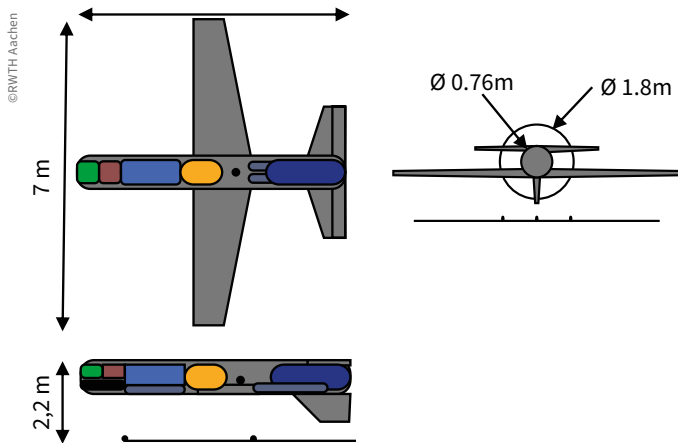


Anforderungen	
Abfangsegment	
Geschwindigkeit	500-550 km/h
Flughöhe	2000-3000 m
Reichweite	150 km/h
Luftkampf	
Geschwindigkeit	180 km/h
Flughöhe	100 m
Dauer	30 min
Massen	
Bewaffnung	150 kg
Elektronik/Sensorik	100 kg

© Center for Strategic & International Studies (CSIS)

Abbildung 3: Schematischer Missionsablauf und Eckdaten für die Auslegung

TAW -Konfiguration



Deltaflügler

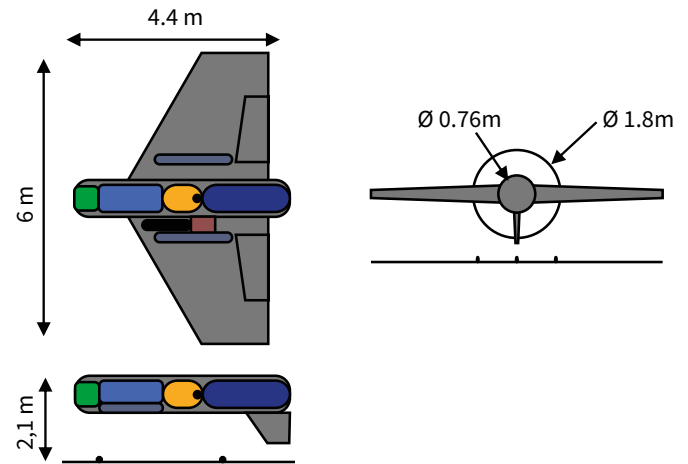


Abbildung 4: Entworfen Konfigurationen und Dimensionen

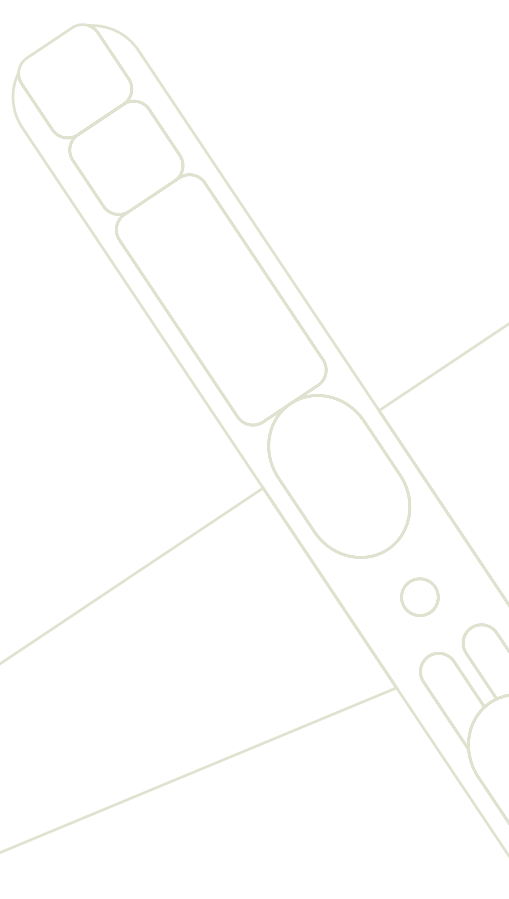
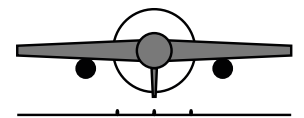
und zuverlässig möglich ist, oder ob die Integration eines Radars notwendig ist. Im Zuge der fortschreitenden Automatisierung der militärischen Luftfahrt ist eine autonome Zielerfassung und -bekämpfung durch die Abfangdrohne denkbar. Kamikazedrohnen sind zum aktuellen Zeitpunkt blind gegenüber ihrer Umgebung, der Luftkampf selbst stellt daher keine übermäßigen Anforderungen an eine autonome oder teilautonome Steuerung der Abwehdrohnen.

Eine Abfangdrohne funktioniert unter der Annahme, dass der Luftraum, in dem sie eingesetzt wird, nicht umkämpft ist. Wollen Angreifende ihre Kamikazedrohnen vor Abfangdrohnen schützen, müssen sie die Angriffswellen selbst durch bemannte oder unbemannte **Eskorten** schützen. Diese Eskorten, die wiederum technisch aufwändiger und damit teurer sein müssen, sind wiederum ein lohnenswertes Ziel für die leistungsfähigen Luftabwehrsysteme der Verteidigung, wodurch sich Kostenparität einstellt.

Eine wie in diesem Beitrag skizzierte, komplexe Abfangdrohne wird nicht die gleiche Kosteneffizienz erreichen wie bodengestützte Rohrmaschinen oder kinetische Abfangdrohnen. In einem hoch industrialisierten Flächenstaat wie **Deutschland** erstrecken sich kritische Infrastruktur und Bevölkerungszentren jedoch über große Gebiete. Jedes potenzielle Ziel durch stationäre Systeme mit kurzer Abfangreichweite beschützen zu wollen, würde daher auch einen sehr hohen Ressourceneinsatz bedeuten. Angreifende wären zudem in der Lage, durch Wechsel der Flugrouten und Ziele sowie durch einen konzentrierten Einsatz von Kamikazedrohnen die stationäre Verteidigung zu umgehen oder lokal zu überlasten. Eine Unterstützung durch Abfangdrohnen mit höherer Reichweite kann diese Probleme mildern, wie die Studien zeigen.

- Sensorik
- Elektronik
- Bewaffnung
- Treibstofftank
- Triebwerk
- Fahrwerk
- Munition

Alternativ: Bewaffnung in externen Pods



Dual-Use in der Luftfahrt

Neue Wege zu mehr Leistung und Resilienz in der Fertigung in einem sich ändernden industriellen Umfeld

Von Judy Martin, Airbus

Seit Jahrzehnten gibt es klar definierte Grenzen bei der Fertigung von zivilen und militärischen Projekten in der europäischen Luft- und Raumfahrtindustrie. Zwar wurden Technologien und Zulieferer gelegentlich von beiden Bereichen genutzt, die industriellen Systeme und Produktionslinien blieben jedoch im Allgemeinen voneinander getrennt – durch Unterschiede in den regulatorischen Anforderungen, dem Zertifizierungsrahmen und den Marktanforderungen. Das führte dazu, dass Fabriken, Prozesse und sogar Fachkompetenzen oft auf einen einzigen Markt ausgerichtet waren, militärisch oder zivil. Dies schränkte die Flexibilität der Unternehmen ein, wenn sich die Nachfrage oder strategische Prioritäten änderten.

Die heutige Situation ist von wirtschaftlicher und geopolitischer Instabilität, anfälligen Lieferketten und immer anspruchsvolleren Zielen geprägt. Das setzt die Hersteller unter Druck, ihre Effizienz und Leistungsfähigkeit zu verbessern und gleichzeitig ihre finanziellen Risiken zu begrenzen und sorgt dafür, dass die Unterscheidung zwischen ziviler und militärischer Luftfahrt zunehmend verschwimmt. Hier kommt die **Dual-Use-Fertigung** ins Spiel. Entscheidend dafür ist die Integration industrieller Kapazitäten, Prozesse und Infrastrukturen, sodass mit nur geringen Anpassungen sowohl zivile als auch militärische Programme unterstützt werden können. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass sich der Term **dual use** in diesem Artikel nicht auf die juristische Definition im Rahmen der Exportkontrolle bezieht, sondern die **gemeinsame Nutzung** von Fertigungstechnologien, Infrastruktur und industriellen Fertigkeiten zwischen zivilen und militärischen Programmen beschreibt.



Read full article in English:

[dglr.de/mitgliedschaft/
mitgliederbereich/
dglr-magazin-artikel/dual-use/](https://dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/dglr-magazin-artikel/dual-use/)

Bei der Entwicklung in Richtung Dual-Use-Fertigung geht es nicht nur um **Kosteneinsparung**, es spiegelt auch eine **strategische Entwicklung** wider. Die Luftfahrtfertigung erfordert erhebliche langfristige Investitionen in Spezialmaschinen, strenge Qualitätssysteme und hoch qualifizierte Arbeitskräfte. Da diese Fixkosten auch bei Marktschwankungen bestehen bleiben, wird in der Luft- und Raumfahrtindustrie vermehrt versucht, Dual-Use-Ansätze in verschiedenen Bereichen umzusetzen – darunter fortschrittliche **Digitalisierung** und **industrielle Innovation**. So will die Branche ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessern und gleichzeitig die immer komplexeren Rahmenbedingungen in den Bereichen Zertifizierung, Regulierung und Betrieb meistern.

Wirtschaftliche und strategische Vorteile

Die Gründe für die Dual-Use-Fertigung sind offensichtlich: Mit ihr kann die Luft- und Raumfahrtbranche ihre materiellen und finanziellen Ressourcen optimal einsetzen, kritische Kompetenzen bewahren und ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Marktschwankungen und geopolitischer Unsicherheit erhöhen.

Industrielle Stabilität und Risikominderung

Die Zivilluftfahrt reagiert empfindlich auf wirtschaftliche Schwankungen und ausgeprägte Marktzyklen, bei denen auf Phasen starken Wachstums oft abrupte Abschwünge folgen. Verteidigungsprogramme bieten tendenziell mehr Stabilität, lassen sich jedoch langsamer hochfahren und reagieren weniger flexibel auf kurzfristige Nachfrageschwankungen. Werden **beide Märkte** bedient, können Hersteller ihre industrielle Basis **stabilisieren**. Produktionslinien bleiben in Betrieb, Kapitalanlagen werden besser ausgelastet und das Investitionsrisiko verteilt sich auf mehrere Programme. In der Praxis bedeutet das, dass eine Maschine, die heute Komponenten für zivile Flugzeuge herstellt, mit geringfügigen Anpassungen morgen ein Verteidigungsprojekt unterstützen kann. Dadurch verbessern sich die Auslastungsraten und ungenutzte Kapazitäten werden reduziert. Dies ist besonders relevant für kapitalintensive Anlagen wie Verbundwerkstoff-Autoklaven, Zellen für die additive Fertigung oder automatisierte Montagesysteme. Eine Unterauslastung wirkt sich hier direkt auf Kosten und Wettbewerbsfähigkeit aus.

Die Dual-Use-Fertigung verringert zudem die Anfälligkeit gegenüber Störungen in den globalen Lieferketten und geopolitischen Einschränkungen. Abhängigkeit von Nicht-EU-Lieferanten in kritischen Bereichen wie Robotik, digitalen Fertigungsplattformen und fortschrittlichen Werkstoffen verringern sich und unterstützen so im europäischen Kontext eine strategische Autonomie.

Kompetenzen, Kontinuität und industrielles Gedächtnis

Durch die Dual-Use-Fertigung der Luft- und Raumfahrt werden ebenfalls hoch spezialisierte **Kompetenzen** erhalten. Fertigungsingenieurinnen und -ingenieure, Technikerinnen und Techniker sowie Qualitätsspezialistinnen und -spezialisten benötigen eine mehrjährige Ausbildung und Erfahrung in zertifizierten Prozessen wie der Verbundwerkstofftechnik, der Avionikmontage und dem Präzisionswerkzeugbau. Dual-Use-Fertigung kann die Anstellung dieser hochqualifizierten Mitarbeitenden auch in konjunkturellen Abschwungphasen gewährleisten. So wird industrielles Wissen bewahrt und kann auf andere Bereiche übertragen werden. Dies beschleunigt den Lernprozess und sorgt für weniger Umschulungen.

Darüber hinaus fördern industrielle Fertigungsbausteine bereichsübergreifende Innovationen, bei denen zivile Automatisierungslösungen, Materialien und digitale Werkzeuge in Verteidigungsplattformen einfließen – und umgekehrt. Das sorgt für eine schnellere technologische Reifung durch kommerziell getriebene Lernkurven.

Digitale Transformation: Der Motor für betriebliche Abläufe

Ein wesentlicher Faktor für die Dual-Use-Fertigung ist die fortschreitende **digitale Transformation** der Luft- und Raumfahrtbranche. Hersteller integrieren vermehrt vernetzte Maschinen, Robotik, künstliche Intelligenz und Mitarbeitende in ein digitales Rahmenwerk. Dieser digitale Ansatz, der auch über die gesamte Lieferkette hinweg umgesetzt wird, steigert die Flexibilität, Qualität und Leistung der Produktionssysteme. Dadurch können sie effektiver auf Marktschwankungen und die steigenden Resilienzanforderungen der modernen Luftfahrtfertigung reagieren.



© Airbus

In der Praxis bieten **digitale Fertigungs- und Industriedatenplattformen** eine entscheidende gemeinsame Ebene zwischen ziviler und militärischer Produktion. Modellbasiertes Engineering, digitale Zwillinge und Fertigungsausführungssysteme unterstützen die Konfigurationskontrolle, Rückverfolgbarkeit und das Qualitätsmanagement in komplexen Lieferketten. Diese Tools ermöglichen die Einhaltung ziviler Zertifizierungsanforderungen von Behörden wie der *Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA)* und unterstützen gleichzeitig die Lufttüchtigkeit im Verteidigungsbereich sowie das Flottenkonfigurationsmanagement und die langfristige Instandhaltung. Eine gemeinsame digitale Infrastruktur erlaubt einen einfachen Wechsel zwischen den Bereichen, ohne dass die Datenarchitektur jedes Mal neu aufgebaut werden muss.

Gleichzeitig ermöglichen digitale Frameworks eine sichere Trennung von Daten. Dies ist beim Umgang mit sensiblen militärischen Spezifikationen neben kommerziellen Produktionsinformationen unerlässlich. Dafür braucht es Secure-by-Design-Architekturen, Zugriffskontrolle und Daten-Governance in allen industriellen Dual-Use-Umgebungen.

Die **Auswirkungen** der Digitalisierung reichen bis in die vorgelagerten Bereiche Design und Engineering. KI-gestützte Simulationen und virtuelle Validierungen verkürzen Entwicklungszyklen und ermöglichen eine schnellere Industrialisierung. Dadurch können zum Beispiel Durchbrüche in zivilen Programmen auch schneller auf Verteidigungsanwendungen übertragen werden.

Das industrielle Rückgrat: Kerntechnologien an der Schnittstelle

Dieser digitale rote Faden zieht sich durch eine Reihe von Kerntechnologien, die bereits an der Schnittstelle zwischen ziviler und militärischer Luftfahrt zum Einsatz kommen. Sie basieren auf gemeinsamen industriellen Plattformen, obwohl sich die Endprodukte und Zertifizierungswege unterscheiden.

Im **Zentrum** der zivilen und militärischen Luftfahrt sitzt die fortschrittliche Verbundwerkstofffertigung. Automatisierte Faserplatzierung, Harztransferformung (RTM) und fortschrittliche Aushärtungsverfahren werden zur Herstellung großer ziviler Strukturen wie Tragflächen und Rumpfverkleidungen eingesetzt. Dieselben Anlagen unterstützen auch die Produktion hochbelastbarer oder schwer erkennbarer Strukturen für Militärflugzeuge und unbemannte Systeme. Aus industrieller Sicht sind Maschinen, Materialien und Qualitätskontrollen weitgehend identisch.



Mittelgroße Bohrroboter meistern komplexe Fertigungsaufgaben

Die **additive Fertigung** hat sich in der Luftfahrt von einer Nischenanwendung zum essenziellen Teil der Serienproduktion entwickelt. In der zivilen Luftfahrt wird die Metallpulverbettfusion beispielsweise zur Herstellung zertifizierter Halterungen, Kanäle und Systemkomponenten eingesetzt. Verteidigungsprogramme nutzen dasselbe Verfahren für kompakte Teile von Kraftstoffsystemen, Wärmetauschern und Antriebskomponenten, bei denen komplexe Geometrie und thermische Leistungsfähigkeit entscheidend sind. Durch die gemeinsame Nutzung von Maschinen, Nachbearbeitungsschritten und Prüfverfahren wird der Dual-Use-Wert maximiert.

Auch Fertigungstechnologien im Bereich der **Antriebstechnik** werden zunehmend doppelt genutzt. Fortschrittliche Werkstoffe, Wärmemanagementlösungen, Leistungselektronik und elektrifizierte Subsysteme, die für die Dekarbonisierung im zivilen Bereich entwickelt wurden, erfüllen auch militärische Anforderungen in Bezug auf Effizienz, Zuverlässigkeit und reduzierte logistische Belastung. Auch Präzisionsbearbeitung, fortschrittliche Beschichtungen, automatisierte Montageprozesse und fortschrittliche Prüftechnologien werden weitgehend gemeinsam genutzt. Robotik, automatisiertes Bohren und zerstörungsfreie Prüfsysteme kommen sowohl in zivilen als auch in militärischen Produktionslinien zum Einsatz. Ihre Fähigkeiten, sich an unterschiedliche Geometrie und Produktionsmengen anzupassen, qualifizieren sie besonders gut für Fertigungsumgebungen mit militärischem und zivilem Verwendungszweck.

Mit Widerständen umgehen: Herausforderungen bei der Integration

Diese industriellen Vorteile kommen nicht ohne Reibungsverluste: Erstens geht es um **unterschiedliche operative Ziele**. In der zivilen Luftfahrt stehen Sicherheit, Kosteneffizienz, Umweltverträglichkeit und Planbarkeit im Vordergrund. In der militärischen Luftfahrt sind es Einsatzwirksamkeit, Verfügbarkeit und Souveränität. Muss eine Organisation beide Märkte bedienen, können Kompromisse bei der Konstruktion, den Produktionsraten und den Investitionsentscheidungen unterschiedliche Schwerpunkte erfordern, was die interne Abstimmung erschwert.



Hochleistungskohlenstofffasergewebe

Zweitens werden **Risiko** und **Compliance** unterschiedlich gehandhabt. Zivile Programme unterliegen hochgradig transparenten Zertifizierungsrahmen mit klarer Rechenschaftspflicht gegenüber Regulierungsbehörden wie der EASA. Militärische Programme akzeptieren andere Risikoschwellenwerte, stützen sich auf nationale Behörden und beinhalten geheime Anforderungen sowie die Einhaltung strenger behördlicher Exportkontrollvorschriften. Die Abstimmung interner Prozesse über diese unterschiedlichen Bereiche hinweg kann zu Reibungen zwischen den Teams in den Bereichen Technik, Qualität und Programmmanagement führen.

Ethische Überlegungen tragen zusätzlich zur internen Komplexität bei. Die zivile Luftfahrt wird mit öffentlichem Verkehr, Umweltverantwortung und gesellschaftlichem Nutzen in Verbindung gebracht. Die militärische Luftfahrt hingegen umfasst Verteidigung, Abschreckung und potenziell tödliche Anwendungen. In Organisationen, die in beiden Bereichen tätig sind, können unterschiedliche Ansichten über den akzeptablen Einsatz von Technologie zu internen Debatten über Werte, Kommunikation und unternehmerische Verantwortung führen.

Schließlich unterscheiden sich auch die **Führungsstrukturen** und **Entscheidungsfristen**. Zivile Programme werden von Marktkonkurrenz und Lieferterminen bestimmt, während militärische Programme von politischen Entscheidungen, Haushaltszyklen und strategischen Prioritäten abhängig sind. Diese unterschiedlichen Rhythmen erschweren die Zuweisung von Ressourcen und die langfristige Planung für die gemeinsame Nutzung von Fertigungskapazitäten.

Zusammengenommen sorgen diese Punkte dafür, dass unterschiedliche Prioritäten nicht einfach nebeneinander bestehen, sondern innerhalb derselben Organisationen miteinander interagieren. Es ist ein operationelles Management dieser Interaktion erforderlich, das eine klare Steuerung, transparente Kommunikation und explizite Strategien umfasst, die in Balance mit ethischer Verantwortung stehen.

Eine strategische Weiterentwicklung

Die Dual-Use-Fertigung ist eine pragmatische und strategische Weiterentwicklung für die Luftfahrt. Sie sorgt für wirtschaftliche Effizienz, beschleunigte Innovation und erhöhte Widerstandsfähigkeit – zivil und militärisch. Zusammen mit digitaler Transformation und politischen Instrumenten hilft sie Herstellern, sich auf volatilen Märkten zu behaupten und gleichzeitig souveräne industrielle Fähigkeiten zu bewahren.

Um die Dual-Use-Fertigung zu verwirklichen, braucht es eine sorgfältige Integration von Zertifizierungswegen, Datenverwaltung und organisatorischen Prozessen. Die daraus resultierenden Vorteile in Bezug auf Widerstandsfähigkeit, Wettbewerbsfähigkeit und strategische Autonomie sind enorm. Während die Luftfahrt in eine neue Ära eintritt, in der technologische Führungsrolle, industrielle Souveränität und wirtschaftliche Effizienz zunehmend ineinandergreifen, wird die Dual-Use-Fertigung zu einem entscheidenden Element eines robusten und wettbewerbsfähigen Luft- und Raumfahrtökosystems. 



"That's one small step for a man,
one giant leap for mankind."

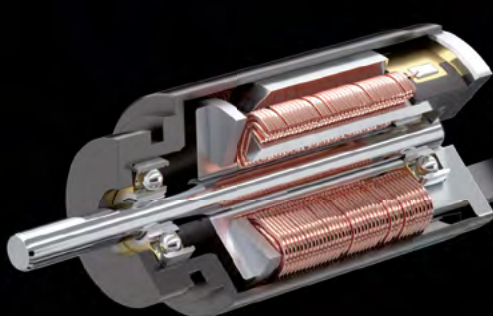
Neil Armstrong, 21. Juli 1969

FAULHABER Schrittmotoren

One Step ahead

Nicht nur in Luft- und Raumfahrt sind Zuverlässigkeit und Robustheit gefragt. Auch in anderen Bereichen bringen die neuen Schrittmotoren der Serie AM3248 Sie Ihrem Ziel einen großen Schritt näher.

www.faulhaber.com/am3248/de



WE CREATE MOTION



Zwischen Zeitenwende und Technologiewettbewerb

Deutschlands militärische Luft- und Raumfahrtindustrie im Wandel

André Chripunow und Johannes Leiber, Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI)

Mit 52 Milliarden Euro Umsatz und 120.000 Beschäftigten ist die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie so stark wie nie. Durch die gewandelte militärische Bedeutung des Weltraums spielt sie insbesondere in der Sicherheitspolitik eine immer größere Rolle.

Selten stand die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie so stark im Rampenlicht der Sicherheitspolitik wie heute. Russlands Einmarsch in die Ukraine, eskalierende Spannungen im nahen Osten und die Neuausrichtung der NATO-Partner haben den Blick auf eine Branche gelenkt, die lange als technologisches Schwergewicht galt, politisch aber im Hintergrund stand. Der Branchenumsatz wuchs 2024 von 46 auf 52 Milliarden Euro, die Zahl der Beschäftigten stieg von 115.000 auf 120.000 – Rekordwerte in beiden Kategorien.

Die zentralen Akteure

Airbus Defence and Space ist ein wichtiger Player. Mit Standorten in München, Manching, Bremen und Hamburg deckt der Konzern das gesamte Spektrum ab: von Kampfflugzeugen über Militärtransporter bis zu Aufklärungssatelliten. **Rheinmetall** hat sich in wenigen Jahren vom klassischen Rüstungskonzern zum anerkannten Schwergewicht der europäischen Verteidigungsindustrie entwickelt. **MTU Aero Engines** aus München ist im Triebwerksbereich tätig und entwickelt militärische Antriebe für den Eurofighter.

Ergänzt wird das Tableau durch Zulieferer und spezialisierte Mittelständler: **Diehl Defence** (Lenkflugkörper und Flugabwehr), **HENSOLDT** (Sensorik und Aufklärung) sowie **MBDA Deutschland** (Raketensysteme) sind fest in das europäische Verteidigungs-ökosystem eingebunden. Der **Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI)** vertritt insgesamt über **300 Mitgliedsunternehmen** der Luft- und Raumfahrt.

Herausforderungen

Zurzeit halten die Spannungen um das *Future Combat Air System* (FCAS) sowie weitere strukturelle Probleme die Branche im Atem: Die Luftwaffe verfügt zwar über leistungsfähige Wirkmittel wie den *METEOR*-Lenkflugkörper, den Luft-Luft-Flugkörper *IRIS-T* und den Marschflugkörper *TAURUS*, aber nur in begrenzter Stückzahl. Der Aufbau ausreichender Munitionsvorräte erfordert erhebliche Kapazitätserweiterungen. Das ist ein Prozess, der Zeit braucht und auch neue industrielle Lieferketten voraussetzt. Zudem kämpft die Branche mit einem drohenden **Fachkräftemangel** bei Luft- und Raumfahrtingenieuren, Softwareentwicklerinnen für Waffensysteme und erfahrenen Projektmanagern. Dem entgegengestellt, vollzieht Deutschland gerade einen sicherheitspolitischen Kurswechsel im Weltall, der in seiner Konsequenz historisch ist und die heimische Raumfahrtindustrie ins Zentrum rückt.

Militärische Raumfahrt: Deutschlands historischer Kurswechsel im Orbit

Es gibt eine Aussage, die viel über die aktuelle Lage der militärischen Raumfahrt verrät. Als die Bundeswehr im vergangenen Herbst auf einer Konferenz mit der Frage konfrontiert wurde, wie die Truppe mit den Verzögerungen beim europäischen Satellitenprojekt *IRIS²* umgehe, antwortete ein **führender Weltraumkoordinator**: „Dann machen wir unsere eigene Konstellation.“ Der Satz klingt nach Aufbruch, offenbart aber zugleich, wie spät Deutschland in diese Verantwortung eingetreten ist – und wie konsequent es nun bereit ist, das zu ändern.

Jahrzehntelang war die Bundeswehr im Orbit vor allem eines: Nutzerin. Navigation, Kommunikation, Aufklärung: Für nahezu alle weltraumgestützten Fähigkeiten war sie auf amerikanische Systeme oder europäische Gemeinschaftsprojekte angewiesen. Bis vor Kurzem betrieb Deutschland acht bis zehn eigene Satelliten. Eine Zahl, die Fachleute als strategisch unzureichend beschreiben.

Die Strategie als Wendemarke

Im November 2025 legte die Bundesregierung ihre erste **Weltraumsicherheitsstrategie** vor. Gemeinsam unterzeichnet von Verteidigungsminister **Pistorius** und Außenminister **Wadephul**, definiert das Dokument den Orbit erstmals als eigenständige militärische Dimension – gleichrangig neben Land, Luft, See und Cyber. Weltraumgestützte Infrastrukturen werden darin ausdrücklich als Teil der kritischen Infrastruktur eingestuft.

Dazu zählt unter anderem das **Aufklärungssatellitensystem SARah**, die Nachfolge des seit 2007 betriebenen *SAR-Lupe-Systems*. Hauptauftragnehmerin ist *OHB*, in Kooperation mit *Airbus Defence and Space* als Unterauftragnehmer. SARah sichert heute die strategische Aufklärungsfähigkeit der Bundeswehr. Im Juli 2024 erteilte diese zudem Airbus den Hauptauftrag für *SATCOMBw Stufe 3*. Das System umfasst **geostationäre Satelliten**, das Bodensegment, den Start und den Betrieb über 15 Jahre. Die etwa sechs Tonnen schweren Satelliten

sollen die Kommunikationsinfrastruktur der Bundeswehr bis in die 2040er-Jahre sichern. Der Vertrag bindet dabei gezielt deutsche Unternehmen ein, darunter *OHB* aus Bremen und zahlreiche kleinere Zulieferer.

Beide Programme sind wichtig, reichen aber künftig nicht aus, um den gestiegenen Anforderungen moderner Gefechtsführung sowie der zunehmenden Bedrohung der Weltrauminfrastruktur gerecht zu werden. Programme wie *SPOCK 1 & 2*, *SatComBw 4* und *GISMO* sollen zu einer nationalen vernetzten **Multi-Orbit-Konstellation** mit mehreren hundert Satelliten führen, um die in der Weltraumsicherheitsstrategie benannten Fähigkeiten für Aufklärung, Kommunikation, Raketenfrühwarnung sowie Wehrhaftigkeit im All umzusetzen.

Das Ökosystem hinter den Programmen

Große Programme wie *SATCOMBw 3* oder *SARah* sind das sichtbare Ende einer sehr viel tieferen Wertschöpfungskette. Was ihnen vorausgeht, ist ein **Netzwerk** aus spezialisierten Unternehmen, das Deutschland von anderen Raumfahrtationen unterscheidet: **Jena-Optronik** liefert Sternsensoren für Lage- und Navigationssysteme, die in nahezu jeder europäischen Raumfahrtmission eingesetzt werden. **Tesat-Spacecom** entwickelt neben Kommunikationsnutzlasten auch Laserterminals für hochsichere optische intersatellitenverbindungen – eine Technologie von wachsender Bedeutung für resiliente militärische Netzwerke. *HENSOLDT* steuert Sensorik und Aufklärungstechnologie bei, *LiveEO* wertet Erdbeobachtungsdaten mittels KI aus.

Diese Tiefe entlang der gesamten Kette ist im militärischen Kontext entscheidend. Fähigkeiten entstehen nicht isoliert, sondern im engen Austausch zwischen Systemhäusern, Zulieferern, Start-ups und Forschungseinrichtungen. In Hinblick auf geostrategische Verwerfungen der letzten Jahre und unter Berücksichtigung der Ambitionen Deutschlands mehr Verantwortung für die Verteidigung in Europa zu übernehmen, ist es essenziell, dass diese Fähigkeiten weiterhin national erhalten bleiben und sogar ausgebaut werden; im Sinne einer resilienten und wehrhaften Weltraumsicherheitsinfrastruktur.



Verteidigungsminister Pistorius und Außenminister Wadephul stellten am 19. November 2025 die erste Weltraumsicherheitsstrategie der Bundesregierung im Kabinett vor

© Bundeswehr/Christoph Kassetta



© BDL/Julia Baumgart

Auf der ILA Berlin vom 10. bis 14. Juni 2026 ist die Bundeswehr größter Einzelaussteller im Bereich Verteidigung

Entscheidend dafür, dass Deutschland auch im Ernstfall seine Satelliten einsetzen und auf Bedrohungen oder Ausfälle schnell reagieren kann (*Responsive Space*), sind maßgeblich **eigene Startkapazitäten**. Die *Ariane 6* des europäischen Gemeinschaftsunternehmens *ArianeGroup* ist Europas Antwort auf diese Abhängigkeit. *MT Aerospace* ist mit rund zehn Prozent Auftragsvolumen die größte Lieferantin für das Ariane-Programm außerhalb Frankreichs. Das Unternehmen fertigt zentrale Strukturen der Unter- und Oberstufe sowie der Feststoffbooster. Im Februar 2026 absolvierte die Ariane 6 in ihrer leistungsstärksten Konfiguration mit vier Boostern ihren ersten kommerziellen Flug und brachte erfolgreich 32 Satelliten präzise in die Umlaufbahn. Ein Beleg für die Zuverlässigkeit des Systems. Die Ariane 6 ist das europäische Mittel der Wahl für schwere **Militärsatelliten**: für geostationäre Kommunikationsplattformen ebenso wie für komplexe Aufklärungssysteme in Form von LEO-Konstellationen. Künftig soll sie 12 bis 14 Mal pro Jahr starten, um der enormen Nachfrage gerecht werden zu können. Für einzelne leichtere Nutzlasten in niedrigen Umlaufbahnen können künftig ergänzend neue europäische **Microlauncher** von *HyImpulse*, *Isar Aerospace* und *Rocket Factory Augsburg* eine Rolle spielen.

Was jetzt passieren muss

Die Bundeswehr verfolgt das Zielbild einer **resilienten Welt-raumarchitektur 2029**. Zwischen Strategie und industrieller Realität besteht aber noch eine **strukturelle Lücke**. Der erste Engpass liegt in der **Beschaffungsgeschwindigkeit**: Traditionelle Vergabeverfahren sind für Programme ausgelegt, die Jahre zum Reifen brauchen. Die neuen Anforderungen militärischer Raumfahrtarchitekturen erfordern kürzere Entwicklungszyklen, mehr Flexibilität bei der Industriebeteiligung und eine Bereitschaft zu partnerschaftlicher Risikoübernahme und kontinuierlichem engen Austausch zwischen Auftraggeber und Industrie. Erste Ansätze sind erkennbar. Sie reichen noch nicht aus.

Der zweite Engpass betrifft die Kohärenz zwischen **nationalen und europäischen Vorhaben**. Die Weltraumsicherheitsstrategie bekennt sich ausdrücklich zu *IRIS²* und will das europäische System mit nationalen Fähigkeiten erweitern. Damit beide sich jedoch ergänzen, statt Doppelstrukturen zu schaffen, braucht es einen verbindlichen Koordinierungsrahmen zwischen Berlin und Brüssel, dem Bundesverteidigungsministerium und der *Europäischen Weltraumorganisation ESA* sowie zwischen den Systemhäusern der beteiligten Länder.

Der Orbit zeigt zudem, was möglich ist: eine erste Weltraumsicherheitsstrategie, konkrete Konstellationsprogramme, eine europäische Trägerrakete mit starker deutscher Beteiligung. Das ist kein Zufall, sondern das Ergebnis jahrelanger Investitionen in ein Ökosystem aus Systemintegratoren, Spezialisten und Forschungseinrichtungen. Dieses Modell – kohärent, vernetzt, langfristig gedacht – braucht die militärische Luftfahrt ebenfalls. Der Wettbewerb um technologische Souveränität wartet nicht.



Ende April startete Arianespace erfolgreich mit 32 Amazon-Leo-Satelliten an Bord einer Ariane 6 mit vier Boostern

Von der Entwicklung zur Anwendung:

Warum integrierte Engineering-Ansätze zum entscheidenden Erfolgsfaktor in der Luftfahrt werden

Die Anforderungen an die Luft- und Raumfahrt steigen kontinuierlich: Systeme werden komplexer, Entwicklungszyklen kürzer, regulatorische Anforderungen anspruchsvoller. Gleichzeitig wächst der Druck, bestehende Plattformen effizienter und nachhaltiger zu betreiben.

In der Praxis zeigt sich dabei ein zentrales Problem: Schon kleine Änderungen können unerwartete Effekte im Gesamtsystem auslösen. Testaufwände steigen, Abhängigkeiten werden schwerer nachvollziehbar und der Übergang in den stabilen Betrieb wird zum Engpass. Dabei handelt es sich nicht um Einzelfälle, sondern um ein strukturelles Muster der Branche. Klassische, sequenzielle Entwicklungsansätze stoßen an ihre Grenzen, wenn Systeme über viele Ebenen gekoppelt sind und über Jahre hinweg weiterentwickelt werden. Entscheidend wird weniger die einzelne Innovation als die Fähigkeit, Komplexität kontrolliert zu steuern.

Ein zentraler Ansatz liegt deshalb in der konsequenten Integration von Engineering-Prozessen – von der Anforderungsdefinition über Entwicklung und Test bis hin zum Betrieb. Hier setzen Unternehmen wie **Akkodis** an, die Engineering, IT und Umsetzung verbinden und so neue Formen der Zusammenarbeit ermöglichen.

Integration in der Praxis

Wie sich dieser Ansatz konkret umsetzen lässt, zeigt sich in aktuellen Industrieprojekten. In der Zusammenarbeit mit *Deutsche Aircraft* begleitet Akkodis die **Entwicklung** der nächsten Generation von **Regionalflugzeugen** entlang des gesamten Entwicklungsprozesses – von der Systemintegration über Boden- und Flugtests bis hin zur Zulassung. Digitale Entwicklungsmethoden tragen dazu bei, Prozesse effizienter zu gestalten und gleichzeitig die Grundlage für emissionsreduzierende Innovationen zu schaffen.

Ein weiterer entscheidender Faktor liegt in der Validierung komplexer Systeme. Akkodis entwickelt und realisiert hierfür umfassende **Testlösungen** – von klassischen Testständen bis hin zu virtuellen Testumgebungen. Für einen Großkunden der Luftfahrt arbeitet Akkodis aktuell an einem „virtuellen Testhaus“, das eine neue Testebene schafft: Anstelle aufwendiger, zeit- und kostenintensiver physischer Testzentren werden Systeme verstärkt über **Rechenmodelle** und **Simulation** ab-



Robot Assisted Visual Inspections



© Synergeticon by Akkodis

gesichert. Zentral ist das Zusammenspiel: Systeme werden digital abgebildet und unter realen Bedingungen verifiziert. So lassen sich Risiken frühzeitig erkennen, Testaufwände gezielt steuern und Zertifizierungsprozesse konsistenter gestalten.

Neue Möglichkeiten durch Daten und Automatisierung

Parallel dazu gewinnt der Einsatz datenbasierter und automatisierter Verfahren an Bedeutung. Mit der Integration von *Synergeticon* – einem auf KI- und Automatisierungslösungen spezialisierten Unternehmen – baut Akkodis seine Kompetenzen gezielt aus. Anwendungen wie prädiktive Analysen, Echtzeit-Datenverarbeitung oder intelligente Assistenzsysteme erhöhen Transparenz und Effizienz entlang des gesamten Lebenszyklus.

Mit zunehmender Vernetzung technischer Systeme erweitert sich der Blick zudem über einzelne Plattformen hinaus. Projekte im Bereich kritischer Infrastrukturen zeigen, wie unterschiedliche Systeme – von luftgestützten Plattformen über maritime Einheiten bis hin zu Unterwasserlösungen – zu einem integrierten Lagebild zusammengeführt werden können. Gerade in sicherheitsrelevanten Kontexten wird die **Verknüpfung** und **Echtzeitauswertung** von Daten zum zentralen Faktor.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich: Die Zukunft der Luft- und Raumfahrt entscheidet sich nicht allein an technologischen Einzelinnovationen. Entscheidend ist vielmehr die Fähigkeit, Entwicklung, Test und Betrieb als integrierten Prozess zu verstehen und Innovationen zuverlässig in die Anwendung zu überführen.

Gerade für bestehende Systeme liegt hier ein wesentlicher Hebel. Ein großer Teil der Wertschöpfung entsteht in der **Weiterentwicklung** bestehender Plattformen – etwa durch Retrofit, Effizienzsteigerung oder verlängerte Nutzungsdauer. Integrierte Engineering-Ansätze sorgen dafür, dass solche Anpassungen planbar und sicher umgesetzt werden können.

Für Unternehmen wie Akkodis bedeutet das, eine zentrale Rolle an der Schnittstelle von Engineering, Technologie und Umsetzung einzunehmen – mit dem Ziel, komplexe Systeme beherrschbar zu machen und Innovationen dorthin zu bringen, wo sie wirken: in den realen Betrieb. ■



KI-generiertes Test Bench High-Lift System



Weltraumsicherheitsstrategie und militärische Weltraumarchitektur

Was muss die Bundeswehr im Weltraum leisten können?

Von OTL i.G. Ralf Thorhold,

Hauptabteilung Streitkräfte, Referat Weltraumoperationen, Weltraumsicherheit, Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)

Die Bundeswehr muss die Souveränität der Bundesrepublik Deutschland gewährleisten und ihre Bürgerinnen und Bürger schützen – auf der Erde und darüber hinaus. Der Weltraum ist längst kein unberührtes Forschungsgebiet mehr, sondern ein operativer Raum und potenzielles Gefechtsfeld und damit von zentraler Bedeutung für die nationale Sicherheit Deutschlands.

Die zunehmende Abhängigkeit von Weltraumtechnologien – wie satellitengestützter Erdbeobachtung, Kommunikation, Navigation und Wettervorhersage – macht die Sicherung des Weltraums zu einer Herausforderung moderner Verteidigungs- und Sicherheitskonzepte. Gleichzeitig entwickeln potenzielle Gegner Fähigkeiten, die die deutsche Satelliteninfrastruktur gefährden können – von Cyberangriffen bis hin zu kinetischen Waffen. Das macht den Schutz der Weltraumressourcen zu einer Kernaufgabe der Sicherheitspolitik.

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung eine gesamtstaatliche nationale **Weltraumsicherheitsstrategie (WRSS)** verabschiedet, die im November 2025 veröffentlicht wurde. Diese Strategie definiert drei zentrale Handlungsfelder, um der „Zeitenwende“ auch im Orbit gerecht zu werden und die deutsche Sicherheit im Weltraum zu gewährleisten:

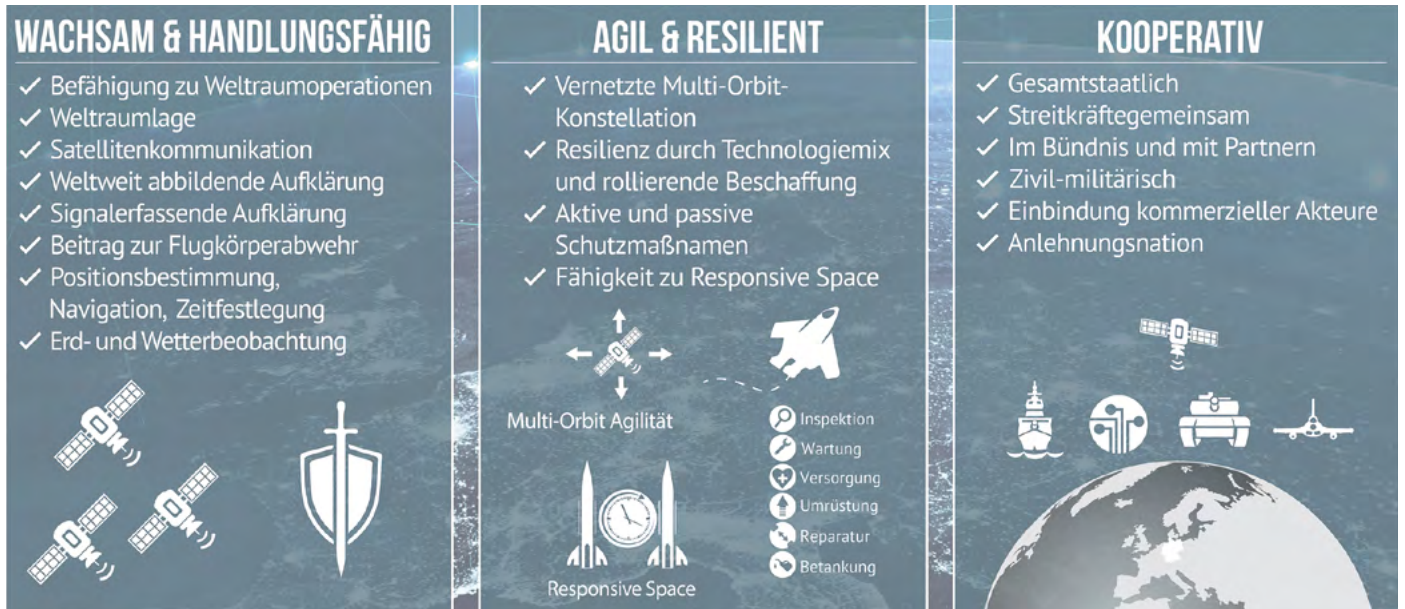
- **Gefahren und Bedrohungen erkennen, Handlungsoptionen entwickeln**
- **Internationale Kooperation und nachhaltige Ordnung im Weltraum fördern**
- **Abschreckung aufbauen, Wehrhaftigkeit und Resilienz stärken**

Was bedeutet das für die Bundeswehr?

Die Bundeswehr wird ihre Fähigkeiten im Weltraum deutlich ausbauen, um den neuen Herausforderungen begegnen zu können. Dies umfasst:

Früherkennung, Schutz und Abwehr:

Die Bundeswehr wird ihre Fähigkeiten zur Lageerkennung im Weltraum, *Space Domain Awareness (SDA)*, erheblich erweitern. Ziel ist es, Annäherungen und Angriffe schneller zu detektieren und zu identifizieren. Investitionen in Sensorik, Datenanalyse und den Schutz unserer Satelliten sind dabei unerlässlich. Dazu gehören widerstandsfähigere Architekturen mit einer großen Anzahl an Satelliten in verschiedenen Umlaufbahnen, hohe Vernetzung und – wo notwendig – aktiver Schutz durch sogenannte Wächtersatelliten.



Charakteristika der künftigen deutschen Weltraumsicherheitsarchitektur

Resilienz und Redundanz:

Die Weltraumsicherheitsstrategie der Bundesregierung sichert die deutschen Interessen im Weltraum. Der Erfolg hängt von der konsequenten Umsetzung der Investitionen, der Entwicklung innovativer Fähigkeiten und der Gewinnung qualifizierten Personals ab. Es bedarf einer ganzheitlichen Steuerungsebene, die alle Ebenen und Akteure miteinander verbindet, um eine synchronisierte, redundante, flexible und interoperable militärische Gesamtarchitektur im Weltraum zu gestalten.

Internationale Zusammenarbeit:

Die Sicherheit im Weltraum ist eine globale Herausforderung, die nur mit internationalen Partnern bewältigt werden kann. Der gemeinsame Austausch von Daten und Informationen sowie die Entwicklung gemeinsamer operativer Grundsätze sind dabei wesentliche Elemente. Die Bundesregierung setzt sich zudem für eine verantwortungsvolle Nutzung des Weltraums und die Einhaltung des Völkerrechts ein.

Die Umsetzung

Die großen Investitionen, die bis 2030 insgesamt **35 Milliarden Euro** betragen, sind ein elementarer Baustein für den massiven Aus- und Aufbau der Systeme und Fähigkeiten in allen Bereichen. Die Strategie verdeutlicht unmissverständlich, dass die Abhängigkeit von einzelnen, exponierten Systemen ein Risiko darstellt. Auch zukünftig sind solche groß angelegten Projekte notwendig, um bestimmte technische Spezifikationen, wie beispielsweise ein hohes Auflösungsvermögen, überhaupt realisieren zu können. In diesen Bereichen müssen dann Schutzsysteme, wie beispielsweise Wächtersatelliten, eingesetzt werden. Satellitenkonstellationen wiederum bieten andere Möglichkeiten zur Stärkung von Schutz und Resilienz sowie entscheidende Vorteile für militärische Operationen:

1. Resilienz durch Graceful Degradation

Während der Abschuss eines klassischen Aufklärungssatelliten einen *Mission Kill* für das gesamte System bedeuten kann, führt der Ausfall in einer vernetzten Konstellation

aus hunderten Kleinsatelliten lediglich zu einer geringfügigen Leistungsminderung. Die Architektur ist inhärent resilient.

2. Persistenz und geringe Latenz

Militärische Operationen in der heutigen Zeit – von der Drohnensteuerung bis zur vernetzten Operationsführung (*Multi-Domain Operations*) – verlangen Echtzeitdaten. Dies zeigt der Krieg in der Ukraine leider nun schon seit Jahren. Konstellationen im *Low Earth Orbit (LEO)* bieten durch ihre Erdnähe extrem geringe Signallaufzeiten (Latenzen). Zudem ermöglichen sie eine *Revisit Time* im Minutenbereich, was für die dynamische Lageaufklärung unverzichtbar ist.

3. Strategische Souveränität und New Space

Die Bedeutung nationaler und europäischer Eigenständigkeit rückt zunehmend in den Fokus. Kommerzielle Anbieter wie SpaceX mit Starlink bieten Möglichkeiten für Ausweichoptionen. Der Fokus liegt aber klar auf der Erlangung eigener nationaler Fähigkeiten und einer Stärkung der deutschen Industrie. Die Bundeswehr setzt auf ein Ökosystem, das zivile Innovation und militärische Härting vereint.

Wichtigster Treiber ist dabei der Faktor Zeit. Der Fokus verschiebt sich vom perfekten Einzelstück hin zur Massenproduktion hochperformanter Kleinsatelliten, deren intelligenter Vernetzung und der schnellen Verbringung in den Orbit.

Umsetzung in den einzelnen Bereichen

Die zukünftige Weltraumarchitektur der Bundeswehr wird aus mehreren vernetzten Konstellationen bestehen, die jeweils spezifische Aufgaben erfüllen. Dazu gehören unter anderem eine Datentransportkonstellation für globale Kommunikations- und Datenvernetzung, die verbesserte Satellitenkommunikationsfähigkeiten integriert, eine Frühwarn- und Zielverfolgungskonstellation zur präzisen Überwachung von Zielen in allen Höhen- und Geschwindigkeitsbereichen, eine Zielbeobachtungskonstellation zur dauerhaften Erfassung und

Verfolgung potenzieller Gefahren sowie Fähigkeiten zur Verteidigung und Abschreckung. Diese werden ergänzt durch eine Entscheidungsunterstützung auf taktischer, operativer und strategischer Ebene, einschließlich eines Satellitenbetriebs- und Kontrollzentrums. Jede Konstellation nutzt spezialisierte Sensoren, Kommunikationsmodule und autonome Funktionen, die zusammen ein hochgradig integriertes, missionsübergreifendes Gesamtsystem bilden.

1. Weltraumlage (SDA): Die Basis

Ohne präzise SDA ist jede militärische Operation im All ein Blindflug. Angesichts tausender Trümmerteile und potenziell unkooperativer Akteure investiert Deutschland massiv in bodengestützte Sensorik. Dazu zählen Weltraumüberwachungsradare, Teleskope und Laserranger, die ein globales Sensornetzwerk bilden werden. Perspektivisch müssen diese bodengebundenen Sensoren durch raumgestützte Sensoren in Konstellationen ergänzt werden, um auch kleinteilige Bedrohungen oder schnelle Lageänderungen nahezu in Echtzeit erfassen zu können.

2. Satellitenkommunikation (SATCOM): Das gehärtete Nervensystem

Sichere Kommunikation ist die Lebensader moderner Streitkräfte. Zur Umsetzung gehört die Modernisierung des satellitengestützten Kommunikationssystems im Bodensegment und Steuerungs- und Überwachungssystem sowie in der Beschaffung von neuen geostationären Kommunikationssatelliten. Die Bundeswehr möchte zukünftig mit technologisch fortschrittlichen Kommunikationssatelliten ihre weltweite Führungsfähigkeit und Informationsversorgung eigener und befreundeter Truppen- und Einsatzkontingente nicht nur sicherstellen, sondern ausbauen. Kernstück des Maßnahmenpakets im Bereich der Satelli-

tenkommunikation ist eine bundeswehreigene Satellitenkonstellation. Sie dient als Rückgrat dieser vollvernetzten *Multi-Orbit-Architektur*.

3. Weltraumgestützte Frühwarnung:

Schutz vor einem breiten Spektrum an Bedrohungen

Klassische radargestützte Frühwarnsysteme stoßen hinsichtlich Entdeckungsreichweite sowie Zielverfolgung und -voreinweisung, insbesondere bei modernen Hyperschallgleitern, an ihre Grenzen. Die Strategie sieht daher den Aufbau von Konstellationen sowohl im *Geostationary Earth Orbit (GEO)* als auch im *Medium* und *Low Earth Orbit (MEO/LEO)* vor, um gegnerische Raketenstarts frühzeitig zu entdecken und deren Flugweg kontinuierlich zu verfolgen. Da diese Bedrohungen tief in der Atmosphäre fliegen, ist eine kontinuierliche Überwachung aus dem MEO/LEO essenziell, um die notwendigen Vorwarnzeiten für Raketenabwehr und Bevölkerungsschutz zu generieren.

4. Multimodale Aufklärung:

Aufklärung im gesamten Spektrum

Die Bundeswehr setzt auf einen Mix aus Radar, Optik und Signalerfassung (*SIGINT*):

- **Radar:** Ermöglicht die Aufklärung tageszeit- und wetterunabhängig
- **Optik:** Liefert die notwendige Identifizierung und Detailtiefe
- **SIGINT:** Erfasst elektromagnetische Emissionen des Gegners direkt aus dem All

Eine ausreichende Anzahl von Sensoren im Mix und deren Vernetzung sowie die Möglichkeit der Datenfusion garantieren eine lückenlose Persistenz, eine exakte Identifizierung und schnelle Reaktion.



In Meßstetten, Baden-Württemberg, entstehen zwei hochmoderne Teleskopsysteme, die es ermöglichen, Objekte im Orbit präzise zu überwachen

5. Launch: Logistik gewinnt Kriege

Resilienz bedeutet auch, Verluste ersetzen zu können. Agilität erhöht die Überlebensfähigkeit der Systeme im All und wird bei zunehmender Anzahl an Objekten im Orbit immer entscheidender, verkürzt aber durch höheren Treibstoffverbrauch die Lebenszeit. Auch ist es notwendig, Satelliten in Konstellationen regelmäßig zu ersetzen bzw. zu erneuern. Startkampagnen mit Schwerlastenträgern werden die Hauptlast tragen.

Responsive Launch, also die Fähigkeit, Ersatzsatelliten innerhalb von Tagen oder sogar Stunden in den Orbit zu bringen, ergänzt die logistische Strategie. Deutsche Microlauncher-Start-ups spielen hierbei eine Schlüsselrolle: Mobile Startrampen und standardisierte Satellitenbusse sind eine Art Versicherungspolice der Bundeswehr gegen gezielte Angriffe auf die Weltrauminfrastruktur.

Langfristig kann *On-Orbit-Servicing*, die Wartung im All, die Lebensdauer der Satelliten zusätzlich erhöhen.

6. Counter-Space-Fähigkeiten:

Verteidigung in der Grauzone

Sicherheit bedeutet auch, gegnerische Kapazitäten stören zu können, ohne einen offenen Krieg zu provozieren. Hierbei geht es primär um nicht-kinetische Wirkmittel:

- **Jamming & Spoofing:** Gezielte Störung gegnerischer Signale.
- **Dazzling:** Das Blenden optischer Sensoren mittels Laser.
- **RPO (Rendezvous and Proximity Operations):** Die Fähigkeit, sich aktiv anderen Objekten zu nähern – sei es zur Inspektion, zur Reparatur eigener Systeme oder zur Neutalisierung von Bedrohungen durch Wächtersatelliten.

7. Satellitenbetrieb:

Vom Einzelstück zum Flottenmanagement

Der klassische Satellitenbetrieb war bisher auf Langlebigkeit und maximale Vorsicht für geringe Stückzahlen ausgelegt. Durch unterschiedliche Hersteller und fehlende einheitliche Vorgaben war eine Standardisierung des Betriebs bisher nicht möglich. Durch Konstellationen und dem Bedarf an militärischen Satellitenoperationen wandelt sich das Bild jedoch:

- **Automatisierung durch KI:** Hunderte Satelliten lassen sich nicht manuell steuern. Mehr Satelliten bedeuten auch mehr Daten, die ausgewertet werden müssen, die an personelle Grenzen stoßen. Der Betrieb der Zukunft wird KI-gestützte Systeme für das *Collision Avoidance Management* und die automatische Telemetrieauswertung nutzen.
- **Mobiler Satellitenbetrieb:** Der Betrieb soll räumlich unabhängig, mobil und durch militärisches Personal gewährleistet werden, mit schnellen Übergaben an andere Einsatzstellen.
- **Cyber-Resilienz:** Jeder Satellit in einer Konstellation stellt ein potenzielles Einfallstor dar. Der operative Fokus verschiebt sich daher massiv in Richtung *Space Cyber Defense*, sodass Operatoren sowohl Netzwerkprotokolle als auch Orbitalmechanik beherrschen müssen.



Erster Testflug der deutschen Spectrum-Rakete von Isar Aerospace am 30. März 2025 im norwegischen Andøya

Der Faktor Mensch:

Operative Komplexität trifft auf „War for Talents“

Die technologische Aufrüstung im All erfordert eine parallele Anpassung der Betriebsphilosophie und der Personaleinbindung. Ohne qualifiziertes Personal und automatisierte Prozesse wird die wachsende Anzahl an Systemen im Orbit schnell zu einer administrativen Herausforderung.

Und dies hängt entscheidend von der Verfügbarkeit von Spezialistinnen und Spezialisten ab:

- **Interdisziplinarität:** Neben klassischen Luft- und Raumfahrtingenieurinnen und -ingenieuren werden Data Scientists, Cybersicherheitsexpertinnen und -experten sowie Softwarearchitektinnen und -architekten für die Arbeit im militärischen oder sicherheitskritischen Kontext gesucht.
- **Arbeitgeber:** Der Pool an Talenten im Raumfahrtbereich ist begrenzt, die Bundeswehr steht dabei in Konkurrenz zu vielen anderen Arbeitgebern.

Fazit

Die Weltraumsicherheitsstrategie der Bundesregierung ist ein wichtiger Schritt zur Sicherung der deutschen Interessen im Weltraum. Der Erfolg hängt von der konsequenten Umsetzung der Investitionen, der Entwicklung innovativer Fähigkeiten und der Gewinnung qualifizierten Personals ab. Es bedarf einer ganzheitlichen Steuerungsebene, die alle Ebenen und Akteure miteinander verbindet, um eine synchronisierte, redundante, flexible und interoperable militärische Gesamtarchitektur im Weltraum zu gestalten. Denn diese bedeutet mehr als eine reine Beschaffung der aufgeführten technischen Systeme.

Mehr Informationen:

bmvg.de/resource/blob/6042578/eb7df89c9b7038d0788fad436bb72e89/weltraumsicherheitsstrategie-2025-de-data.pdf





SARah ist eine direkte Fortführung des SAR-Lupe-Programms und umfasst drei Satelliten und zwei Bodenstationen

Unabhängigkeit im Orbit:

Deutschlands militärische Satelliteninfrastruktur

Nicole Kretschmer & Raphael Havemann, DGLR-Kommunikation

Deutschlands militärische Satellitenmissionen sind ein integraler Bestandteil moderner Operationsführung. Sie liefern nicht nur hochpräzise Aufklärungsdaten in nahezu Echtzeit, sondern sichern auch die unabhängige Handlungsfähigkeit der Bundeswehr in komplexen Einsatzszenarien. Ob strategische Frühwarnung, Zielaufklärung oder geschützte Kommunikation – der Orbit wird zum entscheidenden Operationsraum. Eine Rolle dabei spielt, neben den eigenen, sicherheitspolitischen Zielen Deutschlands, auch wie sich diese Fähigkeiten in die Gesamtstrategie von Bündnissen wie der NATO einfügen.

Moderne Streitkräfte sind heute in hohem Maße von weltraumgestützten Infrastrukturen abhängig. Satelliten liefern hochaufgelöste Aufklärungsdaten, ermöglichen globale, latenzarme Kommunikation und stellen essenzielle Dienste für Navigation und Zeitgebung bereit. Damit sind sie ein integraler Bestandteil vernetzter Operationsführung. Der Weltraum ist damit nicht nur eine unterstützende Dimension, sondern ein zentraler Enabler militärischen Handelns in allen Dimensionen.

Vor diesem Hintergrund erfolgt in Deutschland die militärische Nutzung des Weltraums im Zusammenwirken verschiedener Akteure. Dabei ist das **Weltraumkommando der Bundeswehr** das zentrale Koordinierungselement für die Dauereinsatzaufgabe „Militärische Weltraumnutzung“ und verantwortet insbesondere die Erstellung eines umfassenden militärischen Lagebilds sowie die Planung und Führung von Weltraumoperationen.

Gleichzeitig verändert sich die Struktur der globalen Weltrauminfrastruktur grundlegend. Kommerzielle Akteure gewinnen zunehmend an Bedeutung, während staatliche Abhängigkeiten sichtbar werden.

Vor diesem Hintergrund verfolgen die *Europäische Union* und ihre Mitgliedstaaten, insbesondere Deutschland, den gezielten Aufbau eigenständiger militärischer und Dual-Use-Weltraumfähigkeiten. Programme wie die geplante europäische Satellitenkonstellation *IRIS²* sollen bis in die 2030er-Jahre hinein eine **resiliente Kommunikationsinfrastruktur** bereit-

stellen und so die technologische und operationelle Souveränität Europas stärken.

Sicherheitspolitische Zielsetzungen und Bündniseinbindung

Der russische Angriffskrieg gegen die Ukraine hat die operative Bedeutung satellitengestützter Systeme eindrücklich verdeutlicht. Hochfrequente Lagebilder, präzise Zielkoordinaten und stabile Kommunikationsverbindungen sind zentrale Voraussetzungen moderner Gefechtsführung. Gleichzeitig wurde sichtbar, dass der Zugang zu solchen Daten durch politische, wirtschaftliche oder operative Faktoren eingeschränkt werden kann, wenn er nicht unter eigener Kontrolle steht.

Im Zentrum der nationalen und europäischen Weltraumfähigkeiten steht deshalb das Konzept der **strategischen Souveränität**, also die Fähigkeit, in Krisen- und Konfliktsituationen unabhängig von externen Akteuren auf kritische Infrastrukturen zugreifen zu können. Darüber hinaus erfüllen Weltraumfähigkeiten eine wichtige Funktion im Kontext militärischer Abschreckung. Die Fähigkeit zur persistenten Aufklärung, zur Detektion gegnerischer Aktivitäten sowie zur Sicherstellung robuster Führungs- und Kommunikationsstrukturen erhöht die Handlungsfähigkeit und reduziert operative Risiken. Parallel dazu gewinnt der Weltraum als eigenständige militärische Domäne an Bedeutung.

Diese Entwicklungen sind eng mit der strategischen Ausrichtung der NATO verknüpft, die den **Weltraum** seit 2019 als **eigenständigen Operationsraum** anerkennt. Nationale Fähigkeiten werden dabei gezielt in Bündnisstrukturen integriert, etwa zur Erstellung eines gemeinsamen Weltraumlagebilds oder zur Unterstützung multinationaler Operationen. **Deutschland** verfolgt in diesem Kontext einen dualen Ansatz: Einer-

seits sollen kritische Fähigkeiten national verfügbar bleiben, andererseits müssen sie interoperabel und bündnisfähig gestaltet werden. Zugleich ist der Ausbau eigener Kapazitäten Teil einer Stärkung der europäischen Säule innerhalb der NATO.

Nationale Aufklärungsfähigkeiten: SAR-Lupe

Die Entwicklung eigenständiger deutscher Aufklärungssysteme reicht bis in die späten 1990er-Jahre zurück. Mit dem **SAR-Lupe-System** etablierte die Bundeswehr erstmals eine unabhängige Fähigkeit zur **radarbasierten Erdbeobachtung**. Die fünf baugleichen Satelliten bewegen sich auf polnahen Umlaufbahnen in einer Höhe von 500 Kilometern, um eine optimale Abdeckung zu gewährleisten. Der erste der fünf Satelliten des Bremer Raumfahrtunternehmens **OHB** wurde 2006 ins All gebracht. Seit 2008 ist das gesamte System inklusive der Bodenstation voll funktionsfähig.

Die zugrundeliegende **SAR-Technologie** (*Synthetic Aperture Radar*) basiert auf der Verwendung eines Radars mit synthetischer Apertur. Dies ist eine spezielle Radartechnik, bei der mehrere Mikrowellen-Pulse auf die Erde geschickt und deren Echos kombiniert werden, um hochauflösende Satellitenbilder aus großer Entfernung zu erhalten. Aufgrund der besonderen Reflexionseigenschaften von Wasser und Metall lassen sich mit dem Verfahren Infrastrukturen und Waffensysteme gut erfassen. Durch die kohärente Verarbeitung von Radarsignalen entlang der Flugbahn des Satelliten können hochaufgelöste Bilder unabhängig von Tageszeit und Wetterbedingungen erstellt werden – ein besonderer Vorteil gegenüber optischen Systemen. Hinzu kommt, dass mit dem Verfahren auch Bewegungsgeschwindigkeiten von Objekten und Höhenunterschiede im Gelände mit einer hohen Genauigkeit erkannt werden können, was insbesondere für militärische Lagebeurteilungen von Bedeutung ist.



© OHB System

SAR-Lupe ist seit 2007 operativ, seit 2008 steht die volle Leistung zur Verfügung

Eine weitere Besonderheit der SAR-Lupe-Satelliten sind die zwei unterschiedlichen Betriebsmodi, die zwischen großflächiger Erfassung (*Stripmap*) und hochauflösender Zielbeobachtung (*Spotlight*) variieren. Beim **Stripmap-Modus** überfliegen die Satelliten das Gebiet mit einer Geschwindigkeit von sieben Kilometern pro Sekunde und nehmen Bilder in moderater Auflösung auf. Soll hingegen von einem Satelliten ein genaues Ziel anvisiert und beobachtet werden, kann der **Spotlight-Modus** genutzt werden. Dabei dreht sich der Satellit um das Objekt und die Belichtungszeit und die Auflösung der Bilder werden erhöht. Das Drehen des ganzen Satelliten ist notwendig, da die Antenne unbeweglich ist.

Die Steuerung und der Betrieb der Satelliten erfolgen über die entsprechenden Bodenstationen unter Einbindung verschiedener Einrichtungen der Bundeswehr sowie industrieller und ziviler Partner. Das SAR-Lupe-System war ursprünglich für eine Betriebsdauer von zehn Jahren ausgelegt. Nach über 18 Jahren nach der vollständigen Inbetriebnahme sind nicht mehr alle Satelliten im Dienst. SAR-Lupe 3 ist Mitte Januar 2026 wieder in die Atmosphäre eingetreten und verglüht. Die zunehmende Alterung der Systeme sowie technologische Weiterentwicklungen machten jedoch die Entwicklung eines Nachfolgesystems erforderlich.

SARah: Weniger Satelliten, mehr Präzision

Die Nachfolgemission **SARah** besteht aus drei Satelliten, wobei zwei davon auf der SAR-Technologie basieren und ebenfalls von OHB gebaut wurden. Der dritte Satellit stammt von *Airbus Defence and Space* und benutzt die *Phased-Array-Technik*. Bei der die Richtung der ausgestrahlten Wellen geändert werden kann, ohne die Antenne mechanisch zu bewegen. Durch verbesserte Sensorik, optimierte Datenverarbeitung und ein erweitertes Bodensegment – einschließlich zusätzlicher Bodenstationen in Schweden – zielt SARah auf eine deutlich erhöhte Aktualität und Qualität der Aufklärungsdaten ab.

2022 wurde der Phased-Array-Satellit ins All gebracht. 2023 folgten die beiden SAR-Satelliten. Diese brauchten jedoch fast zwei Jahre, um erste brauchbare Bilder zu liefern, da sich die Antennen im All nicht ausfahren ließen. Erst durch aufwendige Flugmanöver konnte OHB die Verklümmung lösen, sodass SARah Mitte 2025 vollständig in Betrieb genommen werden konnte. Durch die notwendigen Manöver soll jedoch viel Treibstoff verbraucht worden sein, wodurch sich die Einsatzzeit der Satelliten verkürzen wird.

Satellitengestützte Kommunikation

Neben der satellitengestützten Aufklärung stellt die sichere Kommunikation eine weitere zentrale Fähigkeit der Bundeswehr im Weltraum dar. Zu diesem Zweck betreibt sie mit *SATCOMBw* ein **eigenes Kommunikationssystem**, das abhörsichere Sprach- und Datenverbindungen sowie Internetzugang gewährleisten soll. Die aktuelle Ausbaustufe (Stufe 2) basiert auf den beiden geostationären Satelliten *COMSATBw-1* und *COMSATBw-2*. Diese befinden sich in einer Höhe von rund 36.000 Kilometern und ermöglichen dadurch eine kontinuierliche Abdeckung definierter Einsatzgebiete, sind jedoch mit



© OHB System

Abschließende Integrationsarbeiten an SAR-Lupe in Bremen für die Umwelttestkampagne und anschließende Integration in die Rakete

vergleichsweise hohen Latenzen verbunden. Jeder Satellit hat eine Masse von etwa 2,4 Tonnen und erreicht, abhängig vom eingesetzten Modem, Übertragungsraten von bis zu 20 Megabit pro Sekunde.

Der Betrieb des Systems erfolgt in Zusammenarbeit mit *Airbus Defence and Space*. Die Satellitenkontrolle übernimmt das *German Space Operations Center (GSOC)* des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)* in Oberpfaffenhofen, während die zugehörigen Bodenstationen unter anderem in Weilheim angesiedelt sind.

Da die Satelliten der Stufe 2 seit 2011 im Einsatz sind, sollen sie ab 2027 durch eine modernisierte dritte Ausbaustufe ersetzt werden. Mit der Entwicklung dieser nächsten Generation wurde ebenfalls *Airbus Defence and Space* durch das *Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw)* beauftragt. Die neuen Systeme sollen eine deutlich höhere Leistungsfähigkeit aufweisen und für eine Betriebsdauer von rund 15 Jahren ausgelegt sein.

SPOCK: Persistente Aufklärung durch Satellitenkonstellationen

Mit dem Projekt **SPOCK** (*Spacesystem for Persistent Operational Tracking*) zeichnet sich ein weiterer Entwicklungsschritt in der deutschen militärischen Weltraumaufklärung ab. Ziel des Systems ist es, die bislang punktuelle oder zeitlich begrenzte satellitengestützte Aufklärung in eine nahezu persistente Überwachung zu überführen.

Kern von SPOCK ist zum derzeitigen Stand eine geplante Konstellation von rund 40 kleinen, standardisierten **Radarsatelliten** im niedrigen Erdorbit (*Low Earth Orbit, LEO*). Durch die hohe Anzahl an Satelliten und deren Umlaufbahnen wird eine erhöhte

Überflugfrequenz erreicht, wodurch sich Zielgebiete in kurzen Zeitabständen erneut erfassen lassen. Im operativen Kontext ermöglicht dies eine kontinuierlichere Verfolgung von Truppenbewegungen und militärischen Aktivitäten – insbesondere in sicherheitspolitisch sensiblen Regionen wie der NATO-Ostflanke oder im Umfeld der deutschen Brigade in Litauen.

SPOCK setzt, ähnlich wie SAR-Lupe und SARah, auf die SAR-Technologie. Die Kombination aus bewährter **Sensortechnologie** und einer skalierbaren **Satellitenarchitektur** stellt jedoch einen Paradigmenwechsel dar: Während frühere Systeme auf wenige, hochkomplexe Plattformen ausgelegt waren, folgt SPOCK dem Ansatz verteilter, redundanter Systeme mit industriell standardisierten Kleinsatelliten. Diese Architektur erhöht nicht nur die Resilienz gegenüber Ausfällen, sondern ermöglicht auch eine flexiblere und schnellere Anpassung der Konstellation.

Ein wesentliches Merkmal des Systems ist zudem das **Betriebsmodell**. Die Satelliten verbleiben im Besitz eines **Joint Ventures** aus *Rheinmetall* und *ICEYE (Rheinmetall ICEYE Space Solutions)*, während die Bundeswehr primär als Nutzerin der bereitgestellten Daten auftritt. Dieses Modell spiegelt den wachsenden Einfluss kommerzieller Akteure im sicherheitsrelevanten Weltraumsegment wider und erlaubt eine beschleunigte Implementierung durch Nutzung bestehender industrieller Kapazitäten. Mit einem potenziellen Auftragsvolumen von bis zu 2,7 Milliarden Euro zählt SPOCK zu den größten aktuellen Rüstungsprojekten im Bereich der weltraumgestützten Aufklärung.

Der Bundesnachrichtendienst setzt auf elektrooptische Aufklärung

Ergänzend zur radarbasierten Aufklärung verfolgt Deutschland mit dem Projekt **GEORG** (*German Electro-Optical Reconnaissance System Germany*) den Aufbau eigener elektrooptischer Fähigkeiten mit empfindlichen Kameras und Infrarot-Sensoren. Der **Bundesnachrichtendienst (BND)** hatte sich bereits 2014 entschieden, eigene Satelliten zu bestellen. Dem war vorausgegangen, dass der Zugriff auf kommerzielle Satellitendaten, unter anderem zu russischen Truppenbewegungen auf der Krim, zeitweise eingeschränkt war. Um dies in Zukunft zu vermeiden, erhielt OHB 2018 den Auftrag für GEORG. Die erste Konstellation von GEORG besteht aus drei Satelliten. Der Start ist für Ende 2026 vorgesehen.

Ausblick

Mit dem Ausbau militärischer Weltraumkapazitäten gehen auch neue Fähigkeitsprofile einher. Neben klassischen Aufklärungs- und Kommunikationssystemen rücken zunehmend **nicht-kinetische Wirkoptionen** in den Fokus. Dies soll Störmaßnahmen (*Jamming*), den Einsatz von Lasern und Eingriffe in elektromagnetische und optische Spektren beinhalten. Auch **Inspektionssatelliten** sind im Gespräch. Dies sind kleine Raumfahrzeuge, die sich anderen Satelliten nähern können. Solche Systeme bewegen sich in einem sicherheitspolitisch sensiblen Bereich, da sie sowohl defensive als auch offensive Anwendungen ermöglichen. Darüber hinaus gibt es bei

Starlink die Kritik, dass *SpaceX* aufgrund der großen Anzahl an Satelliten zu vermehrtem **Weltraummüll** beiträgt. Wie sich die Bundeswehr diesem Thema mit ihren Missionen und geplanten Konstellationen widmen will, ist bisher nicht bekannt.

Deutschland befindet sich in einer Phase grundlegender Neuaufstellung seiner militärischen Weltraumfähigkeiten. Der Ausbau eigenständiger Systeme dient nicht nur der technologischen Modernisierung, sondern ist Ausdruck eines veränderten sicherheitspolitischen Selbstverständnisses. Der Orbit hat sich zu einem strategischen Raum entwickelt, in dem technologische Leistungsfähigkeit, politische Handlungsfähigkeit und militärische Effektivität eng miteinander verknüpft sind. In diesem Kontext wird die Fähigkeit, eigenständig und gleichzeitig im Bündnis zu agieren, zu einem entscheidenden Faktor für zukünftige Sicherheitspolitik. 

Mehr Informationen über SARah:

bundeswehr.de/de/organisation/cyber-und-informationsraum/aktuelles/sarah-ein-enormer-gewinn-fuer-die-aufklaerung-5442966



Mehr Informationen über SATCOMBw:

bundeswehr.de/de/organisation/cyber-und-informationsraum/aktuelles/game-changer-satellitenkommunikation-5983676



FEEL THE FORCE

STAHLWILLE eClick



Wenn Präzision spürbar wird:
Die STAHLWILLE eClick Drehmomentwerkzeuge verbinden die präzise, elektronische Messung mit einem klar fühlbaren »Click«. Für maximale Kontrolle – in jeder Dimension.



qr.stahlwille.com/e66sh4





Dieses Bild hat die Raumfähre Solar Orbiter am 27. März 2022 mit dem Extreme Ultraviolet Imager aufgenommen. Es zeigt die Sonne bei einer Wellenlänge von 17 Nanometern

Das Weltraumsicherheitsprogramm der ESA

Abwehr von Gefahren aus dem All

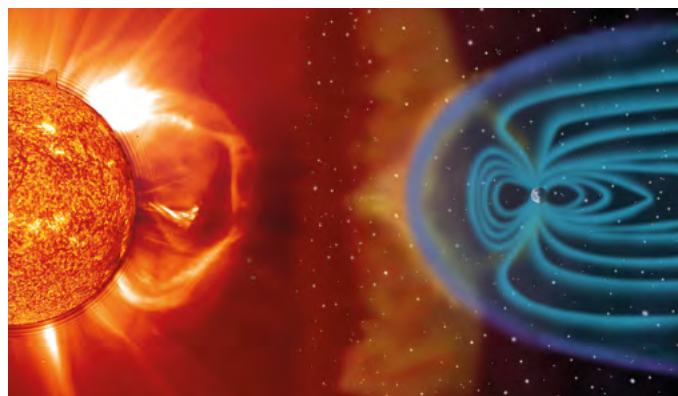
Von Dr. Holger Krag, Space Safety Programme, European Space Agency (ESA)

Das Leben auf der Erde ist seit jeher den Gefahren aus dem Weltall ausgesetzt. Sonneneruptionen und Asteroideneinschläge haben dramatische erdgeschichtliche Wendungen eingeleitet und gefährden die Menschheit und ihre zunehmend komplexe und damit vulnerablere Infrastruktur bis heute. Mit Beginn der Raumfahrt kam noch ein vom Menschen verursachtes Problem hinzu: der Raumfahrtschrott. 2019 haben die ESA-Mitgliedstaaten das Weltraumsicherheitsprogramm (*Space Safety Programme, S2P*) ins Leben gerufen, das sich zum Ziel gesetzt hat, das Leben auf der Erde und die Infrastruktur im All sowie auf dem Boden vor diesen Gefahren zu schützen und damit den Zivilschutz zu gewährleisten. Die dazu notwendige Technik beinhaltet sowohl terrestrische als auch orbitale Technik, die gleichzeitig auch von hohem Nutzen für die Sicherheit im Sinne der Verteidigung und Resilienz (*Dual-Use*) ist.

Weltraumwetter

Das Weltraumwetter beschreibt die physikalischen Bedingungen im Einflussbereich der Sonne. Dazu gehören geladene Teilchenströme (Sonnenwind) und Magnetfelder. Ereignisse wie Sonneneruptionen oder koronale Massenauswürfe können starke Veränderungen im Erdmagnetfeld und der Atmosphäre auslösen. Folgen sind unter anderem Polarlichter, aber auch Störungen von Satelliten, Speicherbausteinen, Navigationssystemen, Funkverbindungen und Stromnetzen. Die letzten Jahre haben gezeigt, wie stark selbst moderate Weltraumwetterereignisse die Erde betreffen. So verlor *SpaceX* 2022 knapp 40 Satelliten, da das Unternehmen unterschätzte, wie stark ein durch die Sonne verursachter geomagnetischer Sturm die Erdatmosphäre verdichten kann. Im Mai 2024 verhinderte ein Sonnensturm den Einsatz GNSS-gesteuerter, autonomer

Die Magnetosphäre der Erde wird durch den anströmenden Sonnenwind geformt



Landwirtschaftsfahrzeuge in den USA, was einen Schaden im mehrstelligen Millionenbereich verursachte. Im November 2025 mussten sich 6.000 A320-Flugzeuge einem Software-Update unterziehen, um die durch hochenergetische Partikel verursachten *bit flips* im *Flight Control Computer* zu umgehen. Ausfälle bei der kritischen Infrastruktur würden heute einen Schaden von schätzungsweise mehreren hundert Milliarden Euro verursachen. Der Ausfall von Satellitennavigation und Kommunikation hätte auch für den Verteidigungssektor fatale Konsequenzen.

Die Antwort auf diese Gefahr besteht aus einer verlässlichen und zeitnahen **Vorhersage** solcher Ereignisse, um rechtzeitig Resilienz für unsere Infrastruktur sicherstellen zu können (ähnlich wie dies heute bereits bei Unwetterwarnungen geschieht). Ausschlaggebend ist dabei die frühzeitige Erfassung von Ereignissen auf der Sonne und im Erdmagnetfeld in Kombination mit Modellen, die die Auswirkungen auf die erdnahe Umgebung prognostizieren. Hierzu wird bereits hervorragende Expertise, verteilt über mehrere Institute und Unternehmen in Europa, im S2P gebündelt. Die Aufgabe der nächsten Jahre wird nun sein, dieses vollständig zu operationalisieren und für verlässliche Messdaten zu sorgen. Letztere sind entscheidend für die Qualität der Vorhersagen.

Eine Schlüsselrolle wird hierbei die **Weltraumwettermission VIGIL** spielen. VIGIL soll 2031 starten und im sogenannten Erde-Sonne-Langrange-Punkt 5 (L5) stationiert werden. Dieser Punkt liegt auf der Erdbahn und verfolgt die Erde bei Ihrer Umkreisung der Sonne im Abstand von rund 150 Millionen Kilometern. Vom L5 aus lassen sich Erde und Sonne „von der Seite“ beobachten. Massenauswürfe aus der Sonnenkorona,

die in Richtung Erde gerichtet sind, können von dort aus frühzeitig entdeckt und ihr Eintreffen auf der Erde vorhergesagt werden. Da solche Massenauswürfe die Erde in weniger als 18 Stunden erreichen können, müssen die Messdaten trotz der großen Distanz nahezu in Echtzeit übertragen werden. Aktive Zonen auf der Sonne, die sich aufgrund der Sonnenrotation um ihre eigene Achse in Richtung der Erde drehen, können von VIGIL bereits drei bis vier Tage vorher entdeckt und beobachtet werden. Dazu verfügt VIGIL über sechs Instrumente, darunter ein vom *Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung* entwickelter Magnetograph. Die US-Behörden **NASA** (*National Aeronautics and Space Administration*) und **NOAA** (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) stellen ebenfalls Schlüsselinstrumente bereit.

Darüber hinaus werden vorhandene Sensoren im All und am Boden in das Netzwerk mit eingebunden. Zudem sind **Kleinmissionen** geplant, die Spezialaspekte abdecken, wie zum Beispiel die *Aurora-C-Konstellation*. Diese wird mit vier Satelliten die Aurora über beiden Polen konstant bei Tag (im extrem violetten Bereich) und Nacht aus großer Höhe beobachten. Die Daten werden in den betroffenen Regionen für verlässliche und hochauflösende Warnungen bei Kommunikations- und GNSS-Ausfall sorgen und sind somit auch für den Verteidigungssektor interessant.

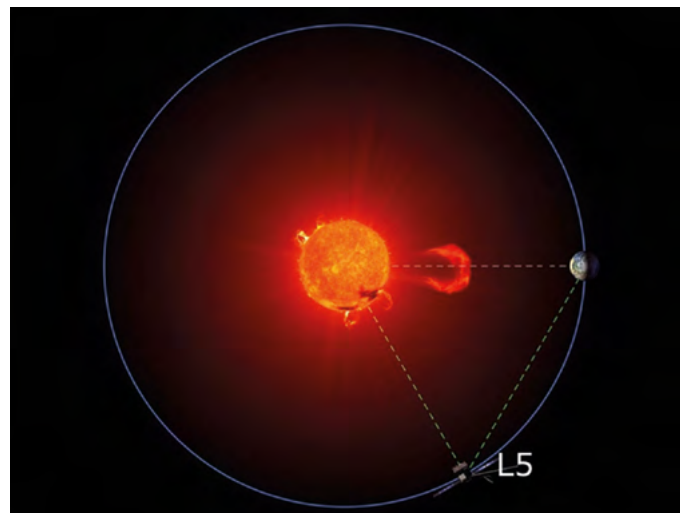
Dieses gesamte operationelle Frühwarnsystem ist auf den Bedarf der Nutzenden aus allen Bereichen (Flugverkehr, Stromnetze, Satellitenbetreiber, Verteidigung, etc.) abgestimmt und die Daten werden auch für einen kommerziellen Downstream-Sektor nutzbar sein.



Potenziell sind zahlreiche Branchen vom Weltraumwetter betroffen, zum Beispiel aufgrund erhöhter Strahlung, die elektronische Systeme beschädigt. Dazu zählen unter anderem weltraumgestützte Telekommunikations-, Rundfunk-, Wetter- und Navigationsdienste, wobei die Auswirkungen von der Logistik bis zum Bankwesen reichen



VIGIL wird Europas erster rund um die Uhr im Einsatz befindlicher Weltraumwetter Satellit sein, der schnelle und präzise Weltraumwetterwarnungen liefert



Positioniert am Lagrange-Punkt L5 wird VIGIL bei bestimmten Weltraumwetterereignissen bis zu vier oder fünf Tage im Voraus warnen können

Asteroiden

Asteroiden sind natürliche Kleinkörper, die die Sonne meist zwischen Mars und Jupiter umkreisen (Hauptgürtel). Durch natürliche Störungen können sie allerdings auch auf Bahnen einschwenken, die näher an die Sonne heranreichen. Zurzeit sind rund **41.000 Objekte** bekannt, die sich dem Erdborbit auf bis zu 0,3 AU (Astronomische Einheit) nähern. Davon schneiden rund 2.000 bekannte Objekte die Erdbahn und erzeugen so eine Kollisionswahrscheinlichkeit.

Kollisionen von natürlichen Körpern mit der Erde sind ein alltäglicher Vorgang. Etwa **50 Tonnen kosmisches Material** treffen pro Tag auf die Erdatmosphäre. Der Großteil in Form von **Millimeter bis Zentimeter** großen Meteoriten, die Sternschnuppen erzeugen können. Objekte um einen Meter Größe treten etwa jährlich auf und können in Teilen den Erdboden erreichen. Im März 2026 ist ein solches Objekt über Westeuropa niedergegangen und hat in Koblenz ein Wohnhaus beschädigt. Objekte **ab zehn Metern** Größe treten einige Male innerhalb einer Menschengeneration auf. Ein Beispiel ist der *Chelyabinsk Meteor* (ca. 20 Meter), der 2013 in Sibirien in der Hochatmosphäre explodiert ist. Die Leuchterscheinung hat die Bevölkerung in der dünn besiedelten Gegend an die Fenster gelockt. Die sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitende Druckwelle traf einige Minuten später ein und führte zu mehr als 1.000 Krankenhauseinweisungen aufgrund von Schnittverletzungen durch zerbrochenes Fensterglas. Objekte, die kleiner als 100 Meter sind, lassen sich nur sehr schwer entdecken. Nur ein kleiner Prozentsatz der geschätzten Population dieser Objekte ist uns heute bekannt.

Objekte **ab einem Kilometer** würden eine globale Katastrophe verursachen, sind aber heute nahezu vollständig bekannt und vermessen, sodass sicher davon ausgegangen werden kann, dass so ein Ereignis in den kommenden Jahrhunderten nicht eintritt. Statistisch gesehen ist mit solch einem Objekt rund alle eine Million Jahre zu rechnen. Objekte **ab zehn Kilometern** Größe, schließlich, sind vollständig bekannt und noch seltener. Ein Einschlag dieser Größenordnung hat vermutlich das Schicksal der Dinosaurier in der Kreidezeit (vor 65 Millionen Jahren) besiegt.

Von großer Relevanz für die Menschheit sind also insbesondere Objekte, die kleiner als ein Kilometer und damit weitgehend unbekannt sind. Ziel des S2P-Programms ist es, ein **Frühwarnsystem** für derartige Ereignisse zu entwickeln, um Zivilschutz durch rechtzeitiges Evakuieren der betroffenen Region zu erreichen. Die Grundvoraussetzung ist eine großflächige, lückenlose Überwachung, durch die unbekannte Asteroiden aufgespürt und bekannte nachvermessen werden. Das **NEO-(Near Earth Object)-Koordinierungszentrum (NEOCC)** übernimmt diese Aufgabe gemeinsam mit Observatorien in Europa im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit. Um die Programmziele vollständig zu erreichen, wurde das **FlyEye-Teleskop** (Fliegenaugen) entwickelt. Es kombiniert einen Primärspiegel von einem Meter Durchmesser mit einem gewaltigen Gesichtsfeld, das dem 200-fachen der Vollmondfläche entspricht. Insgesamt drei solcher Teleskope sind geplant und sollen so verteilt werden, dass sich zu jeder Zeit eines auf der Nachtseite befindet. Das erste Teleskop ist bereits fertiggestellt, wird ausgiebig getestet und soll Anfang 2027 in den Routinebetrieb gehen.

Objekte **ab 150 Metern Größe** verursachen jedoch eine Gefährdung, die sich durch Evakuierung nicht mehr begrenzen lässt. Hier muss die Vorwarnzeit so lang sein (idealerweise mehrere Jahrzehnte), dass eine **Abwehrmission** durchgeführt werden kann, die den Einschlag verhindert. Je früher die Abwehr erfolgt, umso weniger Aufwand ist erforderlich. Denn mit der verbleibenden Zeit zwischen Abwehrmaßnahme und Einschlag baut sich die durch die Abwehr eingebrachte Störung weiter auf. Eine Methode besteht darin, den Impulsübertrag durch den Einschlag einer **Sonde** auf den Asteroiden zu erzeugen. Ein solcher **kinetischer Impact** wurde durch die **DART-Mission** der NASA im September 2022 mit den Doppelasteroiden *Didymos* und *Dimorphos* getestet. *Didymos* ist ein Asteroid, der alle zwölf Stunden von seinem etwa 150 Meter großen Begleiter umkreist wird. DART schlug mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von rund 22.000 Kilometer pro Stunde auf *Dimorphos* ein. Die Umlaufzeit von *Dimorphos* änderte sich dadurch um rund 33 Minuten gegenüber rund zehn Minuten, die aufgrund von Modellrechnungen prognostiziert worden waren. Die große Diskrepanz entsteht durch die Modellannahmen zur Beschaffenheit des Asteroiden und

seiner genauen Masse, die sich nur aus der Nähe aufklären lässt. Um die reaktionsschnelle Inspektion von Asteroiden zu erproben, hat das S2P-Programm die Firma *OHB* mit der *Hera-Mission* beauftragt, die in Rekordzeit (circa vier Jahre von Vertragsabschluss bis Start) entwickelt wurde. Hera verfügt über eine optische und eine Infrarotkamera als Hauptinstrumente sowie zwei Cubesats, die weitere Instrumente tragen und in der Nähe des Asteroiden ausgesetzt werden. Die Mission startete 2024 und fliegt das gleiche Zielsystem (Didymos/Dimorphos) an. Die Daten ermöglichen es, den DART-Test nachzuvollziehen und auf zukünftige Abwehrmission zu übertragen.

Die operationelle Einsatzbereitschaft für solche Aufklärungsmissionen wird auch in der Zukunft bei Asteroiden von noch unbekannter Beschaffenheit zum Einsatz kommen. Der nächste derartige Schritt wird bereits sehr zeitnah mit der Nachfolge-Mission *RAMSES* gegangen. *RAMSES* ist nahezu baugleich mit Hera und entsteht noch einmal deutlich schneller. Die Mission wird gemeinsam mit der japanischen Raumfahrtagentur *JAXA* durchgeführt, die unter anderem auch den Start mit einer *H3-Rakete* bereitstellt. Das Zielobjekt ist der etwa 350 Meter große Asteroid *Apophis*, der die Erde am 13. April 2029 in nur 32.000 Kilometern Entfernung passieren wird. Die außergewöhnlich geringe Entfernung erzeugt starke Gezeitenkräfte, wodurch die Oberfläche von Apophis leicht in Bewegung geraten und Einblick in die innere Beschaffenheit geben könnte. Eine einmalige Gelegenheit für die Nahaufklärung.

Zukünftige Schritte des Programms sind derzeit in Vorbereitung. In diesem Zusammenhang wird ein im ersten Lagrange-Punkt (zwischen Erde und Sonne) stationiertes Infrarotteleskop studiert, dass die Beobachtungslücke von

erdgebunden Teleskopen schließen soll. In Frage kommt auch die Erprobung einer alternativen Abwehrmethode mittels Bestrahlung durch Ionentriebwerke.

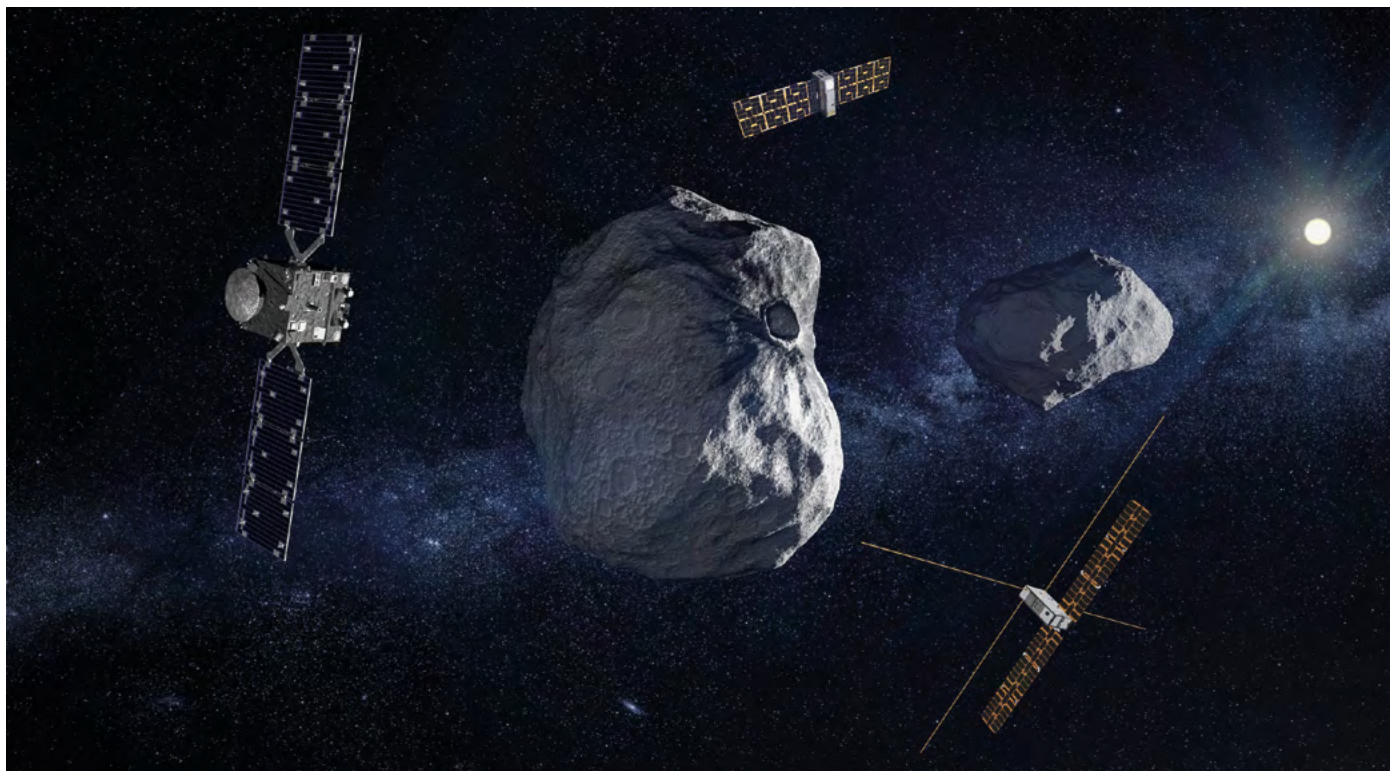
Raumfahrtschrott

Der erdnahe Weltraum hat nur ein sehr begrenztes Volumen, wird aber zunehmend beansprucht. Mehr als 90 Prozent der heute gestarteten Satelliten teilen sich die Höhenschale zwischen 200 und 2.000 Kilometern. Nach Ende des Betriebs behalten auch abgeschaltete Satelliten und Raketenstufen ihre Umlaufbahn bei, solange nicht ein Manöver vorher die Bahnhöhe aktiv absenkt. Das gleiche gilt auch für Teile, die sich von Raketenstufen und Satelliten ablösen. Leider bleiben Objekte unter den extremen Bedingungen im Weltall im abgeschalteten Zustand nicht unbedingt intakt. Vielmehr wurde in bereits mehr als 600 Fällen beobachtet, dass sie sich, teilweise explosiv, zerlegen. Die Ursache dafür liegt in an Bord verbliebenen Resttreibstoffen und Ladung in Batterien. Dabei entsteht eine große Zahl von Trümmern, die heute den erdnahen Weltraum dominieren. Dabei hat die hohe **orbitale Geschwindigkeit** bei Kollisionen mit unseren Satelliten fatale Auswirkungen. Bei durchschnittlichen Einschlaggeschwindigkeiten von 40.000 Kilometern pro Stunde entfaltet ein Objekt von nur einem Zentimeter Durchmesser die 100-fache Energie einer einschlagenden Gewehrkugel. Wertvolle orbitale Infrastruktur geht also durch Raumfahrtschrott verloren, wobei zusätzliche Trümmer erzeugt werden, die das Problem weiter vergrößern. 2009 kam es zu einem fatalen Zusammenstoß zwischen einem noch aktivem *Iridium-Satelliten* und einem ausgedienten *KOSMOS-Satelliten*, der mehr als 2.000 messbare Fragmente hinterließ.

© ESA



Besichtigung des neuen FlyEye-Teleskops der ESA zur Asteroidenjagd im Werk in Matera, Italien, wo es seine abschließende Testphase durchläuft



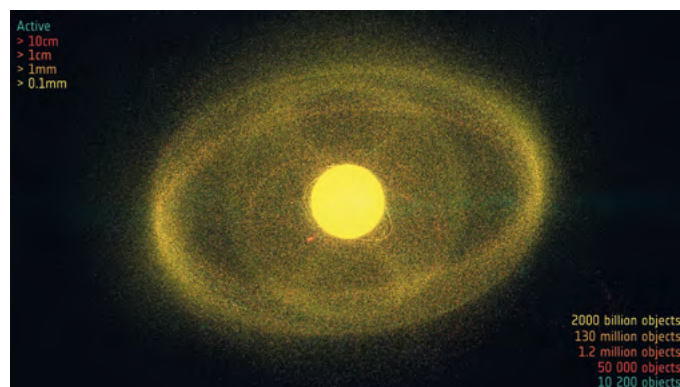
Die Hera-Mission ist im Oktober 2024 gestartet und soll voraussichtlich im November 2026 das Doppelasteroidensystem Didymos erreichen

Für eine **Entsorgung** auf natürlichem Weg sorgt nur die Erdatmosphäre durch Abbremsung, die allerdings nur bis rund 800 Kilometer Höhe wirksam ist. Schon heute wird davon ausgegangen, dass die jährlich neu erzeugten Trümmer die Zahl der von der Atmosphäre zum Wiedereintritt gezwungenen Objekte auch ohne weitere Raketenstarts übersteigt. Zurzeit wird von **1,2 Millionen Objekten** von mehr als einem Zentimeter Größe ausgegangen. Davon können nur die größten (derzeit etwa 45.000) systematisch vom Boden aus sensorisch erfasst werden. Die dabei gewonnenen Daten erlauben, mögliche Kollision wenigstens zwischen den größten Objekten früh zu erkennen und gegebenenfalls Ausweichmanöver einzuleiten. Statistisch gesehen passiert das rund ein- bis zweimal pro Jahr und Satellit mit steigender Tendenz.

Internationale Verabredungen zu Vermeidungsmaßnahmen existieren schon seit Beginn des Jahrtausends und finden sich meist sogar in verbindlicher Form in nationalen Weltraumgesetzen wieder. Dabei spielen vor allem **zwei Maßnahmen** eine Schlüsselrolle: Das Passivieren der Energieträger an Bord (Leeren von Treibstofftanks, Entladen von Batterien) und das Entsorgen des Objekts selbst durch ein Manöver, das die Bahnhöhe auf deutlich unter 600 Kilometer reduziert, von wo aus die Atmosphäre das Objekt innerhalb weniger Jahre zum Wiedereintritt zwingt. Die technischen Redundanzen unserer Satellitenplattform reichen heute allerdings noch nicht aus, um nach fünf bis zehn Jahren Betrieb solche Maßnahmen zuverlässig umzusetzen. Oft endet der Betrieb durch den Ausfall einer Schlüsselkomponente, was dann auch die Passivierung und Entsorgung verhindert – auch wenn genug Ressourcen dafür an Bord wären.

Hier setzt das S2P-Programm an, in dem gemeinsam mit der europäischen Industrie eine neue Generation von **Plattformen** und **Onboard-Lösungen** (beispielsweise Drag-Sails) entwickelt

wird. Diese Lösungen werden allerdings noch keine 100-prozentige Erfolgsrate nach sich ziehen. Die verbleibende Lücke kann nur durch das aktive Entfernen der nicht entsorgten Objekte erfolgen. Das erfordert ein Service-Vehikel, das sich einem nicht kontrollierten Objekt nähern, es sicher greifen und mit ihm gemeinsam eine Bahnhöhenabsenkung durchführen kann. Eine zukünftige Regelung könnte eine solche nachträgliche Entsorgung verpflichtend machen. Da sie nur in seltenen Fällen zum Einsatz kommt, könnten die Kosten über eine vor dem Start abgeschlossene Versicherung mit vertretbaren Prämien abgewickelt werden. Das würde gleichzeitig zu einem Markt für Anbieter einer solchen Entsorgungsdienstleistung führen. Bevor sich Gesetzgeber allerdings auf eine solche Regelung einlassen, muss die Technik im All erfolgreich demonstriert werden. Diese Aufgabe wird die Mission **Clearspace-1** im Jahr 2030 übernehmen. Der etwa 100 Kilogramm schwere ESA-Satellit *Proba-1* dient hierbei als Zielobjekt. Die Mission wird von OHB geführt und das Schweizer Unternehmen *Clearspace*



Durch die hohe Anzahl Satelliten im Orbit und den jährlich neuen Starts, werden Kollisionen im Weltraum und umherfliegende Fragmente von Weltraummüll zur Bedrohung

stellt den vierarmigen Umklammerungsmechanismus bereit. PROBA-1 wurde 2001 gestartet, ist nicht auf sein Einfangen vorbereitet und wird sich komplett passiv verhalten. Somit ergibt sich mit Clearspace-1 auch automatisch die Gelegenheit, die Inspektion eines anderen nicht-kooperativen Objekts inklusive Umfliegen zu erproben. Dieser Schritt ist auch von großer Relevanz für die nationale militärische Raumfahrt.

Mit der erprobten Technologie bietet sich auch die Möglichkeit, noch funktionierende Satelliten einzufangen und deren Mission zu verlängern. Zunächst kann dies durch Übernahme der Lage und Bahnkontrolle mittels des andockten Vehikels geschehen, in einem späteren Schritt auch durch Wiederbetankung. Große Kommunikationssatelliten auf der geostationären Bahn wiegen oft mehrere Tonnen und haben auch nach Jahren noch gewinnbringende Transponder im Einsatz, während der Satellit kosten-technisch oft bereits komplett abgeschrieben ist. Jedoch begrenzen der vorhandene Treibstoff und Plattformredundanzen seine Lebensdauer. Eine Dienstleistung, die die Missionsdauer verlängert, würde sich daher kommerziell tragen. Die Mission *RISE* wird dieses in Europa zum ersten Mal gemeinsam mit einem Kundensatelliten in der geostationären Bahn durchführen. Der Hauptauftragnehmer *D-Orbit* aus Italien finanziert die Mission privat mit und verlässt sich auf Robotik aus Deutschland. Die Vision einer Dienstleistungsinfrastruktur im All wird auch von der *Europäischen Kommission (ISOS, In-Space Operations and Services)* geteilt und soll partnerschaftlich umgesetzt werden.



© ESA

RISE ist eine kommerzielle Mission unter der Leitung von D-Orbit, die das Andocken und Kontrollieren eines geostationären Client-Satelliten zur Verlängerung seiner Mission demonstrieren soll

Das S2P-Programm wurde bei der Ministerratskonferenz im November 2025 für die nächsten drei Jahre mit rund **950 Millionen** gezeichnet, darunter rund 23 Prozent aus Deutschland. Dieses starke Mandat wird es dem Programm erlauben, die oben genannten Missionen umzusetzen. Insgesamt wird greifbar, dass wir in naher Zukunft die erste Generation von Leben auf der Erde sind, die sich Gefahren aus dem Weltraum wirksam entgegenstellen kann.





Sicher. Verbunden. Jederzeit.





AUFKLÄRUNG



KOMMUNIKATION



NAVIGATION

Ihr Systemhaus für die Dimension Raum.

We. Create. Space.

Anzeige



Wargames, hier an der Führungsakademie der Bundeswehr gespielt, helfen dabei, sich mit Zukunftsszenarien auseinanderzusetzen und Strategien spielerisch zu testen

„Der Weltraum ist grenzenlos – genau das macht Wargaming dort so schwierig“

Interview mit Christian Nitzl

Wargaming erlebt in Militär und Sicherheitsforschung eine Renaissance. Christian Nitzl, Forschungsbereichsleiter am Center for Intelligence and Security Studies (CISS), erklärt, warum preußische Kriegsspielmethoden wieder relevant werden, was Weltraumszenarien besonders macht und warum künstliche Intelligenz (KI) im Wargaming schneller eskalieren könnte als der Mensch.

Wargaming erlebt in Deutschland eine Renaissance. Die Bundeswehr hat 2024 ein Wargaming-Handbuch veröffentlicht, die NATO führt seitdem eine eigene Wargaming-Initiative durch. Warum besinnen sich Militärs wieder auf das 200 Jahre alte preußische Kriegsspiel?

► **Christian Nitzl:** Man kann an der Entstehungsgeschichte gut sehen, warum das von Reisswitzsche Kriegsspiel aus dem Jahr 1824 jetzt wiederkommt. Damals führte die preußische Armee nach den Napoleonischen Kriegen Reformen in der Ausbildung und Planung durch, in deren Kontext das Spiel entstand. Ich glaube, es ist ein Phänomen der Zeit, dass wir uns heute wieder mehr damit beschäftigen.

Wohin entwickelt sich das Phänomen Wargaming aktuell?

► **Georg Heinrich Rudolf Johann von Reisswitz** war innovativ, er nutzte neu aufkommende topographische Landkarten. Heute denken wir geostrategisch viel weiter, beispielsweise bis nach Asien. Die Szenarien ändern sich je nach Spiel, etwa mit Fokus auf die Ostsee. Zudem verändern technologische Entwicklungen die Militärstrategie: Man agiert weniger mit großen Einheiten, sondern eher in kleinen Gruppen. Das stellt enorme Herausforderungen an die Steuerung und die Fähigkeiten, was sich in den Militärdoktrinen widerspiegeln muss. Wargaming dient hier als Tool, um herauszufinden, was diese Entwicklungen, etwa in der Ukraine, konkret für uns bedeuten.

Militärexperten prophezeien: Zukünftige Kriege werden nicht im Weltraum gewonnen, können dort aber verloren werden. Was weiß die Wissenschaft über Wargaming im All?

► Forschungstechnisch ist mir in diesem Bereich kaum etwas bekannt. Aber da in der Raumfahrt eine Null-Fehler-Toleranz herrscht und Tests extrem ressourcenintensiv sind, muss man zwangsläufig mit Simulationen arbeiten, um Systeme so

ausgereift wie möglich zu machen. Ein europäisches Beispiel: Das *UK Space Command* hat *Space Warrior* ins Leben gerufen ...

... darin proben **Teilnehmende, wie kommerzielle weltraumgestützte Überwachungs- und Aufklärungssysteme mit den orbitalen Fähigkeiten des Verteidigungsministeriums zusammenarbeiten.**

► Die große Herausforderung ist, dass der Weltraum grenzenlos ist. Da gibt es keinen Bereich für einzelne Nationen. Und: Ein Schaden oder eine Störung dort – sei es durch einen Krieg oder einen Sonnensturm – hätte fatale Auswirkungen auf die Wirtschaft und das Leben am Boden, ohne dass dort gleich ein Mensch sterben muss. In Deutschland wird das Thema durch das Weltraumkommando der Bundeswehr und das *Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum* in Oberpfaffenhofen zunehmend erkannt.

Das französische Militär hat mit AsterX eine Simulation in einer Weltraumumgebung durchgeführt, unterstützt durch reale Daten der ArianeGroup. Wie wichtig sind diese für das Gelingen eines Wargamings?

► Bei technischen Systemen ist es essenziell, so viele echte Daten wie möglich zu nutzen. In zukünftigen Szenarien fehlen diese Daten jedoch oft. Während man Flugbahnen von Raketen naturwissenschaftlich simulieren kann, bleibt der Mensch eine Blackbox. Wir kommen aus der Intelligence-Forschung und wissen, dass man Fähigkeiten relativ einfach abbilden kann, aber Intentionen und Entscheidungsabläufe von Menschen schwer zu simulieren sind. Hier sind Expertinnen und Experten die wichtigsten Datenlieferanten, um zu verstehen, was in den Köpfen vorgeht.

In Ihrer Studie „Wargaming: Das ist kein Spiel“ (CISS, 2025) schreiben Sie, Wargaming würde in der Praxis viele Vorteile zugeschrieben, teils sogar, dass es Leben retten könne. Aber: Dafür fehlten wissenschaftlich fundierte Untersuchungen.

► Ja, das Thema ist sehr praxisgetrieben. Wissenschaftliche Experimente zur Wirkung von Wargaming sind selten. Wargaming ist eigentlich ein Schlagwort für Bereiche wie Planspiele oder Krisensimulationen. Wir wissen aus der Forschung zu *Gamification* und *Serious Games*, dass spielerische Elemente das Lernen durch den Erlebnisanteil unterstützen können. Es gibt auch Belege, dass Spiele als Teambuildingmaßnahme die spätere Projektperformance steigern. Aber ob Wargaming wirklich dabei hilft, bessere oder resilientere strategische Pläne für Kriegsgeschehen zu entwerfen, dahinter würde ich ein großes Fragezeichen setzen. Wir wissen es schlichtweg noch nicht sicher.

Gibt es außer dem Spaß und dem Teambuilding weitere edukative Effekte?

► Man lernt sich kennen und weiß im Ernstfall, wen man anrufen muss. Ein geleitetes Spiel ist oft effektiver als ein Meeting, weil man Probleme punktorientiert angeht. Wissenschaftlich interessiert uns vor allem die Verbesserung der Entscheidungsqualität. Wir wollen kognitiven Verzerrungen entgegenwirken, wie etwa übermäßigem Optimismus, der im militärischen Konflikt Menschenleben kosten kann.

Wie begegnet ein gutes Wargame einem Phänomen wie dem Dunning-Kruger-Effekt – Laien neigen zur Überschätzung des eigenen Wissens?

► Das hängt von der Moderation ab. Sie muss kritische Fragen stellen: „Ist diese Einschätzung realistisch? Hast du bedacht, dass der Boden dort schlammig sein könnte?“ Andererseits kann ein Spiel auch falsche Sicherheit vermitteln, wenn man vergisst, dass tausend Faktoren, die im Spiel nicht abgebildet wurden, in der Realität den Plan zunichtemachen können.

Im Interview



© Clean Aviation

Christian Nitzl leitet den Forschungsbereich *Wargaming und Information Systems* am *Center for Intelligence and Security Studies (CISS)*. Zudem ist er Professor an der Fakultät für Wirtschafts- und Organisationswissenschaften an der Universität der Bundeswehr München.

Seine **Forschung** verbindet Informationssysteme, Entscheidungsprozesse und Wargaming.

Während man Flugbahnen von Raketen simulieren kann, bleibt der Mensch eine Blackbox.



Geben Sie uns ein Beispiel.

Unser Wargame „Wenn Russland gewinnt“ basiert auf einem Buch, das ein Szenario bis 2029 durchspielt, in dem Russland erneut angreifen könnte. Wir schauen uns an, welche verschiedenen Verläufe das Szenario nehmen kann. Es ist interessant zu sehen, wie politische Faktoren – etwa nachlassende Unterstützung für die Ukraine durch populistische Regierungen in Europa – das gesamte Szenario verändern. In unseren Spieldurchläufen hat sich nur selten eine erfolgreiche Kooperation gegen die Bedrohung aus dem Osten entwickelt.

Wenn ein Soldat erst stundenlang Regeln lernen muss, leidet der Lerneffekt.

Was braucht ein Wargame, um Entscheidungskompetenz zu vermitteln?

Es braucht eine realitätsnahe Einbettung. Die Herausforderung ist, die wirklich entscheidungsrelevanten Faktoren abzubilden, ohne den Spieler durch zu komplexe Regeln zu überfordern. Wenn ein Soldat erst stundenlang Regeln lernen muss, leidet der Lerneffekt. Man muss eine Balance finden zwischen der Komplexität der Welt und dem spielerischen Charakter.

Welche Regeln müsste ich für „Wenn Russland gewinnt“ lernen?

Es ist ein „Seminar-“ oder „Matrix-Wargame“. Es gibt Ressourcen und die Spieler müssen auf Ereignisse reagieren. Wichtig ist die Interaktion: Ein russischer Spieler könnte beispielsweise einen Anschlag auf eine Fabrik für Seltene Erden in Schweden verüben und behaupten, es sei ein Unfall gewesen. Viele Spieler haben anfangs gar nicht auf dem Schirm, dass eine feindliche Partei bewusst versucht, demokratische Gegebenheiten zu stören.

Sie forschen zum Einsatz von KI im Militär. In einem Experiment ließen Sie und Ihre Kollegen zwei Gruppen auf Basis von 50 Medienberichten Lageberichte erstellen. Ergebnis: Die Testgruppe erreichte mit KI auch unter Zeitdruck Experten-niveau. Was fehlt diesem Test-Setup noch, um als Wargame zu gelten?

Man könnte unser Experiment bereits als Wargaming definieren. Ich spreche von Wargaming, wenn es eine Gegenpartei gibt und wenn Entscheidungen Konsequenzen haben, auf die man wieder reagieren muss. Dieser Kreislauf ist entscheidend.

Welche Rolle wird KI im Wargaming der Zukunft spielen?

KI wird bereits eingesetzt, besonders bei nuklearen Wargames. Dabei hat man festgestellt, dass eine KI wesentlich schneller bereit ist, den „roten Knopf“ zu drücken. [7] Eine KI hat keine Ethik, kein Risikoempfinden und keine Todesangst. Sie agiert rein rational, was sie in diesem Kontext fast wie einen Psychopathen wirken lässt. In Zukunft kann KI überall eine Rolle spielen: in der Vorbereitung von Szenarien, als Gegenspieler oder sogar als virtuelle Moderatorin, die Fragen beantwortet. 

Das Interview führte Maximilian Gaub, Magazin Manufaktur



Deutsche Gesellschaft
für Luft- und Raumfahrt
Lilienthal-Oberth e.V.



100

STUDIERENDE AKTION 2026

BEWERBT EUCH BIS

17.07.2026

UNTER



DLRK.DE

DLRK²⁰²⁶

DEUTSCHER LUFT- UND RAUMFAHRTKONGRESS

8. - 10.09.2026 | AACHEN

Gemein-
sam mit **Rolls-Royce**
ermöglicht die **Deutsche Gesell-
schaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR)** ein-
hundert Studierenden den kostenlosen Besuch des **Deut-
schen Luft- und Raumfahrtkongresses (DLRK)** vom
8. bis 10. September 2026 in Aachen.

Angesprochen sind Studierende mit Bezug zur Luft- und Raumfahrt sowie aus verwandten technischen und naturwissenschaftlichen Studiengängen. Dazu zählen insbesondere Luft- und Raumfahrttechnik, Maschinenbau, Elektrotechnik, Informatik, Mechatronik, Materialwissenschaften, Physik sowie weitere ingenieurwissenschaftliche Disziplinen mit Anknüpfungspunkten zur Luft- und Raumfahrt. Studierende an Hochschulen im deutschsprachigen Raum können sich bis zum 17. Juli 2026 für ein Kongressticket bewerben.

Studierende, die ein Kongressticket (berechtigt zum Besuch des gesamten wissenschaftlichen Vortragsprogramms) gewinnen, erhalten einen Freischaltcode für die kostenlose Registrierung.

Rolls-Royce lädt zudem die Gewinnerinnen und Gewinner zu einem Sondervortrag mit anschließender Frage- und Antwortrunde ein, um sich mit den Antriebsexpertinnen und -experten von **Rolls-Royce** auszutauschen.



Termine von Juni bis November 2026

4.6. Würzburg | DGLR-Bezirksgruppe Würzburg
Stammtisch der DGLR-Bezirksgruppe Würzburg
Austausch zu aktuellen Themen und Fragestellungen

8.-11.6. Nürnberg

ETTC 2026

European Test and Telemetry Conference

9.6. Bonn | Ringvorlesung Uni Bonn

Vortrag: The Eye in the Sky – Wie Europas Satelliten Wetterphänomene und Klimawandel erfassen

Referent: Dr. Peter Dueben, Abteilungsleiter für Erdsystemmodellierung am Europäischem Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW)

10.-14.6. Berlin

ILA Berlin 2026

Die ILA Berlin bringt alle zwei Jahre die weltweite Luft- und Raumfahrt in die Mitte Europas

12.6. Berlin | DGLR-Bezirksgruppe Leipzig

Gemeinsamer Besuch der ILA 2026

Anmeldung erforderlich (ab 28.3.2026)

16.6. Bonn | Ringvorlesung Uni Bonn

Vortrag: Zurück zum Mond – Europas nächster großer Schritt im All

Referent: Maria Hallinger, Wissenschaftliche Mitarbeiterin beim LUNA-Projekt am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

16.-18.6. Göttingen

21st International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics (IFASD)

IFASD is the most important event for engineers and researchers working in the fields of Aeroelasticity and Structural Dynamics

18.6. Köln | DGLR-Bezirksgruppe Köln-Bonn

Vortrag: Navigating Debris: Cosmic Stories of Cooperation, Conflict, and Chaos

Referent: Dr. Vitali Braun @ ESA/ESOC Space Debris Office

23.6. Bonn | Ringvorlesung Uni Bonn

Vortrag: Raumfahrtmedizinische Forschung am Boden für das Leben in Schwerelosigkeit

Referent: Dr. Stefan Möstl, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Bereich der Luft- und Raumfahrtmedizin

23.-24.6. Berlin

DGLR-Weiterbildung:

Satellitenkommunikation – Praktische Grundlagen

Leitung: Prof. a. D. Dr.-Ing. Klaus Brieß, Ingenieurbüro für Raumfahrttechnik; Dr. rer. nat. Siegfried Voigt, Deutsche Raumfahrtagentur im DLR

25.6. Stuttgart

DGLR-SynTrac-Fachsymposium:

Powering Future Aircraft – Integrierte Entwicklung von Flugzeugen und Triebwerken

29.6. Online | DGLR-Bezirksgruppe Braunschweig

Vortrag: H2 statt Kerosin: Zwischen Vision und Realität

Referent: Dr. Max Friedrich, Institut für Flugführung – FL-AUS-BS DLR Standort Braunschweig

7.7. Berlin

Drone Resilience Day

Thema: UAV-Bedrohungen – Wie können Polizei, Bundespolizei und Bundeswehr die öffentliche Sicherheit gewährleisten?

16.7. Köln-Bonn | DGLR-Bezirksgruppe Köln-Bonn

Vortrag: Philosophy of Space

Referentin: Dr. Marie-Luise Heuser, German Society for Space Culture & DGLR

22.7. Berlin | DGLR-Bezirksgruppe Berlin-Brandenburg

Stammtisch der DGLR-Bezirksgruppe Berlin-Brandenburg

Stammtisch als Treffpunkt für Luft- und Raumfahrtbegeisterte mit Leitthemen aus der aktuellen Presse

26.-29.8. Bremen & Oldenburg-Hatten

Drone Days 2026

Schwerpunkte: UAS/Drohnen, BVLOS-Flüge, militärische & zivile Drohnenanwendungen, Counter-UAS, Sicherheitsbehörden

Die aktuelle Übersicht aller DGLR-Veranstaltungen finden Sie unter:

dglr.de/veranstaltungen



Save the Date

8.-10.9. Aachen

Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK)

Seien Sie dabei beim größten wissenschaftlich-technischen Networking-Event der deutschen Luft- und Raumfahrtbranche!

27.-28.10. Aachen

25. DGLR-Fachsymposium der STAB

Sie interessieren sich für mehr Themen aus der militärischen Luft- und Raumfahrt?

Hier finden Sie Beiträge aus den vergangenen Ausgaben des Mitgliedermagazins zum Weiterlesen.



© Bundeswehr/Stefan Petersen

Tankstelle, Lazarett, Transporter:

Der Airbus A400M der Bundeswehr im Profil

Die A400M kann bis zu zehn Flugzeuge in einer Stunde betanken und insgesamt rund 40 Tonnen Kerosin abgeben

Seit 2014 ist der Airbus A400M das Rückgrat der deutschen Luftwaffenlogistik: Stationiert beim Luftwaffengeschwader 62 in Wunstorf bei Hannover, hat die A400M ihre Feuertaufe längst bestanden: beim Evakuierungseinsatz 2021 in Afghanistan, als fliegendes Lazarett in Mali und bei Aufklärungsmissionen mit Luftbetankung.

Im Vergleich zur ausgemusterten *Transall C-160* ist der Fortschritt enorm: Die A400M transportiert die dreifache Ladungsmenge bei doppelter Geschwindigkeit und dreifacher Reichweite. Wo früher ein Flug eine Woche dauerte, ist er heute in ein bis zwei Tagen machbar. Ermöglicht wird das durch vier TP400-Turboproptriebwerke.

Die Maschine ist dabei hochflexibel einsetzbar: von 116 Passagierplätzen über Intensivtransport mit bis zu sechs medizinischen Einheiten bis hin zum Absetzen von rund 100 Fallschirmspringenden. Fahrzeuge, Panzer und Helikopter passen ebenso in den Laderaum. Zusätzlich kann die A400M mit Selbstschutzausstattung, Radarwarnempfängern und Infrarotsichtsystemen für spezifische Einsatzszenarien aufgerüstet werden. 

Der Beitrag ist in der Ausgabe 4/2023 erschienen

dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/dglr-magazin-artikel/news1/



Asteroiden, Weltraumschrott und Cyberangriffe:

Das Weltraumlagezentrum schützt zivile und militärische Interessen

Im nordrhein-westfälischen Uedem arbeiten Bundeswehr und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) seit 2011 gemeinsam am Schutz deutscher Weltrauminteressen. Das Weltraumlagezentrum (WRLageZ) überwacht rund um die Uhr – 24/7, 365 Tage im Jahr – die Sicherheit weltraumgestützter Systeme wie dem Kommunikationssatelliten *Heinrich Hertz* und dem Radarsystem *SARah*.

Der ressortgemeinsame Ansatz zwischen Wirtschafts- und Verteidigungsministerium ist dabei einzigartig in seiner Form. Ziviles und militärisches

Personal arbeitet Hand in Hand, um sowohl unbeabsichtigte Gefährdungen durch Weltraummüll als auch gezielte Bedrohungen durch Dritte abzuwehren.

Das Zentrum vereint Weltraumüberwachung, -aufklärung und Weltraumwetterberatung. Expertinnen und Experten analysieren orbitale Manöver fremder Satelliten, warnen vor Annäherungen an eigene Systeme und bewerten Bedrohungen durch Weltraummüll ebenso wie durch gezielte feindliche Aktionen. Täglich wird zudem die Weltraumwetterlage erstellt, um Satelliten und Funksysteme vor Sonnenstürmen zu schützen. 



© Bundeswehr/Francis Hildemann

Vom Weltraumlagezentrum in Uedem aus schützen Soldatinnen und Soldaten der Luftwaffe gemeinsam mit dem DLR deutsche zivile und militärische Systeme im Weltraum

Der Beitrag ist in der Ausgabe 2/2024 erschienen

dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/dglr-magazin-artikel/news2/



Heras Reise zum Asteroiden:

Eine Mission zur planetaren Verteidigung

In näherer oder ferner Zukunft wird ein größerer Asteroid die Erde treffen. Ein Einschlag kann katastrophale Folgen haben und sollte deshalb abgewendet werden. Eine Möglichkeit dazu untersucht die europäische Raumsonde *Hera*.

Seit Oktober 2024 ist sie auf dem Weg zum Doppelasteroidensystem *Dimorphos* und *Didymos*, das sie nach rund zwei Jahren Reisezeit erreichen soll. Hera setzt die Forschungsarbeit der NASA-Mission *DART* fort, die 2022 mit

einem Einschlag in den kleineren *Dimorphos* gezielt dessen Bahn veränderte. Hera soll nun die Auswirkungen dieses Einschlags detailliert vermessen und weitere Erkenntnisse für künftige Abwehrstrategien liefern. Die **Dringlichkeit** der Mission ist real: Am 15. Februar 2013 schlug ein **Asteroid** mit 20 Metern Durchmesser nahe der russischen Stadt Tscheljabinsk ein und verletzte über 1.000 Menschen – hauptsächlich durch zersplittertes Fensterglas infolge der Druckwelle.



HERA und ihre Cubesats erforschen den Einschlag der DART-Mission

Der Beitrag ist in der Ausgabe **4/2024** erschienen

[dglr.de/mitgliedschaft/
mitgliederbereich/
dglr-magazin-artikel/news4/](https://dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/dglr-magazin-artikel/news4/)



© Bundeswehr/Francis Hildemann



Abschuss eines Patriot-Flugkörpers von der mobilen Startstation

European Sky Shield in Deutschland:

Zukünftige militärische Luftabwehrsysteme

Angesichts des russischen Angriffskriegs gegen die Ukraine haben sich 21 europäische Staaten zur *European Sky Shield Initiative* zusammengeschlossen, um die gemeinsame Luftverteidigung grundlegend zu stärken.

Den Grundstein legten **15 Nationen** am 13. Oktober 2022 im Brüsseler NATO-Hauptquartier – darunter Deutschland, Belgien, die baltischen Staaten und Großbritannien. **Ziel** der Initiative ist es, den europäischen Luftraum besser gegen Geschosse, Flugkörper und Luftfahrzeuge zu schützen. Die teilnehmenden Nationen wollen Waffensysteme gemeinsam beschaffen, nutzen und warten, um bestehende Verteidigungslücken zu schließen.

Die Bundeswehr plant eine **Luftverteidigung** über alle Abfangschichten hinweg – von bodennahen Drohnen und Marschflugkörpern in bis zu sechs Kilometern Höhe bis hin zu ballistischen Raketen, die in den Weltraum eintreten. Zusätzlich werden die USA in zwei Jahren weitreichende Mittelstreckenraketen und Marschflugkörper mit einer Reichweite von bis zu 2.500 Kilometern auf deutschem Boden stationieren – ein deutliches Signal, dass moderne Luftverteidigung mehrschichtig gedacht werden muss.

Der Beitrag ist in der Ausgabe **4/2024** erschienen

[dglr.de/mitgliedschaft/
mitgliederbereich/
dglr-magazin-artikel/news3/](https://dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/dglr-magazin-artikel/news3/)



Transporthubschrauber der Bundeswehr:

Wegweisende Beschaffung von 60 CH-47 Chinook

Am 1. Juni 2022 fiel nach jahrelanger Hängepartie die Entscheidung: Die Bundeswehr beschafft 60 Transporthubschrauber vom Typ **CH-47F Chinook**, um die veralteten **CH-53G** zu ersetzen. Die damalige Verteidigungsministerin **Christine Lambrecht** gab grünes Licht für das Milliardenprojekt, das als direktes Regierungsgeschäft zwischen Deutschland und den USA abgewickelt wird.

Der Weg zur Entscheidung war steinig. Ein erstes Vergabeverfahren, das 2017 gestartet worden war, scheiterte 2020 an explodierenden Kosten und Forderungen nach einer Beteiligung der deutschen Industrie. Im neuen Verfahren setzte sich der Chinook gegen den leistungsstärkeren **CH-53K King Stallion** durch – vor allem aus wirtschaftlichen Gründen: Für das Budget von rund fünf Milliarden Euro waren 60 Chinook realisierbar, aber nur 40 King Stallion. Allerdings transportiert der CH-53K mit 15 Tonnen deutlich mehr Nutzlast als der Chinook mit elf Tonnen.

Der Beitrag ist in der Ausgabe **1/2025** erschienen

[dglr.de/mitgliedschaft/
mitgliederbereich/
dglr-magazin-artikel/news5/](https://dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/dglr-magazin-artikel/news5/)



Die niederländische Luftwaffe ist mit einem Transporthubschrauber Chinook (rechts) in Holzdorf gelandet, um gemeinsam mit dem deutschen Pendant CH-53 zu üben

© Bundeswehr/Corina Montiel

Das Mensch-Maschine-Team:

Maßgeschneiderte Assistenz für militärische Pilotinnen und Piloten durch physiologische Zustandserfassung

Was im Auto längst Realität ist, hält Einzug ins Cockpit: intelligente Assistenzsysteme, die den Zustand ihrer menschlichen Operateure überwachen und bei Bedarf eingreifen. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) forscht an Technologien, die Pilotinnen und Piloten in kritischen Situationen unterstützen – oder im Ernstfall vollständig ersetzen können.

Dabei überwacht ein **Smart Textile** mit eingewebten Sensoren die Herzrate, Atmung und weitere Körperfunktionen einer Kampfpilotin oder eines Kampfpiloten. Das Messsystem im Cockpit kalibriert sich auf die tagesaktuellen Werte und erkennt kontinuierlich, wenn physiologische Parameter in kritische Bereiche abweichen. Je nach Schweregrad schlägt es Maßnahmen vor, übernimmt Teile der Flugsteuerung oder landet das Flugzeug im Extremfall völlig autonom.

Die Notwendigkeit ist real: Im militärischen Kontext können extreme G-Kräfte, Hitze oder Feindkontakt zur plötzlichen Handlungsunfähigkeit führen. Ein sogenannter **G-LOC** – Bewusstlosigkeit durch Überlastung – endet heute häufig noch mit dem Totalverlust des Flugzeugs. Smarte Assistenzsysteme sollen das ändern, indem sie Ausfälle frühzeitig erkennen und adaptiv gegensteuern. ➔



Neurophysiologisches Messequipment im DLR: Elektroenzephalographie und funktionelle Nahinfrarotspektroskopie erfassen die Gehirnaktivität

Der Beitrag ist in der
Ausgabe 3/2025 erschienen

[dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/
dglr-magazin-artikel/news7/](https://dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/dglr-magazin-artikel/news7/)



Aktuelle DLR-Forschung:

Assistenzsysteme für die Luftbetankung

Reichweite entscheidet über Erfolg oder Misserfolg militärischer Missionen. Die Luftbetankung – das Nachtanken von Flugzeugen während des Flugs – ist daher eine strategisch unverzichtbare Fähigkeit der Bundeswehr und zentraler Bestandteil des europäischen Fähigkeitsausbaus. Gleichzeitig gilt sie als eines der anspruchsvollsten Manöver überhaupt: Sie erfordert höchste Präzision und belastet Pilotinnen und Piloten enorm.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) erforscht gezielt das in Europa fast ausschließlich genutzte *Probe-and-Droge-Verfahren*. Dabei dockt das empfangende Flugzeug per Sonde an einen trichterförmigen Schlauchkorb des Tankflugzeugs an – flexibel, kostengünstig und für mehrere Flugzeuge gleichzeitig geeignet. Ziel ist es, Pilotinnen und Piloten bei diesem hochkritischen Manöver besser zu unterstützen – denn aktuelle Erkenntnisse zeigen, dass der Betankungserfolg stark von individuellen Strategien der Fliegenden abhängt. ➔

Der Beitrag ist in der
Ausgabe 2/2025 erschienen

[dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/
dglr-magazin-artikel/news6/](https://dglr.de/mitgliedschaft/mitgliederbereich/dglr-magazin-artikel/news6/)



Mitglieder werben Mitglieder

Sie sind Teil der größten Luft- und Raumfahrt-Community Deutschlands – und das mit gutem Grund.

Jetzt haben Sie die Chance, dieses besondere Netzwerk noch größer zu machen: Empfehlen Sie die DGLR weiter – an Bekannte, Kommilitoninnen und Kommilitonen oder Teammitglieder mit Begeisterung für die Zukunft der Luft- und Raumfahrt. Das Beste daran: Sie stärken nicht nur unser gemeinsames Netzwerk, Sie können dabei auch attraktive Prämien erhalten!

Jede erfolgreiche Empfehlung bringt uns alle weiter.

So geht's:

1. Interesse wecken – zum Beispiel mit dem offiziellen DGLR-Imagevideo
2. Antrag ausfüllen lassen (im Antrag muss der Name des Werbenden eingetragen werden)
3. Prämie erhalten

So profitieren Sie persönlich von Ihrem Engagement und stärken gleichzeitig unser Netzwerk.



Weitere Informationen:

[dglr.de/mitgliedschaft/mitglied-
werden/mitglieder-werben/](https://dglr.de/mitgliedschaft/mitglied-werden/mitglieder-werben/)



PRÄSIDIUM DER DGLR

Präsident:

Dipl.-Ing. Roland Gerhards

1. Vizepräsidentin:

Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms

2. Vizepräsident und Schatzmeister:

Dipl.-Kfm. Ulrich Beck

Mitglieder des Präsidiums

(in alphabetischer Reihenfolge):

Dr.-Ing. Rolf Janovsky
Prof. Dr.-Ing. Uwe Klingauf
Prof. Dr.-Ing. Sabine Klinkner
Dipl.-Ing. Daniel Reckzeh
Dipl.-Biol. Andreas Wolke

Generalsekretär: Philip Nickenig M. A.

Beauftragte des Präsidiums:

Dr.-Ing. Michael Sölter
(Beauftragter für Bezirksgruppen)
Prof. Dr.-Ing. Andreas Strohmayr
(Beauftragter für AAE-Angelegenheiten)

EHRENMITGLIEDER

Dipl.-Ing. Horst Demuth
Dipl.-Ing. Jörg Feustel-Büechl
Dr. Dieter Funk
Dr. Alexander Gerst
Dr.-Ing. Dietrich E. Koelle
Prof. Dr. rer. nat. Walter Kröll
Hans Lüttgen
Dr.-Ing. e. h. Hartmut Mehdorn
Dr. rer. nat. Dr.-Ing. e. h. Ulf Merbold
Prof. Dr. rer. nat. Ernst Messerschmid
Dr.-Ing. Detlef Müller-Wiesner
Dipl.-Ing. Hans-Peter Reerink
Dr.-Ing. E. h. Thomas Reiter
Dipl.-Phys. Mario H. Rheinfurth
Kurt J. Rossmann
Prof. h. c. Dr. Dieter Schmitt
Prof. Dr.-Ing. Joachim Szodrich
Prof. Dr.-Ing. Fred Thomas
Prof. Dr. rer. nat. Friedwart Winterberg
Isolde de Zborowski

GESCHÄFTSSTELLE

Philip Nickenig
Birgit Neuland
Alisa Griebler
Nicole Kretschmer
Elena Meyer-Thamer
Michael Geimer
Constantin Rang
Michael Peters
Ralf Schiffer

Detaillierte Informationen
finden Sie im Internet unter:

www.dglr.de



SENAT DER DGLR

Gewählte Mitglieder

01.01.2024 – 31.12.2026

Dipl.-Ing. Jürgen Ackerman
Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Hedi Bachmann
Prof. Dr.-Ing. Andreas Bardenhagen
Prof. Dr.-Ing. Christian Breitsamter
Prof. Dr. John P. Burrows FRS
Prof. Dr.-Ing. Stefanos Fasoulas
Jens Freymuth M.Sc.
Dr.-Ing. Holger Friehmelt
Dipl.-Ing. Roland Gerhards
Dr.-Ing. Cornelia Grabe
Prof. Dipl.-Ing. Rolf Henke
Dr.-Ing. Cornelia Hillenherms
Prof. Dr.-Ing. Mirko Hornung
Dr. Bianca Hörsch
Vanessa R. Kempen Cand. M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Klenner
Prof. Dr.-Ing. Uwe Klingauf
Dipl.-Ing. Axel Krein
Dipl.-Ing. Andreas Lindenthal
Prof. Dr.-Ing. Robert Luckner
Anna Maaßen M. A.
Prof. Dr.-Ing. Peter Middendorff
Prof. Dr.-Ing. Rolf Radespiel
Prof. Dr. Markus Rapp
Dipl.-Ing. Daniel Reckzeh
Dr.-Ing. E. h. Thomas Reiter
Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Katharina Schäfer
Prof. Dr.-Ing. Eike Stumpf
Dr.-Ing. Carsten Wiedemann

Zugewählte Mitglieder

01.01.2024 – 31.12.2026

Dr.-Ing. Gerhard Ebenhoch
Dr.-Ing. Gerald Hagemann
Dipl.-Ing. Carsten Laufs
Chiara Pedersoli
Prof. Dr.-Ing. Martin Tajmar
Generalmajor Michael Traut
Dipl.-Ing. Guido Weber
Annika Wollermann

Sprecher und stellv. Sprecherin des Senats

Dipl.-Ing. Andreas Lindenthal
Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Katharina Schäfer

FACHGREMIEN DER DGLR

Luftfahrt

L1 Luftverkehr

Leitung: Wolfgang Grimme
Dr. Lily Koops

L2 Bemannte Luftfahrzeuge

Leitung: Dipl.-Ing. Daniel Reckzeh
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Eike Stumpf

L3 Unbemannte Fluggeräte

Leitung: Prof. Dr. ir. Maarten Uijt de Haag
Stellv.: Dipl.-Ing. Daniel Sülberg

L4 Kabine

Leitung: Björn Nagel
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Kay Kochan

L5 Luftfahrtantriebe

Leitung: Dr.-Ing. Gerhard Ebenhoch
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Peitsch

L6 Flugmechanik/Flugführung

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Flavio Silvestre
Stellv.: David Schwalb

L7 Luftfahrt und Gesellschaft

Raumfahrt

R1 Raumfahrttechnik

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Enrico Stoll
Stellv.: Dr.-Ing. Michael H. Obersteiner

R2 Raumfahrtwissenschaft und -anwendung

Leitung: Dr.-Ing. Christian Langenbach
Stellv.: Dipl.-Ing. Klaus-Peter Ludwig

R3 Raumfahrt und Gesellschaft

Leitung: Dr. Christian Gritzner
Stellv.: Dr.-Ing. Jürgen Schlutz

Querschnittsthemen

Q1 Werkstoffe – Verfahren – Bauweisen

Leitung: Dr.-Ing. Christian Weimer
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Ulf Breuer

Q2 Fluid- und Thermodynamik

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Christian Breitsamter
Stellv.: Dr.-Ing. Cornelia Grabe

Q3 Avionik und Missionstechnologien

Leitung: Dr.-Ing. Thomas Wittig
Stellv.: Prof. Dr. Peter Stütz

Q4 Systemtechnik/-management

Leitung: Dipl.-Ing. Joachim Majus

Q5 Luft- und Raumfahrtmedizin

(Schnittstelle zur DGLRM)
Leitung: Dr. med. Torsten Pippig

BEZIRKSGRUPPEN DER DGLR

Bezirksgruppe Aachen

Leitung: Dr.-Ing. Tobias Ostermann
Stellv.: Johannes Helbrecht

Bezirksgruppe Berlin-Brandenburg

Leitung: Dipl.-Ing. Stefan Hein
Stellv.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Peitsch
Jens Freymuth M. Sc.

Bezirksgruppe Braunschweig

Leitung: Horst Günther
Stellv.: Dr.-Ing. Martin Schuermann

Bezirksgruppe Bremen

Leitung: Dr. Andreas Reim
Stellv.: Hassan Chraïbi

Bezirksgruppe Darmstadt

Leitung: Helge Lilla
Stellv.: Michael Schmidt

Bezirksgruppe Dresden

Leitung: Dr.-Ing. Falk Erik Hänel
Stellv.: Alexander Knorr

Bezirksgruppe Friedrichshafen

Leitung: Prof. Dr. Holger Purol
Stellv.: Dipl.-Ing. Constantin Winter

Bezirksgruppe Hamburg

Leitung: Mark Heinecke-Wolter
Stellv.: Dipl.-Ing. Hendrik Meyer

Bezirksgruppe Köln-Bonn

Leitung: Dr. Siegfried Voigt
Stellv.: Ralf Ewald

Bezirksgruppe Leipzig

Leitung: André Rohland
Stellv.: Mathias Stein
Volker Kadow

Bezirksgruppe Mannheim

Leitung: Dr.-Ing. Erec Fahlbusch
Stellv.: Dr.-Ing. Helmut Warth

Bezirksgruppe München

Leitung: Dr.-Ing. Michael H. Obersteiner
Stellv.: Dr.-Ing. Gerhard Ebenhoch
Tobias Kreutz

Bezirksgruppe Stuttgart

Leitung: Dr.-Ing. Ronja König
Dominik Starzmann M. Sc.

Bezirksgruppe Würzburg

Leitung: Alexander Kleinschrodt
Stellv.: Clemens Riegler M. Sc.

Virtual International Group

Leitung: Cem Avsar und Carlos Castro



Bild: DLR, CC BY-NC-ND 3.0



Bild: IAG Universität Stuttgart

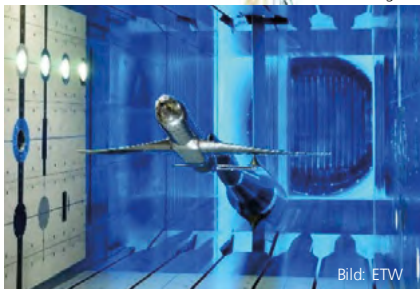


Bild: ETW



Bild: IAG Universität Stuttgart



Bild: DLR, CC BY-NC-ND 3.0

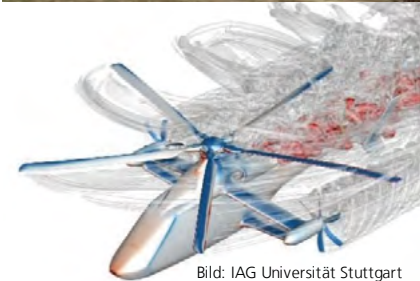


Bild: IAG Universität Stuttgart

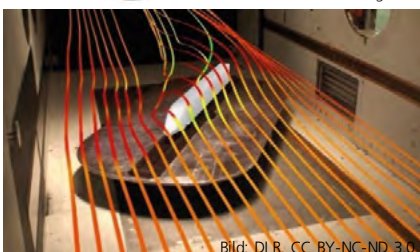


Bild: DLR, CC BY-NC-ND 3.0

STAB-Preis für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Strömungsmechanik

Die Strömungsmechanische Arbeitsgemeinschaft STAB in der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt – Lilienthal-Oberth e. V. will herausragende Leistungen auf dem Gebiet der Strömungsmechanik alle zwei Jahre durch die Verleihung des STAB-Preises würdigen und damit auch für Forschung und Entwicklung in diesem Fach werben.

Der Preis ist mit 5.000 Euro dotiert und wird anlässlich des diesjährigen DGLR-Fachsymposiums der STAB im Oktober 2026 in Aachen an die Preisträgerin/den Preisträger übergeben.

Der STAB-Preis kann an Wissenschaftler/innen und Entwicklungsingenieure/-ingenieurinnen aus Deutschland als Auszeichnung vergeben werden. Ausgezeichnet werden neue und zukunftsweisende Forschungs- und Entwicklungsergebnisse sowie Beiträge zu deren Umsetzung, nicht das Lebenswerk einer Wissenschaftlerin/eines Wissenschaftlers. Preiswürdig sind experimentelle, numerische und theoretische Arbeiten sowie deren Umsetzung in technische Anwendungen. Bewerbungen können sich Einzelpersonen oder Arbeitsgruppen. Bewerbungen sind schriftlich an die Geschäftsstelle der STAB zu richten.

Die Bewerbungsfrist endet zum 22. Juni 2026.

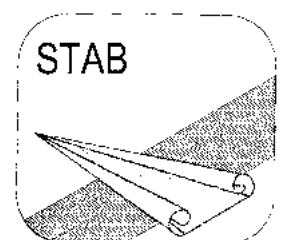
Für eine Bewerbung kommen in Frage:

Option 1: Eine oder mehrere Veröffentlichungen in internationalen Fachzeitschriften mit Begutachtungsverfahren

Option 2: Wesentliche Beiträge zur Umsetzung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen in neue Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren

Einzelheiten zur Bewerbung, zu den einzureichenden Unterlagen und zum Auswahlverfahren enthält die Ausschreibung des STAB-Preises, die Sie bei der Geschäftsstelle der STAB anfordern und auch im Internet unter [DLR - STAB](https://www.dlr.de/stab) finden können.

Geschäftsstelle der STAB
c/o DLR
Prof. Dr. C. Wagner
Bunsenstr. 10
37073 Göttingen
Tel.: 0551 709-2464
E-Mail: stab@dlr.de





F-35A LIGHTNING II

RUMPFMITTELTEILE AUS NRW – FÜR DAS GLOBALE F-35 PROGRAMM

Seit Juli 2025 produziert Rheinmetall in einer hochmodernen Fabrik am Flughafen Weeze Rumpfmittelteile der F-35A Lightning II. Damit ist Deutschland Teil des globalen Produktionsnetzwerks der F-35 geworden und der Standort Weeze zu einem Zentrum, an dem Spitzentechnologie, Präzision und internationale Kooperation zusammenkommen. Die F-35A Lightning II ist das modernste Kampfflugzeug der Welt und wird künftig auch von der deutschen Luftwaffe eingesetzt.

In nur 17 Monaten Bauzeit ist auf einem 60.000 m² großen Gelände gemeinsam mit unseren Partnern Lockheed Martin und Northrop Grumman eine hochmoderne Fertigungsanlage mit rund 30.000 m² Fläche für Produktion, Logistik, Forschung und Schulung entstanden. Mehr als 400 neue hochqualifizierte Fachkräfte, hochautomatisierte Fertigungsprozesse und eine Infrastruktur mit Logistik-, Forschungs- und Qualitätsbereichen machen den Standort zu einem der fortschrittlichsten in Europa.

ILA 2026 | BERLIN, 10.–14. JUNI

BESUCHEN SIE UNS AN UNSEREM STAND IM DEFENCE PARK – DISPLAY G/300