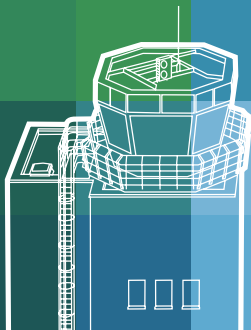
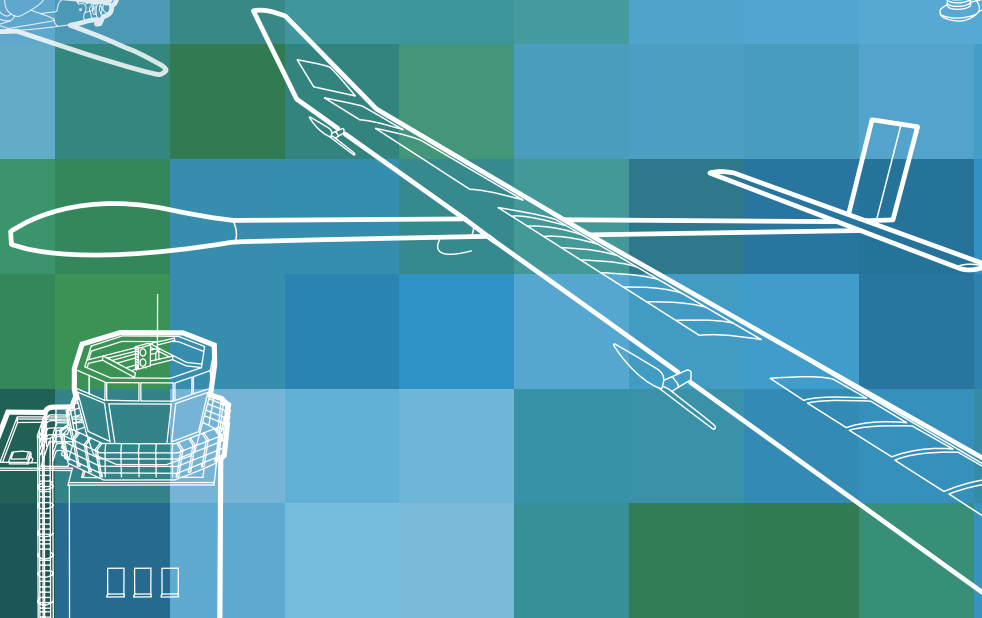
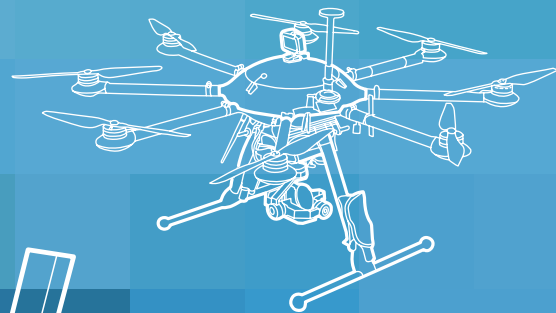
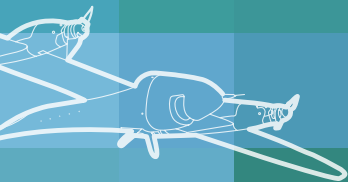


DAS NATIONALE ERPROBUNGSZENTRUM FÜR
UNBEMANNTE LUFTFAHRTSYSTEME
UND DIE UAS-FORSCHUNG IM DLR



**DAS NATIONALE ERPROBUNGSZENTRUM FÜR
UNBEMANNTEN LUFTFAHRTSYSTEME
UND DIE UAS-FORSCHUNG IM DLR**

Inhalt

Grußwort	05
Einleitung	07
Einführung	08
Die UAS-Forschung im DLR stellt sich vor	
Institut für Aeroelastik (AE)	11
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik (AS)	13
Institut für Antriebstechnik (AT)	15
Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie (BT)	17
Institut für Datenwissenschaften (DW)	19
Institut für Elektrifizierte Luftfahrtantriebe (EL)	21
Institut für Flugführung (FL)	23
Institut für Flugsystemtechnik (FT)	27
Flugexperimente (FX)	31
Galileo Kompetenzzentrum (GK)	35
Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF)	37
Technologien für Kleinflugzeuge (KF)	39
Institut für Kommunikation und Navigation (KN)	41
Institut für Luftverkehr (LV)	45
Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin (ME)	47
Institut für Instandhaltung und Modifikation (MO)	49
Institut für Physik der Atmosphäre (PA)	51
Institut für Softwaretechnologie (SC)	53
Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität (SE)	55
Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik (SI)	57
Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt (SL)	59
Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung (SP)	61
Institut für Systemleichtbau (SY)	63
Institut für Technische Physik (TP)	65
Institut für Verkehrssystemtechnik (TS)	67
Institut für Weltraumforschung (WR)	69
Programmdirektion Sicherheit und Verteidigung (PD-S)	71
HAP-alpha – die hochfliegende, unbemannte Solarplattform des DLR	75
DLR-Technologien zur Drohnenabwehr	77
IAM-OSA (Innovative Luftmobilität für nachhaltige und zugängliche Mobilitätslösungen)	79
VERTIFIED (Vertiport-Forschungsinfrastruktur für Innovation und Demonstration)	81
Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme	83

Unbemanntes Fliegen im DLR

Die Technologie des unbemannten Fliegens gewinnt zunehmend an Bedeutung für die Mobilität der Zukunft. Unbemannte Luftfahrtssysteme (UAS) werden bereits heute unter anderem in der Katastrophenhilfe sowie für Transportaufgaben eingesetzt. Die gesamte Branche der unbemannten Luftfahrt erlebt ein rasantes Wachstum – einhergehend mit der Entwicklung neuer Konzepte und Technologien, aus denen schrittweise eine neue Industrie entsteht.

Luftgestützte Mobilitätslösungen werden Teil zukünftiger Verkehrsplanungen auf lokaler und regionaler Ebene. Diese Urban Air Mobility stellt Wissenschaft und Wirtschaft zukünftig vor viele Forschungsfragen. Das DLR treibt in zahlreichen Instituten die UAS-Forschung als strategischen Schwerpunkt interdisziplinär voran.

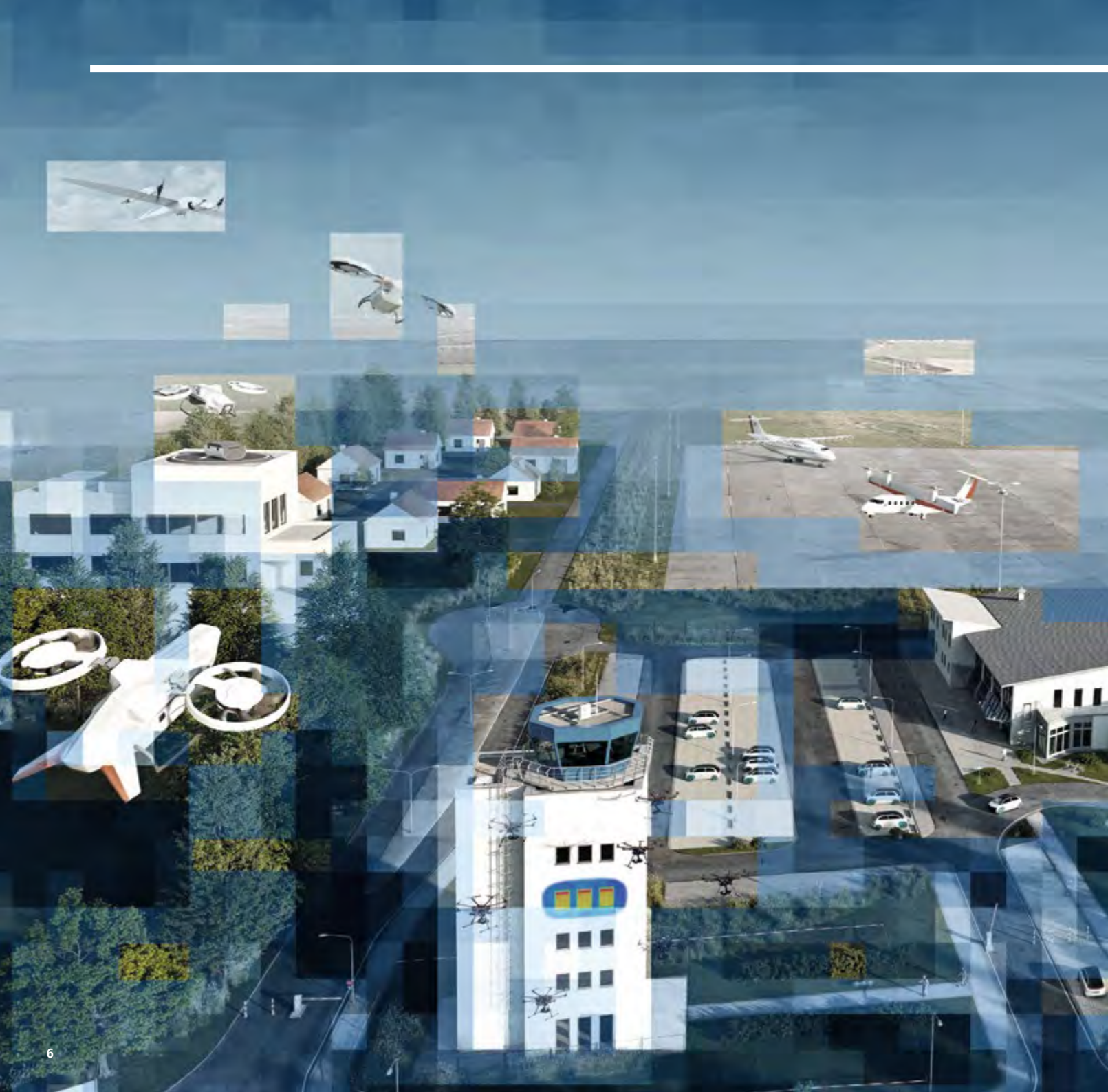


Bereits im Sommer 2019 hatte der Senat des DLR zugestimmt, unser vom Bund und dem Land Sachsen-Anhalt finanziertes Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtssysteme in Cochstedt aufzubauen. Hier entsteht das Zentrum eines europaweit einmaligen hoch innovativen Netzwerkes für die UAS-Forschung. Der Flughafen bietet alle technischen und wissenschaftlichen Möglichkeiten für gemeinsame Entwicklungen mit etablierten Industriepartnern und Start-ups – ebenso wie auch in der Zusammenarbeit mit Behörden und öffentlichen Stakeholdern. Dafür bündelt das DLR alle seine Kompetenzen und ermöglicht die Entwicklung und Realisierung neuer Technologien im Bereich der UAS.

Wir betrachten in unserer Arbeit nicht nur einzelne Technologien, sondern immer auch das Gesamtsystem. Wir sehen uns damit in der Funktion eines Architekten für neue Mobilitätslösungen. Der Weg hin zu einer effizienten und sicheren Urban Air Mobility erfordert einen disruptiven Ansatz mit einem hohen Innovationsgrad. Das Nationale Erprobungszentrum soll hierzu ein Ort für lösungsorientierte Forschung sowie die Vernetzung von Forschung, Industrie und Behörden sein.

A handwritten signature in black ink that reads "Anke Kaysser-Pyzalla".

Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla, DLR-Vorstandsvorsitzende



Eine europaweit **einmalige** **Testinfrastruktur** für das gesamte UAS-Ökosystem

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist ein kontinuierlicher Impulsgeber und betreibt Spitzenforschung im Bereich unbemannter Luftfahrtsysteme (UAS), wobei sich immer wieder zeigt: Neue, innovative Ansätze und Lösungen benötigen gute, unkomplizierte Test- und Validierungsmöglichkeiten. Durch den zunehmenden Technologiefortschritt sowie neue Herausforderungen im Bereich der Drohnensicherheit ergeben sich fortlaufend komplexere und anspruchsvollere Anforderungen an UAS-Testszenarien, weshalb die Rolle des Nationalen Erprobungszentrums für Unbemannte Luftfahrtsysteme als Enabler für Forschung, Industrie und Behörden immer wichtiger wird.


Das Portfolio des Erprobungszentrums ist auf die Anforderungen hinsichtlich der nötigen Testmöglichkeiten und -szenarien ausgerichtet, um eine optimale Nutzbarkeit und größtmögliche Unterstützungsleistung für unsere Nutzer sicherzustellen. Durch das DLR wurden hierzu seit der Gründung des Nationalen Erprobungszentrums über 20 Millionen Euro in Cochstedt investiert. Wichtig ist dabei: Es versteht sich von selbst, dass das Erprobungszentrum allen Nutzern und Vorhaben aus der deutschen und internationalen Industrie und Forschung sowie auch Behörden zur Verfügung steht. Nur durch einen entsprechend offenen Ansatz können wir das gesamte UAS-Ökosystem weiter nach vorne bringen.

Ein besonderer Aspekt ist in diesem Zusammenhang: Das Erprobungszentrum umfasst zur Schaffung einer bestmöglichen Realitätsnähe der Testmöglichkeiten den Betrieb eines „regulären“ Verkehrsflughafens, den Flughafen Magdeburg-Cochstedt. Hiermit stellt sich das DLR einer zusätzlichen Herausforderung, die es uns jedoch ermöglicht, einerseits das Miteinander in der Luftfahrt mitzudenken sowie wichtige (praktische) Erkenntnisse für zukünftige Anwendungsfälle zu sammeln und andererseits ideale Rahmenbedingungen und Privilegien für das Testen von UAS zu schaffen.

Genau dieses Alleinstellungsmerkmal in Verbindung mit unserer umfangreichen und innovativen Infrastruktur hat sich als Erfolgsrezept herausgestellt, wodurch wir über die letzten Jahre zahlreiche spannende Kampagnen und Demonstrationen in Cochstedt erleben konnten – dabei unter anderem ein Lufttaxi auf Kollisionskurs mit einem Rettungshelikopter (das automatische Ausweichen hat zum Glück funktioniert), den Jungfernflug eines 800-Kilogramm-UAS für humanitäre Hilfsmissionen (womit inzwischen im Auftrag der Welthungerhilfe Hilfsgüter ausgeflogen werden) sowie mehrere Technologie-Challenges (bei denen internationale Unternehmen und Start-ups in dedizierten Missionen gegeneinander angetreten sind).

Im Rahmen dieser Broschüre soll nach einem kurzen, allgemeinen Überblick ein Einblick in die UAS-Forschung im DLR mit seinen Instituten und Einrichtungen gegeben werden. Dies soll zum einen die Vielfalt und die Einsatzmöglichkeiten von UAS-Technologien illustrieren, zum anderen aber auch alle Leserinnen und Leser dazu ermutigen, bei weiterführendem Interesse mit uns in Kontakt zu treten.

Daher freuen wir uns auf weitere spannende Themen und Kampagnen, die Entstehung neuer und die Vertiefung bestehender Kooperationen sowie die Beiträge, die durch das Nationale Erprobungszentrum für den Luftverkehr der Zukunft erbracht werden können.



Jean Daniel Sülberg

Leiter des Nationalen Erprobungszentrums
für Unbemannte Luftfahrtsysteme



Überblick und Anwendungsfelder

Die Luftfahrtbranche ist dabei, sich durch das Aufkommen neuer Technologien und Geschäftsmodelle sowie vor dem Hintergrund eines stärkeren Sicherheitsbewusstseins bei Herstellern und Bedarfsträgern signifikant zu verändern. Hierbei spielen **unbemannte Luftfahrtsysteme** eine tragende Rolle und können einen erheblichen gesellschaftlichen Mehrwert leisten. Der Begriff unbemanntes Luftfahrtsystem (UAS, engl. Unmanned Aircraft System) bezeichnet ein Gesamtsystem aus dem unbemannten Luftfahrzeug (UAV, engl. Unmanned Aerial Vehicle) und den zugehörigen Steuereinheiten (zum Beispiel Bodenstationen zur „Fernsteuerung“), Datenlinks zur Kommunikation und Navigation sowie zusätzlichen Sicherheitssystemen. Während der Begriff Drohne ursprünglich ausschließlich zur Bezeichnung für militärische Zwecke bestimmter unbemannter Luftfahrzeuge verwendet wurde, wird dieser Begriff im Volksmund mittlerweile auch oft für kommerziell vertriebene und betriebene Fluggeräte verwendet. Die Bezeichnung „unbemannt“ bezieht sich in Blick auf UAS ausschließlich auf den **Wegfall des Piloten** an Bord des Luftfahrzeugs, was heißt, dass Passagiere an Bord eines UAS nicht ausgeschlossen sind und nach wie vor Personen (am Boden) in den Betrieb von UAS involviert sein können.

Mit der European Drone Strategy 2.0, die von der Europäischen Kommission veröffentlicht wurde, wurde für das europäische UAS-Ökosystem der Begriff der **Innovative Air Mobility (IAM)** eingeführt, welcher einen Dachbegriff für die unterschiedlichen Anwendungsfelder von UAS bildet. Während bis vor einigen Jahren insbesondere ein großer Fokus auf der Beförderung von Personen mit neuartigen Luftfahrzeugkonfigurationen wie elektrisch angetriebenen Senkrechtländern, sog. **eVTOLs** (engl. electric Vertical Take-Off and Landing), im innerstädtischen Bereich (Urban Air Mobility, UAM) sowie auch über weitere Strecken (Advanced Air Mobility, AAM) lag, werden inzwischen zahlreiche andere UAS-Anwendungen in den operativen Betrieb

überführt. Dadurch existieren mittlerweile **vielfältige Einsatzzwecke für die Nutzung von UAS**. Ein ebenfalls derzeit durchaus präsenter Anwendungsfall ist dabei der Bereich der **Logistik**. Hierbei ist vor allem der Einsatz von UAS als „Lieferdrohne“ für Pakete und Waren jeglicher Art oder die Just-in-time-Zulieferung von Ersatzteilen zu nennen. Weitere Möglichkeiten zeigen sich in diesem Bereich zum Beispiel in der Inventarisierung in großen Lagern. Daneben gibt es bereits mehrere Unternehmen, die UAS-basierte Leistungen im Bereich von **Inspektions-, Diagnose- und Wartungsarbeiten**, zum Beispiel für Windkraft- und Solaranlagen, Brücken, Gebäude sowie für Pipelines oder Bahntrassen, anbieten. Des Weiteren eignen sich UAS sehr gut für Anwendungen in der **Land- und Forstwirtschaft**. So wird beispielsweise die UAS-gebundene Bestimmung der Pflanzengesundheit mittels Hyperspektralanalyse zu einem gezielteren Einsatz von Düngemitteln und Abwehrstoffen zur Schädlingsbekämpfung beitragen, wodurch Umwelt und Grundwasser besser geschützt werden können. Nicht zuletzt können UAS auch im Bereich **humanitäre Hilfe und Katastrophenhilfe**, zum Beispiel in der Versorgung mit Hilfsgütern für unzugängliche Gebiete nach Hochwassern oder anderen Krisenfällen, einen Mehrwert leisten. Eine weitere Einsatzmöglichkeit erfahren UAS im Bereich **medizinische Versorgung**, hier vor allem bei Medikamentenlieferungen und dem Transport von Laborproben, aber zukünftig auch im Rettungswesen und in der Telemedizin.

Auch **Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS)** können vom Einsatz von UAS profitieren. Durch eine Erstaufklärung aus der Luft sowie die Möglichkeit, ohne eine Gefährdung von Menschenleben Strahlenmessungen und Gefahrstoffanalysen durchzuführen, können unbemannte Luftfahrtsysteme in der Lagebilderstellung bei Krisen- oder Katastrophenfällen einen erheblichen Mehrwert liefern. Sie können zudem zur Personensuche oder zur Überwachung komplexer Einsätze der BOS eingesetzt werden. Gleichzeitig werden die

Unbemannte Luftfahrtsysteme – eine vielseitige Zukunftstechnologie

BOS durch den unerwünschten bzw. unerlaubten Einsatz von UAS, z. B. in der Nähe deutscher Flughäfen, vor neue Herausforderungen gestellt, wodurch das Thema der **Drohnenabwehr** eine stetig wachsende Bedeutung erfährt.

Zudem entstehen aufgrund der breitbandigen Einsatzfähigkeit unterschiedlicher UAS regelmäßig neue Einsatzfelder. Hierbei sind zum Beispiel **hochfliegende Plattformen** (HAP, engl. High-Altitude Platform) zu nennen. HAPs sind meist solarbetrieben und können dadurch in großen Höhen (> 8 km) sehr lange Flugzeiten realisieren, wodurch sie als Alternative zur boden- und satelliten-gestützten Kommunikation dienen können. Somit können beispielsweise infrastrukturell schlecht erschlossene oder durch einen Zwischenfall abgeschnittene Regionen mit einem kurzfristigen Zugang zu Kommunikation und Informationen versorgt werden.

Herausforderungen für den Erfolg von UAS

Um eine neuartige Technologie wie UAS erfolgreich und nachhaltig zu etablieren, sind Herausforderungen in mehreren Bereichen (gleichzeitig) zu meistern.

Dies betrifft einerseits den Bereich der technischen Umsetzung, wobei die **Entwicklung neuer UAS-Technologien** selbst sowie das Thema **Luftraumintegration** im Vordergrund stehen. Im Rahmen der Technologieentwicklung sind aufgrund der grundlegend neuen Vehikelkonzepte Innovationen für sämtliche Kernkomponenten und -technologien erforderlich, angefangen bei neuen Antriebskonzepten, von (hybrid-)elektrisch bis Brennstoffzelle, über neue Leichtbau- und Fertigungsverfahren bis hin zur Flugregelung. Die Integration von UAS in den Luftraum zusammen mit dem bestehenden Luftverkehr benötigt ebenfalls disruptive Konzepte. Hier sind sowohl ein integratives, digitalisiertes Luftverkehrsmanagement für UAS (U-space) als auch neue Lösungen für resiliente Kommunikations- und Navigationstechnologien

und eine bessere Kenntnis des Atmosphärenwetters (insb. in der unteren Grenzschicht) von großer Bedeutung.

Andererseits wird eine Technologie nur dann gesellschaftlich akzeptiert, wenn die möglichen Folgen dieser Technologie entsprechend abgeschätzt werden können, weshalb auch der Bereich der **Akzeptanz- und Impactforschung** eine wichtige Grundlage für den Erfolg von UAS darstellt. Dies reicht von der Abschätzung der Auswirkungen akustischer Emissionen bis hin zur Analyse von Einflüssen von UAS auf die Natur (z. B. Vogel- oder Insektenpopulationen).

Ein nicht zuletzt entscheidender Faktor ist die **Regulierung, Gesetzgebung und Harmonisierung** für UAS-Technologien und -Betriebe. Hier ist Europa im Sinne der Implementierung zwar weltweit führend und Deutschland wiederum Spitzenreiter in Europa, was die Anzahl an erteilten Betriebsgenehmigungen auf Basis der neuen Regulierung betrifft, jedoch sind auch hier noch große Potenziale zur Weiterentwicklung vorhanden – insbesondere mit Blick auf die Erleichterung von Möglichkeiten zur Erprobung von neuen Technologien.

Eine zusätzliche Dimension, um die prognostizierten Kosteneffekte bestmöglich zu nutzen und UAS-Anwendungen so günstig wie möglich zu halten, ist die Skalierbarkeit der UAS-Technologie. Dafür sind Fortschritte in der **Automatisierung bis hin zur Autonomie** notwendig, wofür auch der Bereich der **Künstlichen Intelligenz (KI)** eine große Rolle spielt. Herausforderungen in diesem Zusammenhang liegen neben den technischen Lösungen, die benötigt werden, auch in der Zertifizierung autonomer, KI-gestützter Systeme für die Luftfahrt.

Die nachfolgenden Seiten illustrieren die Forschungsaktivitäten des DLR im Bereich von UAS, die dazu beitragen, Lösungen für die vorgenannten Herausforderungen zu erarbeiten.



Institut für Aeroelastik (AE)

Das DLR-Institut für Aeroelastik ist ein führendes Forschungsinstitut auf den Gebieten Aeroelastik, Strukturmechanik, instationäre Aerodynamik, dynamische Lasten und Regelung aeroelastischer Systeme. Die Mitarbeitenden in Göttingen und Oberpfaffenhofen befassen sich mit theoretisch-numerischen und experimentellen Untersuchungen für Systeme der Luftfahrt- und Windenergie-technik sowie mit der Entwicklung von Methoden und Technologien für numerische Simulationen und experimentelle Analysen. Zudem betreiben sie Versuchsanlagen zur Analyse und Beherrschung der aeroelastischen Wechselwirkungen.

Simulations- und experimentelle Methoden für die Entwicklung und den Betrieb von UAS

Die Abteilungen des Instituts verfügen über vielfältige Methoden für den Konzept- und Vorentwurf von unbemannten Flugsystemen (Starrflügler). Sowohl stationäre (Manöver) als auch instationäre (Böen, Turbulenzen) Lastanalysen können durchgeführt werden. Mit den Ergebnissen können strukturelle Optimierungen sowie Nachweise für den sicheren Betrieb des Fluggerätes geführt werden. Ebenso können Flutterrechnungen, auch unter Einbindung von Antriebs- und Flugsteuerungssystemen, durchgeführt werden. Die Einsatzbereiche reichen von schnellen, einfachen bis zu hochgenauen Verfahren, die auch strukturelle und aerodynamische Nichtlinearitäten durch kompressible und viskose Effekte berücksichtigen können. Ebenso werden Flugregler für die aktive Strukturregelung, Lastabminderung und Flutterregelung entwickelt und in der Simulation sowie im praktischen Flugeinsatz getestet. Am Institut entwickelte, miniaturisierte Messtechnik ermöglicht den sicheren Betrieb in allen Bereichen der Flugumhüllung, unter anderem die Überwachung von strukturellen Schwingungen.

Unterstützung bei der Entwicklung der hochfliegenden Plattform HAP-alpha

Die HAP-alpha-Plattform mit 27 m Spannweite in extremer Leichtbauweise wurde vom DLR entwickelt. Das Institut unterstützte das Flugzeug durch umfassende Last- und Flutteranalysen, einschließlich der Integration des Flugregelungssystems und der Definition lastrelevanter Design-Fluggeschwindigkeiten.



HAP-alpha während des Standschwingungsversuchs

FLEXOP und FLiPASED

In den Projekten FLEXOP (*Flutter Free FLight Envelope eXpansion for ecOnomical Performance improvement*) und FLiPASED (*Flight Phase Adaptive Aero-Servo-Elastic Aircraft Design Methods*) wurden neue Algorithmen zur aktiven Stabilisierung sogenannter Flutterinstabilität sehr erfolgreich auf einem unbemannten Demonstrator erprobt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die kritische Geschwindigkeit mithilfe aktiver Regelung zuverlässig auf den geforderten Wert erhöht werden konnte.

TU-Flex Flugversuchsträger

Das Fachgebiet Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastizität der TU Berlin entwickelt und baut ein hochflexibles Forschungsflugzeug (*TU-Flex*). Das Institut hat die Entwicklung mit umfangreichen Lastanalysen sowie der Modellierung und Optimierung der Flügel unterstützt. Ebenso wurde ein Flügel im Windkanal (SWG) des DLR stationär und instationär getestet.

**Mit einem aeroelastischen Flügel könnten
künftig 20 Prozent mehr Fracht transportiert
oder 7 Prozent Treibstoff eingespart werden.**

Für die Zukunft plant das Institut weitere Demonstratoren zur Validierung von Funktionen zur aktiven Lastabminderung, zur aktiven Flutterunterdrückung sowie zur Validierung von Modellierungsmethoden.

Institutsdirektor

Prof. Dr.-Ing. Lorenz Tichy

Das Forschungsflugzeug A320 ATRA mit verschiedenen lärmmindernden Anbauten überfliegt akustische Messsysteme am Flughafen Cochstedt.



Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik (AS)

Das Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik ist ein führendes Forschungsinstitut auf den Gebieten Flugzeug- und Fahrzeug-Aerodynamik, Flugzeug-Aeroakustik, Raumfahrt-Aerothermodynamik und Windenergieforschung. Das Institut ist an zwei Standorten – Braunschweig und Göttingen – beheimatet und unterhält eine Abteilung in Köln. Mehr als 350 Mitarbeitende befassen sich mit theoretisch-numerischen und experimentellen Untersuchungen an Luft- und Raumfahrzeugen, wobei die Experimente sowohl in Windkanälen als auch in Flugversuchen durchgeführt werden.

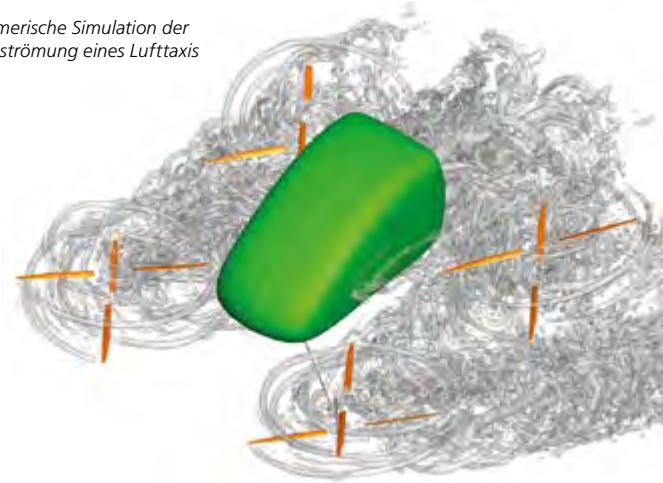
Numerische Vorhersagen und experimentelle Messungen für das effiziente Transportmittel der Zukunft

Umweltpolitische Rahmenbedingungen spielen im Flugverkehr eine immer größere Rolle. Das DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik erforscht daher, wie die Transportmittel der Zukunft effizienter, ökologischer, komfortabler, wirtschaftlicher und sicherer gestaltet und betrieben werden können. Eine weitere Kernkompetenz ist die Entwicklung von Softwareprodukten für aerodynamische und aeroakustische Simulationen.

Beiträge zur UAS-Forschung

Anforderungen an Unmanned Aircraft Systems (UAS) sind eine lange Flugdauer und ein sicherer Betrieb bei allen Flugzuständen und Windbedingungen. Entsprechend ist eine optimale aerodynamische Auslegung der Fluggeräte notwendig. Da UAS zukünftig auch über bewohnten Gebieten eingesetzt werden sollen, muss zusätzlich die Lärmbelastung der Anwohnerinnen und Anwohner minimiert werden.

*Numerische Simulation der
Umströmung eines Lufttaxis*



Die Beiträge des Instituts zur Forschung an UAS umfassen:

- numerische Berechnung der Strömung, Vorhersage der Flugleistungen und Flugeigenschaften, Optimierung der aerodynamischen Formgebung,
- numerische Vorhersage der Schallabstrahlung, Maßnahmen zur Lärmreduktion, Vorgabe lärmminimaler Flugbahnen,
- Messtechnik für aerodynamische und akustische Flugversuche und Windkanalexperimente.

In laufenden DLR-internen Projekten erforscht das Institut die Aerodynamik und die Lärmemission von Drohnen und Lufttaxis sowohl mit numerischen Simulationen als auch experimentell mit Windkanal- und Flugversuchen. Die jeweils eingesetzten Tools werden parallel an die besonderen Anforderungen angepasst. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen unter anderem in europäische Forschungsvorhaben ein, in Projekte zur zivilen Nutzung von Drohnenschwärmen und in die Drohnenerkennung sowie in kommerzielle Partnerprojekte.

Institutsdirektor Braunschweig:
Prof. Dr.-Ing. Kai Richter

Institutsdirektor Göttingen/Köln:
Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Andreas Dillmann



Wie klingt die urbane Luftfahrt? Das Institut für Antriebstechnik untersucht unterschiedliche Fandesigns und führt aeroakustische Messungen durch.

Institut für Antriebstechnik (AT)

Das DLR-Institut für Antriebstechnik gehört in der Entwicklung, Bewertung und Validierung von Flugtriebwerken zu den international führenden Forschungsinstituten. An bundesweit vier Standorten deckt es die gesamte Vielseitigkeit und Komplexität von Gasturbinen ab. Mehr als 200 Mitarbeitende bündeln ihre Expertise in Turbokomponenten, Simulations- und Optimierungsmethoden und der Validierung neuer Technologien mit modernster Messtechnik bis hin zu hohen Technologiereifegraden.

Frühzeitige Einschätzung der Geräuschkulisse durch Psychoakustik und Auralisierung

Gleichzeitig eröffnet die Arbeit an unbemannten Luftfahrtsystemen und Urban Air Mobility wertvolle Chancen: Mit der Erforschung von verteilten Antrieben werden beispielsweise die Analyse und das Verständnis neuer Technologien und Konzepte vertieft und neue Freiheitsgrade im Antriebsdesign untersucht. Dazu gehören unter anderem aerodynamische und akustische Installationseffekte, die durch die Anzahl und Anordnung der Antriebe entstehen. Mit der Psychoakustik und Auralisierung erweitert sich das Forschungsfeld im Bereich UAM. Schon in einem frühen Entwicklungsstadium werden Geräuschsignaturen bewertet. So können früh Anpassungen im Design vorgenommen werden.

Grundsätzlich lassen sich Technologien und Prozesse in kleineren Maßstäben schneller, flexibler und kosteneffizient erproben. Dadurch wird Durchlässigkeit zwischen verschiedenen Flugzeugklassen geschaffen und dazu beigetragen, dass die Entwicklung vielversprechender nachhaltiger Antriebstechnologien beschleunigt wird. So gibt es im Bereich des Antriebslärms viele Arbeiten, die eng mit der Forschung an anderen modernen Antriebskonzepten verbunden sind. Dazu gehören zum Beispiel Untersuchungen zu Einlaufstörungen, aerodynamische und akustische Interaktionseffekte von verteilten Antrieben, passive Lärminderungsmaßnahmen sowie die Entwicklung einer Prozesskette zur Auralisierung von Antriebsgeräuschen.

Beiträge des Instituts zur UAS-Forschung

- **Auralisierung und psychoakustische Bewertung:** Entwicklung einer Prozesskette zur Auralisierung von Antriebsgeräuschen, die die Vorhersage der Schallquellen, die Durchführung virtueller Überflugsimulationen und die Hörbarmachung der Antriebsgeräusche an unterschiedlichen Mikrofonpositionen ermöglicht.



Überflugmessungen am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme: Mikrofonarrays messen den Schallpegel und einzelne Lärmquellen.

- **Aerodynamische und akustische Interaktionseffekte:** Untersuchung akustischer Phänomene in der Transitionsphase von UAS-Vehikeln. Analytische und numerische Analyse aerodynamischer und akustischer Interaktionseffekte für verteilte Antriebe
- **Psychoakustische Optimierung:** Design und Optimierung von Antriebskomponenten hinsichtlich des Schallpegels und psychoakustischer Metriken
- **Einlaufstörungen:** Analytische, numerische und experimentelle Untersuchung von Fanstufen für UAS unter Berücksichtigung von realistischen Einlaufstörungen
- **Überflugmessungen:** Überflugmessungen mit Mikrofonarrays zur Bewertung der Schallemissionen von UAS sowie Weiterentwicklung von Auswertemethoden dieser Überflugmessungen

Institutsdirektor

Prof. Dr.-Ing. Florian Herbst



Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie (BT)

Hochleistungsstrukturen für die Luft- und Raumfahrt, den Fahrzeugbau und die Energietechnik sind ein zentraler Forschungsschwerpunkt des Instituts für Bauweisen und Strukturtechnologie.

Die wissenschaftlichen Arbeiten erstrecken sich in Stuttgart von der Entwicklung und der Optimierung von Materialien und deren Verfahrens- und Fügetechnologien über neue Designansätze und den Bau von Full-Scale-Demonstratoren hin zu deren Test und Validierung in spezifischen Prüfanlagen sowie im Flugversuch. Die Entwicklung neuer multidisziplinärer Auslegungswerkzeuge und digitaler Modelle ist die Basis der Bauweisen- und Bauteilentwicklung.

In Augsburg wird die Industrialisierungsfähigkeit für die Leichtbauproduktion sichergestellt. Die Arbeiten konzentrieren sich auf neue Technologien der roboterbasierten, automatisierten Produktion von Leichtbaustrukturen sowie der prozessintegrierten Qualitätssicherung und deren Rückkopplung mit der Strukturtechnologie und dem Design. Die strategischen Hauptlinien sind die Forschung entlang vollständiger Prozessketten, die Full-Scale-Fähigkeit zur Validierung und die konsequente digitale Integration aller Elemente der Prozesskette im Sinne der Industrie 4.0.

Interdisziplinäre Strukturauslegung von UAS

Aus der Konzeptionierung und Entwicklung von UAS ergibt sich eine Vielzahl an neuartigen Gesamtkonfigurationen, wodurch innovative Strukturkonzepte und Ansätze für eine optimierte Strukturauslegung ermöglicht werden. In verschiedenen Projekten bringt das Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie seine Strukturkompetenzen in UAS-Entwicklungsprozesse ein. Darüber hinaus bündelt das Institut seine Disziplinen im Projekt

UrbanRescue und entwickelt eine zielführende interdisziplinäre Strukturauslegung. Diese ist auf beliebige UAS-Konfigurationen anwendbar und zielt auf ein gesamtheitliches Optimum ab. Dieses Optimum wird erreicht durch eine enge Verknüpfung der klassischen Auslegungsdisziplinen wie Design und Statik mit den bisher später im Auslegungszyklus betrachteten Disziplinen der dynamischen Crashauslegung und der Fertigungs- und Produktionsauslegung.

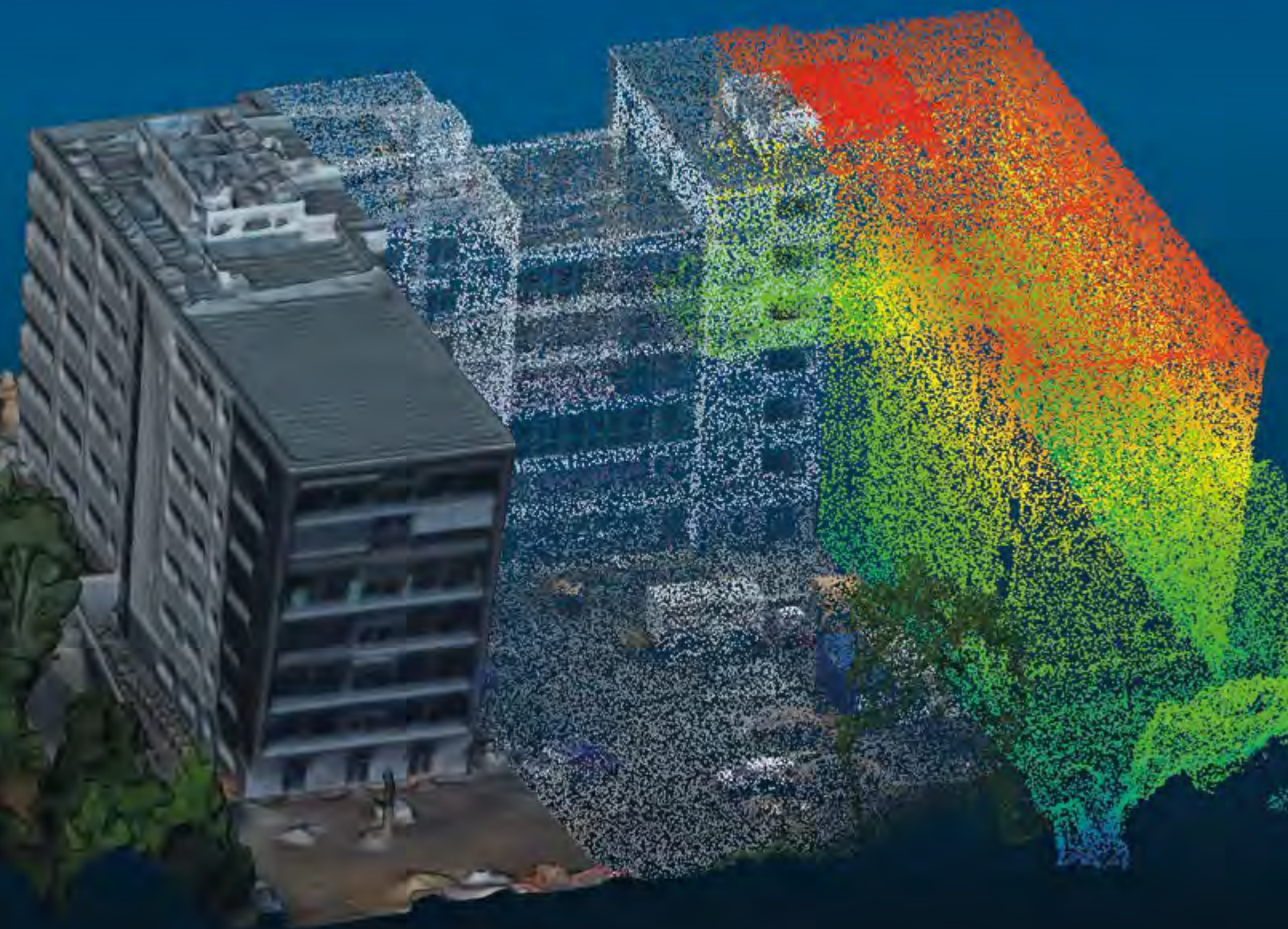
Vom Design zur Produktion – sichere Strukturen zum Schutz von System und Passagier

Unter zusätzlicher Betrachtung unterschiedlicher Kombinationen von Materialien und Bauweisen können Strukturen für UAS entwickelt werden, welche effizient, schnell, kostensparend und nachhaltig in die Realität umgesetzt werden. Neben der klassischen Ausnutzung des Leichtbaupotenzials ermöglicht die integrierte Betrachtung der Crashauslegung einen optimalen Schutz der Systeme und Insassen, welcher die hohen Anforderungen der Zulassung an zukünftige urbane UAS erfüllt. Die zusätzliche Berücksichtigung der Fertigungs- und Produktionsanforderungen durch die Implementierung der Design-to-Manufacture-Philosophie sorgt für eine reibungslose Herstellung und Produktion zukünftiger UAS-Strukturen. Die methodische Entwicklung der interdisziplinären Auslegung geht dabei mit der Untersuchung und Validierung an Full-Scale-Bauteilen und anwendungsnahen Produktionsprozessen am Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie Hand in Hand.

Institutsdirektoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heinz Voggenreiter und
Prof. Dr.-Ing. Michael Kupke

*Aus UAV-Aufnahmen abgeleitete Datenprodukte am Beispiel des Institutsgebäudes in Jena:
3D-Modell (links) und prozessierte 3D-Punktwolke (rechts) als Grundlage für die automatisierte Analyse*



Institut für Datenwissenschaften (DW)

Am DLR-Institut für Datenwissenschaften in Jena werden Methoden entwickelt, um aus komplexen Datenmengen entscheidungsrelevantes Wissen zu generieren. Entlang der gesamten Datenwertschöpfungskette – von der Erhebung über die Analyse bis zur Visualisierung – realisiert es ein robustes „Datenrückgrat“ für die Anwendungsbereiche des DLR. Im Bereich der unbemannten Luftfahrtsysteme (UAS) liegt der Fokus darauf, Daten von kosteneffizienten Drohnenplattformen durch intelligente Algorithmen in präzise, wirtschaftlich nutzbare Informationen zu verwandeln und so innovative Anwendungen zu erschließen. Drohnen bieten ein enormes Potenzial für die flexible und hochauflösende Erfassung von Geodaten. Ihr Einsatz in professionellen Anwendungen wird jedoch oft durch systematische Fehler in den 3D-Daten und die Notwendigkeit aufwendiger manueller Auswertungen limitiert. Um diese Technologie wirtschaftlich nutzbar zu machen, bedarf es Methoden, die eine verlässliche Datenqualität und eine automatisierte Informationsgewinnung sicherstellen.

Präzise Zustandskontrolle von Deichanlagen oder Fernstraßenkorridoren mittels UAS

Es werden beispielsweise intelligente Flugstrategien entwickelt, die durch unterschiedliche Kameraperspektiven bereits bei der Datenerfassung die Genauigkeit der resultierenden 3D-Modelle signifikant verbessern. Darauf aufbauend extrahieren leistungsfähige Algorithmen des maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz automatisiert komplexe Informationen aus den Bilddaten und 3D-Punktwolken. Hierbei fließt gezielt Domänenwissen ein, etwa wenn durch die Kombination von Aufnahmen aus verschiedenen Jahreszeiten – beispielsweise von Wäldern im Sommer- und Winterzustand – die Detailgenauigkeit zusätzlich gesteigert wird.



Datenerfassung mittels UAV zur präzisen Zustandskontrolle eines Deichabschnitts an der Nordseeküste im Frühjahr 2024

So werden einfache Aufnahmen in präzise und aussagekräftige Geoinformationen verwandelt. Diese Verfahren ermöglichen den Transfer von kosteneffizienter Consumer-Technologie in hoch präzise, professionelle Anwendungsfelder:

- **Infrastruktur-Monitoring:**
Für die wiederholte Überwachung von Deichanlagen oder Fernstraßenkorridoren liefern die am Institut entwickelten Methoden zentimetergenaue 3D-Modelle. Damit lassen sich Zustandsveränderungen, Vegetationsbewuchs oder potenzielle Schadstellen automatisiert, präzise und wiederholbar dokumentieren, was die Effizienz und Genauigkeit der Instandhaltung signifikant erhöht.
- **Forstwirtschaft:**
Die Verfahren erlauben die flächenhafte und hoch automatisierte Erstellung von digitalen Waldinventuren. Exakte Einzelbaumparameter wie Stammposition, Kronenabgrenzung, Baumhöhe und das Volumen von Totholz als wesentlicher Faktor für die Brandlast werden vollautomatisch erfasst. Dies übertrifft konventionelle, stichprobenbasierte Erhebungen in Effizienz sowie Genauigkeit und schafft eine verlässliche Datengrundlage für eine nachhaltige und wirtschaftliche Waldbewirtschaftung.

Institutsdirektor (komm.)

Dr. Frank Dressel

Flugkampagne zum Test des viermotorigen elektrischen Antriebssystems im September 2024
mit dem Flugdemonstrator HyBird (Spannweite 3,5 m, Maßstab 1:4)



Institut für Elektrifizierte Luftfahrtantriebe (EL)

Das Institut für Elektrifizierte Luftfahrtantriebe konzentriert sich mit seiner Forschung auf *more-electric Engines* sowie hybrid-elektrische und vollelektrische Antriebe. Hierfür entwirft und erprobt es Schlüsseltechnologien und integrierte Antriebssysteme, untersucht deren Umweltwirkungen und Lebensdauer und erarbeitet Strategien für deren sicheren Betrieb.

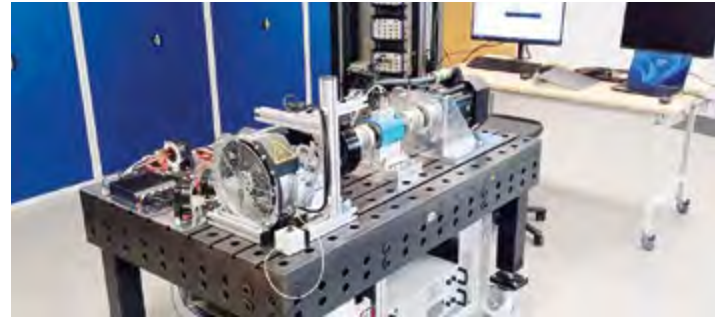
Unbemannter skaliertes Versuchsträger (HyBird) zur Untersuchung von Flugmechanik und Thermalverhalten eines elektrischen Antriebs

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Antriebstechnik werden neben hybrid-elektrischen Antriebssystemen auch Konzepte für stärker elektrifizierte Turbotriebwerke untersucht.

Insbesondere im Bereich der Urban Air Mobility (UAM) und der Unmanned Aircraft Systems (UAS) spielen elektrifizierte Antriebe eine große Rolle. Das Institut ist an zahlreichen Projekten beteiligt, welche entsprechende Anwendungsfälle adressieren.

Multidisziplinärer Entwurf und Analyse elektrifizierter Antriebe

Neue elektrische und hybrid-elektrische Antriebsarchitekturen wurden im Projekt FGAA für klimafreundliche Kleinflugzeuge entworfen und untersucht. Unter Berücksichtigung der Anforderungen an Leistung, Masse, Bauraum sowie Sicherheit und Zuverlässigkeit wurden ausgewählte Antriebstopologien in den jeweiligen Flugzeugentwurf integriert und im Zusammenspiel mit dem Gesamtflugzeugentwurf des Instituts für Systemarchitekturen in der Luftfahrt untersucht. Die experimentelle Validierung der Ergebnisse erfolgte an einem unbemannten skalierten Versuchsträger (HyBird) zur Untersuchung der Flugmechanik und des Thermalverhaltens des elektrischen Antriebs.



Kleinmotorenprüfstand des Instituts für Elektrifizierte Luftfahrtantriebe zur Untersuchung von Direktantrieben bis ca. 15 kW

In den Projekten CHASER und ARCADE beschäftigt sich das Institut mit der Entwicklung von effizienten und leistungsfähigen hybrid-elektrischen Antriebsarchitekturen für eine Notarztzubringer-Helikopterkonfiguration. Dafür werden verschiedene Hybridisierungsstrategien evaluiert und effiziente Antriebsarchitekturen bestimmt, für welche wiederum Integrationskonzepte unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten und optimaler Bauraumausnutzung erarbeitet werden.

Darüber hinaus untersucht das Institut, z. B. im Projekt VIRLWINT, die Schallentstehung und -abstrahlung neuartiger elektrischer Antriebsstränge, welche entscheidend im Zulassungsprozess zukünftiger Flugzeugkonzepte aus dem Bereich UAM sind. Der Fokus liegt hierbei auf elektrischen Maschinen und Energiewandlern. Ergänzend zu numerischen und analytischen Methoden sind Versuche in geeigneter Prüfumgebung vorgesehen.

Luftfahrtspezifische Entwicklung von Komponenten des elektrischen Antriebs

Das Institut unterstützt die Elektrifizierung des Antriebs durch die Verbesserung bestehender Schlüsselkomponenten, durch Entwicklung innovativer Lösungen sowie durch Modelle zu deren Lebensdauervorhersage und Zuverlässigkeitsbewertung. Hierfür existieren detaillierte Vorentwurfswerkzeuge, werden multidisziplinäre numerische Simulationen durchgeführt, Degradations- und Schädigungsmodelle zur Lebensdauervorhersage erarbeitet und diese Ergebnisse stufenweise bis hin zum Originalmaßstab experimentell validiert. Dafür wird z. B. ein eigens entwickelter Kleinmotorenprüfstand für die Untersuchung der für UAS typischen Direktantriebe bis zu einer Leistung von 15 kW eingesetzt.

Institutsdirektor

Prof. Dr. Lars Enghardt



Institut für Flugführung (FL)

Das DLR-Institut für Flugführung entwickelt neuartige Konzepte für ein sicheres, effizientes, umweltfreundliches und zuverlässiges Luftverkehrssystem. Den komplexen Fragestellungen in der heutigen Luftfahrt trägt das Institut mit einer breiten fachlichen Ausrichtung in fünf Abteilungen Rechnung. Zusammen arbeiten diese an neuen Unterstützungsfunktionen für die Bord- und Bodenseite, erforschen ganzheitliche Ansätze zur Optimierung übergreifender Prozesse an Flughäfen, entwickeln neue ATM-Verfahren und -Konzepte und bewerten deren Auswirkungen.

Ein Themenschwerpunkt des Instituts liegt in der Integration neuer Verkehrsteilnehmer in den allgemeinen Luftverkehr – von unbemannten Luftfahrzeugen (UAS) bis hin zu Flugtaxi und suborbitalen sowie orbitalen Raumschiffen.

**Neue Teilnehmer am Luftverkehr
erfordern neue Konzepte und Technologien
für das Management des Luftraums**

Integration von UAS in den Luftraum

Um zertifizierbare UAS nahtlos in den kontrollierten Luftraum zu integrieren, sind ihre Detect-and-Avoid-Fähigkeiten (dt. Erkennen und Ausweichen) von entscheidender Bedeutung. Sind diese nicht ausreichend, so müssen höhere Separationsabstände und spezialisierte Verkehrsmanagementverfahren dies kompensieren. Das Institut forscht daher zum einen an Prozeduren und Verfahren für eine schrittweise Luftraum- und Flughafenintegration und entwickelt und validiert zum anderen Algorithmen zur Kollisionsvermeidung. Aufgrund verschiedener Missionsanforderungen und Einsatzzwecke variieren heutige UAS maßgeblich in ihrer Größe, Leistung und Ausstattung. Die Herausforderung besteht daher insbesondere darin, UAS mit derart unterschiedlichen Fähigkeiten zusammen mit anderen Luftverkehrsteilnehmern (z. B. Hubschrauber, Segelflugzeuge, Paragliders) sicher in einem Luftraum zu verwalten und zu überwachen. Das Institut für Flugführung hat hierfür ein dichtebasiertes Luftverkehrsmanagementkonzept erstellt und als „DLR U-space Blueprint“ veröffentlicht.

Optimierte Missionsplanung und -durchführung

Schwerpunkte der Forschung sind das optimierte Missionsmanagement von einem oder mehreren UAS, insbesondere für den Einsatz bei Katastrophen, das Design der Bodenkontrollstation und die Frage, wie der Operator optimal bei seinen Aufgaben und in seiner Interaktion mit (teil-)autonomen Systemen unterstützt werden kann. Dabei steht die Sicherheit der Einsätze immer im Vordergrund. Ein weiterer Bestandteil der Forschung ist die Planung und Steuerung unbemannter Luftfahrzeuge im Schwarmverbund. Für eine effiziente Schwarmführung müssen die Aufgaben zwischen einzelnen UAS während einer Mission optimal verteilt und planungsrelevante Daten zwischen den Einheiten zeitnah ausgetauscht werden.



Flugkampagne mit mehreren UAS am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme

Erprobung neuer Konzepte

Das Institut erprobt und bewertet regelmäßig zusammen mit Anwendern völlig neue Verfahren, um beispielsweise frühzeitig Konflikte zwischen (unbemannten) Luftfahrzeugen zu erkennen und so kritischen Situationen zu begegnen. Dies geschieht zuerst in gesicherten Simulationsumgebungen des institutseigenen Validierungszentrums Luftverkehr. In einem zweiten Schritt werden Flugversuche durchgeführt, bei denen unbemannte Flug-erprobungsträger und Bodenkontrollstationen des DLR oder von Partnern zum Einsatz kommen.



Neue Luftverkehrsteilnehmer flexibel integrieren

Im Rahmen der zunehmenden Integration von unbemannten Luftfahrzeugen in den Luftraum ist eine Neubewertung und Anpassung der bestehenden Luftverkehrsmanagementkonzepte unerlässlich. Die signifikanten Unterschiede in den Betriebseigenschaften, Leistungsmerkmalen und Einsatzprofilen von UAS im Vergleich zur bemannten Luftfahrt erfordern innovative Lösungsansätze.

Das Ziel ist es, durch die Einführung neuartiger Luftraumstrukturen, digitaler operationeller Regeln und automatisierter Dienstleistungen eine nahtlose Integration zu ermöglichen. Für den Luftverkehr der Zukunft ist es entscheidend, neue Konzepte langfristig mit bewährten Systemen der konventionellen Luftfahrt zu verbinden, um Sicherheit, Effizienz und Nachhaltigkeit zu gewährleisten.

Im Projekt AREA U-space entsteht am DLR-Standort Cochstedt ein Reallabor für einen U-space-Luftraum. Es umfasst die Infrastruktur, standortspezifische Dienste für den Flughafen Magdeburg-Cochstedt (EDBC) sowie eine Simulations- und Virtualisierungsumgebung, mit der U-space-Dienste ortsunabhängig dargestellt, geprüft und erlebbar gemacht werden können.

Krisenmanagement unterstützen

Sowohl natürliche als auch menschengemachte Krisen nehmen immer wieder unvorhergesehene, häufig grenzübergreifende Ausmaße an. Unbemannte Luftfahrzeuge können dabei helfen, eine Lage schneller und effizienter zu bewerten und so eine wirkungsvolle Reaktion auf Krisen zu ermöglichen. Das Institut ist an einer Vielzahl nationaler und internationaler Krisenmanagementprojekte beteiligt.

Drohnen liefern Echtzeitbilder zur Lageerfassung und unterstützen so die gezielte Planung von Hilfeinsätzen. Einsatzkräfte können bereits vor Ankunft am Einsatzort informiert und Ressourcen frühzeitig bereitgestellt werden.

Im Rahmen von Projekten wie RESITEK führen die Forscherinnen und Forscher verfügbare und neuartige Werkzeuge, Methoden und Technologien des Krisenmanagements zusammen und demonstrieren ihre Verwendbarkeit in verschiedenen Szenarien und Umgebungen. Das Gesamtsystem von RESITEK zeigt den Nutzen für das Krisenmanagement in simulierten Szenarien eines Sturms sowie einer Hochwasserkatastrophe.

Ein zentraler Bestandteil dieser Demonstrationen ist das gemeinsame Luftlagebild, das sowohl unbemannte als auch bemannte Flugzeuge einbezieht. Auf diese Weise können Missionen von beispielsweise Kameradrohnen und Rettungshubschraubern sicher, effizient und gleichzeitig durchgeführt werden.

Innovative Air Mobility erforschen

Innovative Air Mobility (IAM) bezeichnet (nach EASA-Definition) die sichere und nachhaltige Luftmobilität von Gütern und Passagieren. IAM wird durch eine neue Generation von Technologien und Fluggeräten ermöglicht, die in ein multi- bzw. intermodales Transportsystem integriert sind.

Diese neuen Mobilitätskonzepte erfordern eine ganzheitliche Betrachtung aller Systemkomponenten von Luftraumorganisation und Infrastruktur über Kommunikations- und Navigationssysteme bis hin zu Aspekten wie Nachhaltigkeit und Akzeptanz. Im Projekt HorizonUAM und dem Nachfolgeprojekt IAM-OSA (Innovative Air Mobility for Optimal Sustainability and Accessibility) werden die Kompetenzen des DLR gebündelt, um innovative Lösungen für IAM zu den zentralen Fragestellungen zu validieren.

In VERTIFIED (Vertiport Research Infrastructure for Innovation Exploration and Demonstration) wird ein modularer Vertiport-Demonstrator für den skalierbaren Passagier- und Frachttransport entwickelt. Dieser kann in Flughafenumgebungen oder städtischen Räumen Lösungen und Handlungsempfehlungen für reale Implementierungen aufzeigen und künftig auch externen Nutzern zur Verfügung stehen.

Institutsdirektor

Prof. Dr.-Ing. Dirk Kügler

Das Institut unterstützt Partner und Projektbeteiligte wie zum Beispiel Wings For Aid in der Logistik der humanitären Hilfe bei der Erprobung unbemannter Luftfahrzeuge.



Institut für Flugsystemtechnik (FT)

Ziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeit am Institut für Flugsystemtechnik ist der effektive, effiziente und sichere Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge auch unter schwierigen Betriebsbedingungen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird das Fähigkeitspektrum von Drohnen stetig erweitert. In Flugexperimenten werden neue Technologien realitätsnah erprobt und deren Leistungsfähigkeit validiert. Durch die ganzheitliche Betrachtung der systemtechnischen Wirkketten, der Betriebssicherheit sowie der Standardisierung und Zertifizierung werden neue, gesellschaftlich relevante Anwendungsfelder für Drohnen erschlossen.

UAS-Experimentalbetrieb – die Vielfalt von Drohnen

Zur Durchführung der Forschungsarbeiten betreibt das Institut für Flugsystemtechnik eine Flotte unbemannter Luftfahrzeuge als Demonstrationsplattformen und Versuchsträger. Neben mehreren unbemannten Hubschraubern und Multikoptern unterschiedlicher Größe werden ebenso Flächenflugzeuge und Tragschrauber für die Erprobung neuer Technologien eingesetzt.

Effektiver, effizienter und sicherer Einsatz von UAS auch unter schwierigen Betriebsbedingungen

Die Forschung zum Thema unbemannter Frachttransport erfordert die Betrachtung größerer Drohnen mit hoher Reichweite und Nutzlastkapazität. Dies stellt neue Herausforderungen für den Experimentalbetrieb dar. Um den Betrieb solcher Frachtdrohnen zu ermöglichen, werden am Institut für Flugsystemtechnik innovative Bodenkontrollstationen für die Flugerprobung entwickelt. Mit Partnern aus der Industrie, wie z. B. Wings For Aid, werden praxisnahe und für die Forschung essenzielle Erfahrungen gesammelt.

Auch die Umsetzung skaliert Flugversuche erweitert das Spektrum der Drohnenkonfigurationen und -fähigkeiten im Experimen-

talbetrieb. Im Projekt morphAIR werden morphende, also bewegliche, Flügelstrukturen entwickelt und mit einer KI-basierten Flugregelung kombiniert. Diese Technologie bietet ein hohes Optimierungspotenzial hinsichtlich der Aerodynamik und der Steuerbarkeit von Flugzeugen. Der Einsatz skaliert unbemannter Versuchsträger ermöglicht schnelle Iterationsschleifen in der Forschung an dieser Technologie.

Digitalisierung der Entwicklung und Flugerprobung

Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Industrie erfordert immer kürzere und schnellere Innovations- und Entwicklungszyklen – auch für komplexe Systeme, wie unbemannte Luftfahrzeuge. Der verstärkte Einsatz von Virtualisierungstechnologien wird dies in Zukunft ermöglichen und den Zeitaufwand, die Kosten und die Risiken der Flugerprobung senken. Damit wird die Zeit bis zur Marktreife verkürzt und die Zertifizierung der Systeme erleichtert. Insbesondere für den verstärkten Einsatz von KI sind durch Virtualisierungen gestützte Entwicklungsprozesse essenziell.

Um das Potenzial von Virtualisierungstechnologien zu heben, stellt das Institut für Flugsystemtechnik umfangreiche Infrastruktur bereit, die virtuelles Entwickeln und Testen, von Simulationen bis hin zur realen Flugerprobung, ermöglicht.



Mit skalierten schnell fliegenden Flugdemonstratoren werden neue Technologien in Flugexperimenten erprobt, beispielsweise morphende Flügelstrukturen oder KI-basierte Flugregelung.

Die automatische Landung auf einem Schiffsdeck ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die jedoch für den Einsatz von UAS im maritimen Umfeld unerlässlich ist.



Drohnenbetrieb im maritimen Umfeld

Ob zum Schutz von Infrastruktur, für Logistik oder zur Inspektion – der Einsatz von Drohnen im maritimen Umfeld bietet eine flexible und kosteneffiziente Lösung zur Bewältigung verschiedenster Aufgaben. Deshalb wird am Institut für Flugsystemtechnik an den Herausforderungen und erforderlichen Technologien für den autonomen Betrieb von Drohnen im maritimen Umfeld geforscht. Im Fokus stehen dabei die Allwetterfähigkeit, die KI-gestützte Umgebungswahrnehmung, die bordautonome Voraus- und Umlanung der Mission sowie die präzise und sichere Landung auf Schiffsdecks und auf maritimer Infrastruktur wie Windkraftanlagen.

Schwärme und Teams – Multi-UAS-Systeme

Drohnenschwärme und -teams gewinnen an Relevanz für die Praxis und treiben die Forschungsthemen Missionsautonomie und Drohneninteraktion voran. Für den experimentellen Forschungsbetrieb ergeben sich daraus neue Herausforderungen hinsichtlich Skalierbarkeit und Digitalisierung, beispielsweise die Realisierung hybrider Flugversuche mit virtuellen und realen Drohnen. Die Forschung an Multi-UAS-Systemen befasst sich mit der robusten, verteilten Missionsdurchführung auch unter Einsatz heterogener Systeme. Der Einsatz zahlreicher, flexibel konfigurierbarer Drohnen kann das Fähigkeitsspektrum gegenüber dem Einsatz einzelner Drohnen erheblich erweitern, was Vorteile in zivilen, militärischen und hoheitlichen Anwendungen bietet.

Drohnenabwehr zum Schutz ziviler Infrastruktur

Die zunehmende Verbreitung von Drohnen erhöht das Schutzbedürfnis vor Bedrohungen durch Drohnen, von unbeabsichtigtem Eindringen in geschützte Lufträume bis hin zu terroristischen Angriffen auf kritische Infrastruktur. Die Forschung zu diesem Thema adressiert die gesamte Wirkkette von der Detektion bis zur erfolgreichen Bekämpfung der Gefährder-Drohne mittels innovativer Abwehdrohnen und Effektoren. Im Rahmen dieser Tätigkeiten unterstützt das Institut für Flugsystemtechnik Einsatzkräfte der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) in Einsatz- und Trainingslagen mit unseren Systemen und unserer Expertise.



Die Detektion von Drohnen ist der erste Schritt für eine erfolgreiche Drohnenabwehr. Das DLR-Institut für Flugsystemtechnik unterstützt Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) beim Schutz kritischer Infrastruktur.

Sichere Autonomie – KI und Nachweisführung

Die Erhöhung der Autonomie von UAS sowie die Absicherung der dafür erforderlichen Technologien, wie künstlicher Intelligenz, ist ein weiteres Forschungsfeld im Kontext der unbemannten Luftfahrt. Am Institut für Flugsystemtechnik wird für die Realisierung sicherer Autonomie ein mehrteiliger Ansatz verfolgt: Erstens werden Drohnen dazu befähigt, selbstständig Risiken zu erkennen, Situationen zu bewerten und sicherheitsbewusst zu reagieren. Zweitens werden tragfähige Konzepte zur Absicherung und zur Nachweisführung komplexer Systeme sowie neuer, bordseitig integrierter Technologien entwickelt. Drittens wird zur Zertifizierung und Standardisierung neuer Technologien und Systemarchitekturen beigetragen, die den autonomen Betrieb von UAS ermöglichen.

Institutsdirektoren (komm.)

Prof. Dr. Christoph Keßler und Dr. Andreas Bierig

*Forschungsflugzeug DO228-101 (D-CODE) – Erforschung neuer Technologien
zum sicheren Betrieb von UAV im kontrollierten, zivilen Luftraum*



Flugexperimente (FX)

Die Einrichtung Flugexperimente des DLR betreibt mit elf Flugzeugen und zwei Hubschraubern die größte Flotte an Forschungsflugfahrzeugen in Europa und trägt mit diesen bemannten Luftfahrzeugen auch zur UAS-Forschung bei. Dadurch besteht beispielsweise die Möglichkeit, Grundlagenforschung im kontrollierten Luftraum, über große Distanzen und gemeinsam mit UAS-Systemen zu erproben, da der Pilot oder die Pilotin im Fehlerfall jederzeit die Kontrolle übernehmen kann.

DO228-101 (D-CODE) – nationaler Erprobungsträger UAS

Das Luftfahrzeugmuster DO228 ist ein zweimotoriges turbinengetriebenes Propellerflugzeug mit Kurzstart- und -landefähigkeit (STOL), das von der Firma Dornier als Light Transport Aircraft entwickelt wurde.

Automatische Ausweichmanöver mittels digitalem Autopiloten in der DO228 des DLR

Die D-CODE des DLR wurde umfangreich modifiziert, sodass das Luftfahrzeug unter anderem über einen digitalen Autopiloten, eine Stromversorgung für Versuchsein- und -umbauten, eine Messanlage zur Aufzeichnung der nötigen Versuchsparameter und über eine Präzisionsnavigationsausrüstung verfügt. Mit geringem Aufwand kann die D-CODE für den jeweiligen Versuch weiter modifiziert werden. Hier ist von Vorteil, dass die DO228 keinen Druckrumpf besitzt und die Kabine durch die Geometrie ausreichend Platz für 19-Zoll-Racks sowie die am Versuch beteiligten Operatoren bietet.

Ein Forschungsschwerpunkt der D-CODE war in den letzten Jahren die Erprobung neuer Technologien zum sicheren Betrieb von UAS (RPAS) im kontrollierten, zivilen Luftraum. Der digitale Autopilot erlaubt die Anbindung externer experimenteller Flight-Management-Systeme. Der nutzbare Datenlink erlaubt die Fernführbarkeit analog operationeller RPAS-Systeme und die



*DO228-101 (D-CODE) mit instrumentiertem Schacht –
Fernführung über Datenlink und digitalen Autopiloten zur
Übertragung von Bilddaten an ein Lagezentrum*

Übertragung von versuchsseitig verbauten Sensordaten. Über verschiedene Projekte der jüngsten Vergangenheit wurde die D-CODE weiterentwickelt, sodass dieser Forschungsträger eine große Bandbreite zur Forschung im Bereich UAS bietet. Verschiedene Sensorik kann über den existierenden Datenlink von der vorhandenen Bodenstation abgefragt werden, wie auch über diesen Link die D-CODE in allen Lufträumen ferngeführt werden kann. Darüber hinaus ist das Flugzeug als bemannte fliegende Versuchsplattform in das Validierungszentrum Luftverkehr des DLR-Instituts für Flugführung eingebunden.

Die D-CODE lässt sich mit Projektpartnern damit so ausrüsten, dass sie, neben der Sensorik zur sicheren Erkennung (mit relativem Heading, rel. Altitude, Geschwindigkeiten, Track-Differenz) eines nicht kooperativen Luftfahrzeuges, auch automatisch ausweicht. Dies ist möglich, da nach der Sensordatenfusion die Daten mit erprobten Avoid-Algorithmen errechnet an das experimentelle Flight-Management-System übergeben werden, die über den digitalen Autopiloten der D-CODE, ohne Eingriff der DLR-Testpiloten an Bord, das sichere Ausweichmanöver einleiten.



Der Forschungshubschrauber EC 135 ACT/FHS (D-HFHS) im Teaming mit unbemannten Luftfahrzeugen

Das Zusammenwirken von bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen in einem gemeinsamen Luftraum als fliegende Formation stellt eine besondere Herausforderung dar. In diesem Szenario kann die Führung des unbemannten Luftfahrzeugs aus dem mitfliegenden Hubschrauber heraus oder automatisch erfolgen. In diesem Kontext müssen unter anderem verschiedene Strategien zum automatisierten Verbandsflug erprobt und hinsichtlich der Pilotenerwartung bewertet sowie die Sichtbarkeit des unbemannten Luftfahrzeugs untersucht werden. Der Schwerpunkt der Einrichtung Flugexperimente in diesem Themenkomplex liegt zudem in der Erstellung eines allgemeinen Sicherheitskonzeptes für das Fliegen eines bemannten und unbemannten Luftfahrzeugs in einem gemeinsamen Missionsluftraum und in der Bewertung der erprobten Ansätze aus der Sicht des Hubschrauberpiloten. Den Schwerpunkt des Instituts für Flugsystemtechnik bildete unter anderem die Ertüchtigung des unbemannten Forschungs-UAS superARTIS, die Entwicklung der gesamten Software sowie der im ACT/FHS integrierten Systeme und Displays. Die realen Teaming-Flugversuche mit dem DLR-Forschungshubschrauber EC 135 ACT/FHS und dem Forschungs-UAS superARTIS wurden in Cochstedt durchgeführt.

Falcon 2000LX ISTAR (D-BDLR) als UAS-Testbed

Ein weiteres Mitglied der DLR-Forschungsluftfahrzeuge – die Dassault Falcon 2000LX – ist unter dem Namen „ISTAR“ (In-Flight Systems and Technologies Airborne Research) seit dem 31. Januar 2020 im Einsatz.



Falcon 2000LX ISTAR

Mit ISTAR hat das DLR einen Flugversuchsträger, mit dem aktuell und zukünftig an neuen Technologien gearbeitet wird, beispielsweise an deutlich effizienteren Flugzeugen und der Validierung von Simulationsmethoden. In den kommenden Jahren wird das Flugzeug zum In-Flight-Simulator ausgebaut, um beispielsweise das Flugverhalten neuer Flugzeuge demonstrieren zu können. In Abhängigkeit der jeweils realisierten Funktionalitäten wird ISTAR ab Fertigstellung für erste wissenschaftliche Forschungsprojekte im Kontext der UAS-Forschung eingesetzt.

Zukünftige UAS-Themen sind:

- autonome Flugsteuerungsfunktionen
- Integration eines UAS in den zivilen Luftraum
- Sense-and-Avoid-Szenarien
- Gesamtsystemarchitektur eines Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)

Einrichtungsleiter

Dr. Olaf Brodersen



Galileo Kompetenzzentrum (GK)

Das Galileo Kompetenzzentrum (GK) widmet sich als zentrale Aufgabe der Weiterentwicklung des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo, um Europa bei der Bereitstellung der bestmöglichen Navigationstechnologien zu unterstützen. In Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Instituten und Einrichtungen des DLR, weiteren Forschungspartnern und der Industrie werden dafür unter anderem die Performance von Galileo und anderen existierenden GNS-Systemen analysiert, neue Ideen und vielversprechende Technologien entwickelt, getestet und validiert.

Die Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Globalen Satellitenavigation (GNSS) spielt eine immer entscheidendere Rolle. In der Luftfahrt trifft dies im Speziellen zu, da hier in Zukunft auf ausschließlich GNSS-basierte Führungssysteme zugegriffen werden soll, um insbesondere in infrastrukturell schwachen Regionen eine sichere Landung zu ermöglichen. Daher benötigen Flughäfen Analysen betreffend Signalgüte und Performance von GNSS-Systemen unter verschiedenen Einsatzszenarien in nahezu Echtzeit, um entscheidungsfähig zu bleiben.

Hierfür ist im Galileo Kompetenzzentrum eine GNSS-Monitorstation entwickelt worden, die eine Drohne als mobile Station nutzt. Die auf der Drohne platzierte GNSS-Monitorstation überträgt die aktuell aufgezeichneten Daten in Echtzeit an eine zentrale Stelle, die neben lokalen GNSS-Informationen auch weltweit gewonnene Daten verarbeitet, um eine bestmögliche Qualitätsaussage für den lokalen Standort zu erhalten. Dadurch wird ermöglicht, Auswirkungen auf die lokale GNSS-Verfügbarkeit und -Performance mit hinreichender Wahrscheinlichkeit vorherzusagen. Durch den Einsatz von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) als Träger ist es möglich, in abgelegenen, mit Fahrzeugen nicht erreichbaren Gebieten die Verfügbarkeit und Qualität von GNSS-Signalen zu bestimmen.

UAS sind außerdem eine ideale Plattform für die Anwendung der Sensorfusion von GNSS in Kombination mit anderen Sensoren. Die bei UAS-Messkampagnen gewonnenen Daten sind eine gute Quelle für die Entwicklung und Validierung neuer Algorithmen zur Sensorfusion. Ein besonderes Interesse des Galileo Kompetenzzentrums ist in diesem Zusammenhang die Nutzung von KI-basierten Ansätzen für die Sensorfusion. Zusammen mit der Universität Augsburg werden Aktivitäten unternommen, um Fortschritte auf diesem Gebiet zu erreichen.

Einsatz von UAS zur Evaluation der GNSS-Verfügbarkeit und Signalqualität – selbst in unwegsamem Gelände

UAS können außerdem in der GNSS-Metrologie eingesetzt werden, um sonst schwer erreichbare relevante Sensordaten zu erhalten. Im Falle der Überwachung von städtischen Wärmeinseln kann GNSS zur Ergänzung bestehender Lösungen wie der Fernerkundung per Satellit oder bodengestützter Temperatursensoren eingesetzt werden. Mit GNSS kann die Temperatur in der Luftsäule über dem Empfänger bestimmt und so die räumliche und zeitliche Auflösung der Beobachtungen erhöht werden. In diesem Fall können Drohnen die Temperaturmessungen in verschiedenen Höhen der Luftsäule übernehmen, um die im Rahmen eines Projektes in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) entwickelten Algorithmen zu validieren und zu verbessern.

Einrichtungsleiter

Harald Hofmann

Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF)

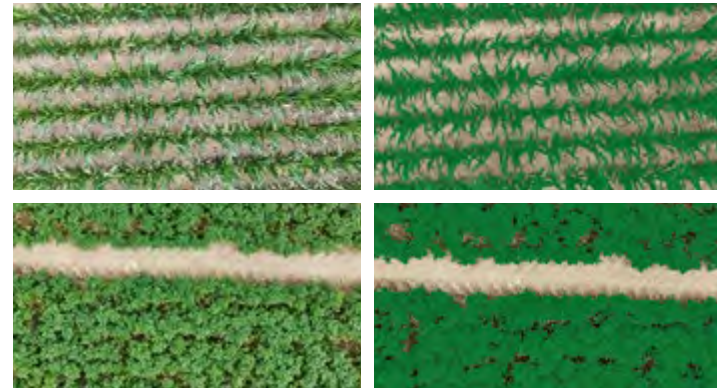
Im Rahmen des Projekts **Drone4Good** werden neue Technologien entwickelt und getestet, um die humanitäre Hilfe mithilfe von Drohnen und Künstlicher Intelligenz (KI) im Krisenfall zu unterstützen. Das erste Ziel ist es, den Hilfskräften aktuelle Informationen über beschädigte Gebäude, das aktuelle Straßennetz und bedürftige Menschen, die von ihrer Umgebung abgeschnitten sind, zur Verfügung zu stellen, indem die von Drohnen aufgenommenen und verarbeiteten Bilder in Echtzeit analysiert werden. Das zweite Ziel besteht darin, Techniken für den sicheren Abwurf von Hilfsgütern durch Drohnen zu entwickeln. Dabei sollen sowohl Personen als auch die darunterliegende Infrastruktur geschützt werden, indem aktuelle Informationen in die Flugplanung einfließen und Menschen in der Umgebung der Drohne zuverlässig erkannt werden. Das Projekt ist eine Zusammenarbeit zwischen dem IMF und den DLR-Instituten für Optische Sensorsysteme, Flugsystemtechnik und dem Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme.

Humanitäre Hilfe im Krisenfall mithilfe von Drohnen und KI

Ziel des **SaiNSOR**-Projekts ist es, grundlegende Technologien und Methoden zu entwickeln und diese in konkrete Messsysteme für programmübergreifende Anwendungen umzusetzen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der engen Verknüpfung von Sensorik und Datenverarbeitung mit Methoden der Künstlichen Intelligenz. Die Hauptaufgabe des IMF im Rahmen des Projekts ist die Entwicklung, Implementierung und Evaluierung von Deep-Learning-basierten Ansätzen für die Extraktion von Informationen aus Luftbildern an Bord. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Erkennung von Autos und Personen sowie der Segmentierung von Straßen und Gebäuden in Echtzeit an Bord einer Drohne, eines Hubschraubers oder eines Flugzeugs. Die Schnittstelle wird in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Optische Sensorsysteme und dem Institut für Flugsystemtechnik entwickelt. Die Methoden werden mit den Kamerasystemen 4K und MACS (Modular Aerial Camera System) getestet.

Partielle Vegetationsbedeckung

Die zunehmende Verfügbarkeit von weltraumgestützten Hyperspektralbildern im Rahmen von Missionen wie EnMAP und DESIS sowie der kommenden CHIME- und SBG-Missionen ermöglicht häufige und groß angelegte Analysen der partiellen Vegetationsbedeckung. Das Earth Observation Center des DLR hat einen Prozessor für die partielle Vegetationsbedeckung entwickelt, der die Sub-Pixel-Häufigkeit von photosynthetisch aktiver Vegetation (PV), nicht-photosynthetisch aktiver Vegetation (NPV) und offenen Böden (BS) aus den Bildern berechnet. Diese Sub-Pixel-Informationen dienen als Input für die Modellierung von Bodenparametern, der Überwachung der Bodenerosion sowie der Identifizierung von



Links: UAV-aufgenommenes RGB-Bild von landwirtschaftlichen Feldern.

Rechts: das entsprechende Bild überlagert mit einer Klassifizierungsmaske (in grün), die durch die kombinierte Anwendung von U-Net-basierter Segmentierung und Support-Vector-Machine-Klassifizierung (SVM) erzeugt wurde.

Bodendegradation. Für operationelle Prozessoren sind großflächig erhobene Validierungsdatensätze erforderlich, um zuverlässige Genauigkeits- und Unsicherheitsmaße für die aus EO-Daten abgeleiteten Produkte zu liefern. In diesem Zusammenhang hat das IMF eine Prozessierungskette entwickelt, die RGB-UAV-Bilder und -Videos nutzt und mittels Segmentierung und Klassifizierung von individuellen Aufnahmen PV, NPV und BS ableiten kann. Diese Prozessierungskette kombiniert U-Net-basierende-Segmentierung mit einer Support-Vector-Machine-Klassifizierung. Die daraus resultierenden Ergebnisse liefern einen robusten Datensatz, der für die Validierung der abgeleiteten Vegetationsbedeckung aus Hyperspektralbildern genutzt werden kann.

Direktor IMF (komm.)

Prof. Dr. Michael Eineder

Im Forschungsprojekt „Future General Aviation Aircraft“ entstanden neue Entwurfsmethoden und -tools für Kleinflugzeuge, ein klimaverträglicher Hybrid-Flugzeugentwurf sowie die Ausgründung der Muuv GmbH durch Florian Will und Felix Ladwein.



Technologien für Kleinflugzeuge (KF)

Die Einrichtung Technologien für Kleinflugzeuge in der Städteregion Aachen betreibt zur Erforschung des elektrischen und hybrid-elektrischen Fliegens das Innovationszentrum für Kleinflugzeug-Technologien (INK). Im INK werden in interdisziplinären Teams aus verschiedenen Instituten neue Lösungsansätze für innovative Technologien für bemannte Kleinflugzeuge erforscht und demonstriert. Es ist eng verbunden mit dem Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme – zum einen bei der Erprobung neuer Technologien, zum anderen aufgrund der teilweise ähnlichen technologischen Lösungsansätze für die bemannten und unbemannten Systeme selbst.

Forschung, Erprobung und Demonstration direkt am Forschungsflugplatz

Der Herausforderung einer klimaverträglichen Zukunft der Luftfahrt begegnet das DLR strategisch und setzt nicht nur auf anwendungsnahe Forschung und den Aufbau eines nachhaltigen regionalen Netzwerks aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft, sondern auch auf die unmittelbare Nähe zu den regionalen Flugplätzen. Der Standort der Einrichtung Technologien für Kleinflugzeuge befindet sich zu diesem Zweck in der Nähe des Forschungsflugplatzes Würselen-Aachen. Künftig soll dort ein neues, nachhaltiges Hangargebäude mit entsprechender Forschungsinfrastruktur für den langfristigen Betrieb entstehen.

Neue Luftfahrzeugkonzepte für eine nachhaltige urbane und regionale Mobilität

Die erste Zuwendung für dieses Planungsprojekt – gefördert durch den Bund und das Land Nordrhein-Westfalen – wurde im Mai 2025 bewilligt. Die Einrichtung Technologien für Kleinflugzeuge wurde im Zuge des Kohleausstiegs gegründet und unterstützt den Strukturwandel im Rheinischen Revier, etwa durch die Ansiedlung hoch qualifizierter Fachkräfte, innovative Forschung und Technologietransfer.

Innovationszentrum für Kleinflugzeug- Technologien (INK)

Komplementär zum Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme wird bei der Einrichtung Technologien für Kleinflugzeuge an Technologien für die bemannte Luftfahrt mit kleinen Fluggeräten geforscht. Hierzu werden neue Lösungsansätze und innovative Technologien für Kleinflugzeuge entwickelt, beispielsweise in den Bereichen des Fluglärms, Leichtbaus



Im Rahmen des Projekts D-LIGHT+ erfolgt eine detaillierte Untersuchung eines neunsitzigen wasserstoffelektrisch angetriebenen Commuterflugzeugs.

oder (hybrid-)elektrischer Antriebe. Aktuell arbeiten rund 65 Personen aus 16 DLR-Instituten im INK (Stand: 2025). Das derzeit größte wissenschaftliche Projekt D-LIGHT+ baut auf den Resultaten der vorangegangenen Projekte D-LIGHT (Digital Climate Neutral Light Aircraft) und FGAA (Future General Aviation Aircraft) auf. Es erweitert den Entwurfsprozess und die entwickelten Methoden und untersucht die Verwendung neuer Komponenten und Technologiebausteine. Gebaut und getestet werden repräsentative Demonstratoren einer Antriebsgondel, eines Flügel-segments und eines Wasserstofftanks.

Einrichtungsleiter
Dr.-Ing. Gerrit von Borries

Im Projekt CySNAB wird das Konzept eines cybersicheren automatisierten Landesystems (GBAS) entwickelt. Für Testflüge mit echten Interferenz- und Spoofing-Signalen wurde ein DLR-Forschungsflugzeug ausgerüstet.



Institut für Kommunikation und Navigation (KN)

Das Institut für Kommunikation und Navigation widmet sich der missionsorientierten Forschung in ausgewählten Bereichen der Kommunikation und Navigation. Seine Arbeiten reichen dabei von den theoretischen Grundlagen bis hin zur Demonstration neuer Verfahren und Systeme im realen Umfeld und sind in die DLR-Programme Raumfahrt, Luftfahrt, Verkehr sowie Sicherheit und Digitalisierung eingebettet.

Die Forschungsarbeiten des Instituts im Bereich der Luftfahrt umfassen die aeronautische Kommunikation, Navigation und Überwachung (Communication, Navigation, and Surveillance; CNS). Das Institut betreibt die aktuelle, weltweite Modernisierung des Luftverkehrsmanagements (Air Traffic Management; ATM) in führender Position durch Entwicklung und Validierung neuer, leistungsfähiger, cybersicherer und robuster CNS-Technologien. Dies gilt sowohl für die klassische zivile Luftfahrt als auch für UAS. Für UAS werden angepasste CNS-Technologien für durch Fernsteuerpiloten geführte Flugzeuge (Remotely Piloted Aircraft System; RPAS) entwickelt, welche die sichere Integration in den zivilen, kontrollierten Luftraum ermöglichen. Darüber hinaus werden für Drohnen im urbanen Umfeld CNS-Technologien entwickelt, die das neu zu etablierende Luftverkehrsmanagement für das UAM-Konzept im unteren, unkontrollierten Luftraum unterstützen, absichern und ein hohes Maß an Autonomie ermöglichen.

Cybersichere und robuste CNS-Technologien

Als Querschnittsthema spielt CNS in allen Projekten dieser Broschüre eine entscheidende Rolle und sorgt für die notwendige Informationsgewinnung und -verteilung. Darüber hinaus ermöglichen die CNS-Technologien die Steuerung und Überwachung von Drohnen und RPAS, um diese sicher und effizient führen zu können. Damit Steuerinformationen und Sensordaten nicht verfälscht oder deren Übertragung gestört werden kann, sind

CNS-Technologien für Drohnen und RPAS cybersicher und robust auszuliegen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der steigenden Autonomie und Automatisierung der unbemannten Flugsysteme.

Die aktuellen CNS-Forschungsarbeiten des Instituts umfassen unter anderem die Entwicklung und Validierung eines robusten und cybersicheren Datenlinks zur Steuerung von RPAS, das Design eines Sicherheitsnetzes für Drohnen durch ein kooperatives Überwachungssystem, die Entwicklung von robusten, genauen und integritätsabgesicherten multisensoriellen Systemen zur Eigenpositionsbestimmung sowie von darin einbezogenen lokal am Vertiport installierten Unterstützungssystemen (Urban Ground Based Augmentation System, uGBAS). Zentral bei diesen Arbeiten, aber auch bei der klassischen Luftfahrt, sind neuartige miniaturisierte Navigationsempfänger, die insbesondere gegen aktive Störungen durch Jamming und Spoofing immun sind. Im Hinblick auf Sicherheitsfragen arbeitet das Institut darüber hinaus an der Abwehr von Drohnen durch gezieltes Umleiten mittels GNSS-Spoofing.

Die Abwehr von Bedrohungsszenarien kann durch gezieltes Umleiten von Drohnen mittels GNSS-Spoofing erfolgen.

Das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt stellt die optimale Infrastruktur zur Verfügung, um die neu entwickelten CNS-Technologien ausführlich in realistischer Umgebung auch unter Berücksichtigung von Störeinflüssen zu validieren und zu bewerten.

In einem kontrollierten Rahmen werden GNSS-Stör- und Täuschungsversuche in der Luftfahrt simuliert. Dabei werden die im Institut entwickelten Technologien für Gegenmaßnahmen erprobt.



Robuste Navigation

Ein Forschungsschwerpunkt des Instituts für Kommunikation und Navigation sind Mehrantennenempfänger für die Satellitenavigation, die gegen bewusste Störungen durch Dritte im elektromagnetischen Spektrum durch Jamming oder Spoofing robust sind. Dies betrifft sowohl etablierte Navigationssysteme wie GPS oder Galileo aber auch neuartige Systeme wie LEO PNT und zukünftige Generationen vorgenannter Systeme. Um diese leistungsfähige Technologie auch auf UAS nutzen zu können, hat sich das Institut die Miniaturisierung der notwendigen Empfängerhardware und die Entwicklung einer daran angepassten neuen Signalverarbeitung zum Ziel gesetzt. KN verfügt über Expertise in der gesamten Signalkette von GNSS-Empfängern: Antennen, Hochfrequenztechnik, analoge und digitale Signalverarbeitung sowie Aufbereitung der Informationen für die robuste und abgesicherte Positionsbestimmung in verschiedenen Anwendungen.

Für den UAS-Bereich werden die miniaturisierten GNSS-Empfänger zusätzlich mit weiterer Sensorik ausgestattet. Hierunter sind Beschleunigungs- und Drehratensensoren, aber auch Kompass, Barometer und Kameras zu verstehen. In Zusammenarbeit mit der Satellitenavigation liefern diese Sensoren eine genauere und verlässlichere Positionsinformation (Sensordatenfusion). Das DLR gestaltet seit mehreren Jahren in zentraler Rolle bodengebundene Unterstützungssysteme für Präzisionslande-anflüge in der zivilen Luftfahrt (GBAS). Ausgehend von diesen Arbeiten entwickelt das Institut im Bereich UAS daraus abgeleitete neue Konzepte zur Führung des Drohnenverkehrs speziell in anspruchsvollen, urbanen Szenarien. Die Verknüpfung solcher lokalen GNSS-Referenzen mit präziseren Satellitenavigationssignalen und multisensoriellen Messdaten zu einer integritätsüberwachten Gesamtpositionsbestimmung ist die wesentliche Grundlage für die Gewährleistung einer zuverlässigen und robusten Navigation für zukünftige UAS-Anwendungen. Am Flughafen Cochstedt werden derartige Gesamtsysteme experimentell im realitätsnahen Umfeld in einer Modellstadt erprobt und die Entwicklung damit vorangetrieben.

Counter-UAV

Die Entwicklung und Nutzung von unbemannten Luftfahrzeugen nimmt stetig zu, was eine Vielzahl neuer Anwendungsfelder eröffnet, aber gleichzeitig neue Bedrohungsszenarien entstehen lässt. Das DLR entwickelt im Zusammenspiel mehrerer Institute




Flugversuche im Rahmen des Projektes HorizonUAM am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme – hier ein Haltepunkt für den städtischen Raum, ein sogenannter Vertiport

daher Technologien und Gesamtsystemansätze zur Abwehr unerwünschter UAS. Dabei werden die Bedrohungen zunächst in einem Multisensor-Ansatz mittels Radar und optischen Verfahren detektiert, entsprechende UAS verfolgt und Gegenmaßnahmen eingeleitet. Das Institut für Kommunikation und Navigation entwickelt Verfahren, die eindringende Drohnen im elektromagnetischen Spektrum durch die Generierung von GNSS-Täuschsignalen (Spoofing) übernehmen, abfangen und bekämpfen. Dabei wird die Positions-messung des Satellitenavigationsempfängers der Drohne manipuliert, um eine Drohne gezielt in einen Bereich zu navigieren, in dem kein Schaden mehr durch den Einsatz der Drohnen-Nutzlast entstehen kann, und dort gegebenenfalls sicher gelandet oder zum Absturz gebracht. Solche Spoofing-basierten Systeme werden für den Perimeter-schutz, die gezielte Abwehr einzelner Drohnen, aber auch die Abwehr von Schwärmen von Drohnen entwickelt. Dabei kommen sowohl bodenbasierte Ansätze als auch entsprechend ausgestattete neuartige Abfangdrohnen zum Einsatz. Am Flughafen Cochstedt werden diese neuen Technologien zur Drohnen-abwehr und zugehörige Gesamtsystemansätze erprobt und analysiert.

Institutsdirektor

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Florian David

A large, yellow, electric Vertical Take-Off and Landing (eVTOL) aircraft is shown in flight, viewed from below. It has a sleek, aerodynamic design with a single large propeller at the rear. The aircraft is flying over a cityscape, with the sun low on the horizon, creating a warm, golden glow. The city below is densely packed with buildings, and a large body of water is visible in the foreground. The aircraft is positioned in the upper left corner of the frame, with its propeller and landing gear clearly visible.

Simulation eines elektrisch betriebenen eVTOL über Hamburg, erstellt im Forschungsprojekt i-LUM zur Integration neuer Luftmobilitätskonzepte.

Institut für Luftverkehr (LV)

Systemische Perspektiven für eine nachhaltige, unbemannte Luftmobilität

Das DLR-Institut für Luftverkehr erforscht die komplexen Wechselwirkungen zwischen Luftverkehr, Gesellschaft, Technologie und Umwelt mit dem Ziel, fortschrittliche und nachhaltige Lösungen für den Luftverkehr zu entwickeln – auch im Bereich des unbemannten Fliegens. Durch die Fusion des Instituts für Flughafenwesen und Luftverkehr mit der Einrichtung Lufttransportsysteme bündelt das Institut seit 2023 als Institut für Luftverkehr interdisziplinäre Expertise in der systemischen Analyse, Modellierung und Bewertung innovativer Luftmobilitätslösungen.

Innovative Air Mobility als neue Mobilitätsdimension

Ein Forschungsschwerpunkt liegt auf der Entwicklung und Bewertung von Konzepten der Innovative Air Mobility (IAM). Dazu zählen sowohl der innerstädtische Luftverkehr (Urban Air Mobility, UAM) als auch regionale Luftverkehrslösungen (Regional Air Mobility, RAM). Diese Technologien könnten künftig neue Möglichkeiten zur automatisierten und lokal emissionsfreien Personen- und Güterbeförderung eröffnen. So verspricht IAM eine bessere Anbindung ländlicher Regionen und kürzere Reisezeiten in urbanen Räumen.

Bessere Anbindung ländlicher Regionen und kürzere Reisezeiten in urbanen Räumen durch Innovative Air Mobility

In laufenden und abgeschlossenen Projekten wie HorizonUAM, IAM-OSA, i-LUM, VERTIFIED und UDVeO erarbeitet das Institut zentrale Erkenntnisse zur Planung und Integration von IAM-Systemen und zu deren Folgen für Umwelt und Gesellschaft. Am Institut werden dafür unter anderem Nachfragepotenziale auf globaler und regionaler Ebene untersucht, Betriebsszenarien wie On-Demand oder Linienverkehr entwickelt, Vehikelumläufe

modelliert sowie Anforderungen an die Kapazität von Bodeninfrastrukturen (Vertiports) und den Luftraum ermittelt.

Bewertung unbemannter Luftfahrtsysteme im Gesamtsystem Luftverkehr

Die Forschungsarbeiten des Instituts berücksichtigen neben technischen und betrieblichen Aspekten auch ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Dimensionen. Beispielhaft ist die Kooperation mit Industriepartnern wie EnBW zur Bewertung von Offshore-Drohnenflügen im Projekt UDW. Hierbei werden reale Wartungs- und Instandhaltungsmissionen analysiert, um Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von Drohnen in Offshore-Windparks zu treffen.



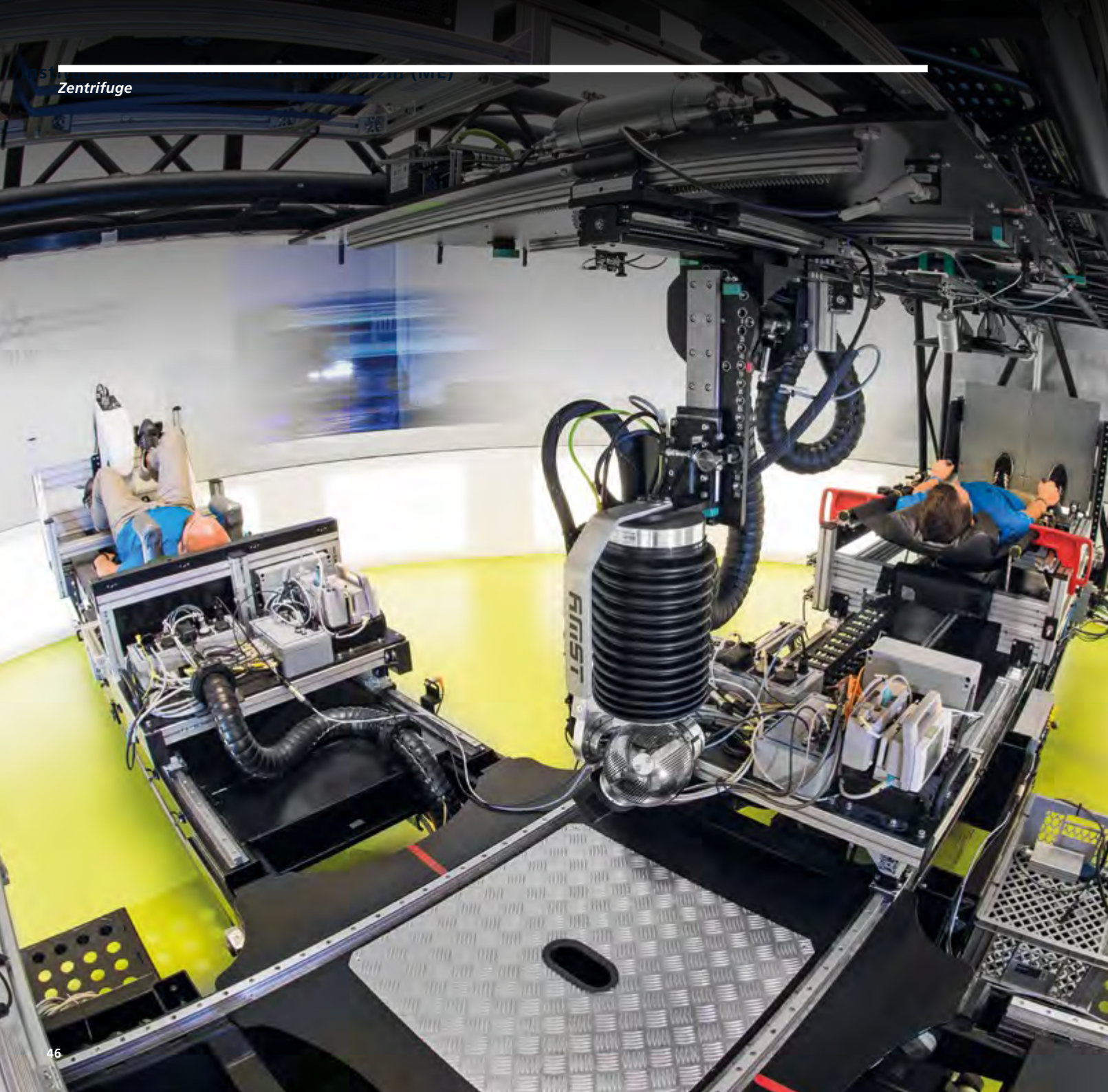
Die Karte zeigt die regionale Verteilung der im Projekt HorizonUAM berechneten potenziellen Nachfrage nach UAM in Städten in 2050, mit höheren Marktanteilen in großen Städten, insbesondere in Nordamerika, Europa und Ostasien.

In allen Arbeiten verbindet das Institut technologische Entwicklungen mit sozio-ökonomischer Systemanalyse und schafft damit wissenschaftlich fundierte Entscheidungsgrundlagen – für Politik, Industrie und Gesellschaft. Dabei kommen eigens entwickelte Modelle, Simulationstools und datenbasierte Nachfrageanalysen zum Einsatz, die unter anderem auf Mobilitätsdaten von Städten wie Hamburg beruhen.

Mit seinem integrativen Ansatz leistet das Institut für Luftverkehr einen zentralen Beitrag zur Bewertung und Gestaltung unbemannter Fluglösungen im Rahmen eines zukunftsfähigen Luftverkehrssystems. Damit trägt es wesentlich zur Identifikation wirtschaftlich tragfähiger und gesellschaftlich akzeptierter Konzepte sowie zur Definition regulatorischer Anforderungen bei.

Institutsdirektor (komm.)

Dr.-Ing. Florian Linke



Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin (ME)

Das Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin forscht interdisziplinär und translational an der Schnittstelle zwischen Medizin, Biologie, Psychologie und der Technologieentwicklung. Die übergeordnete Zielsetzung des Instituts ist der Erhalt und die Verbesserung der menschlichen Gesundheit und Leistungsfähigkeit im Weltraum, in der Luftfahrt und auf der Erde. Das Institut arbeitet eng mit führenden nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen zusammen und schafft wissenschaftliche Grundlagen, aus denen innovative Lösungsansätze für Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr abgeleitet werden.

Humanfaktoren und unbemannte Flugsysteme

Die Abteilung für Luft- und Raumfahrtpsychologie in Hamburg bearbeitet humanwissenschaftliche Fragestellungen in Bezug auf unbemannte Flugsysteme. Aktuell wird in Kooperation mit dem Institut für Flugführung ein neues Assistenzsystem für Tower-Lotsinnen und -lotsen untersucht, welches zukünftig dabei helfen könnte, unbemannte Luftfahrzeuge zum Personentransport („Flugtaxi“) in der Kontrollzone von Flughäfen zu überwachen. Dabei werden unter anderem die Auswirkungen des Einsatzes eines solchen Assistenzsystems auf Auswahl und Training von Fluglotsinnen und -lotsen erforscht. Des Weiteren wird die gesellschaftliche Akzeptanz unbemannter Flugsysteme im Rahmen von Virtual-Reality-Simulationen untersucht und die Übertragbarkeit der Ergebnisse dieser Studien auf die Realität erforscht.

**Die Kurzarm-Zentrifuge
in der luft- und raumfahrtmedizinischen
Forschungseinrichtung :envihab
 („environment“ and „habitat“)**

In bereits abgeschlossenen Projekten wurde die Akzeptanz unbemannter Flugsysteme durch die Bevölkerung in Deutschland in Telefonbefragungen betrachtet. Außerdem wurde das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtssysteme des DLR

in Cochstedt dabei unterstützt, die Akzeptanz der lokalen Bevölkerung zu berücksichtigen. Auch wurde untersucht, was Bürgerinnen und Bürgern bei möglichen Streckenführungen von Drohnenflügen wichtig wäre und wie die soziale Akzeptanz bei der Planung berücksichtigt werden kann. Weiterhin wurden psychologische Anforderungsprofile für die Steuerung verschiedener Drohnentypen definiert und die Anforderungen zwischen Pilotinnen und Piloten bemannter und unbemannter Luftfahrzeuge miteinander verglichen. Ausbildung, Training und Lizenzierung – insbesondere von Drohnenanwendern im Bereich der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) – runden das Spektrum der humanwissenschaftlichen Fragestellungen ab.

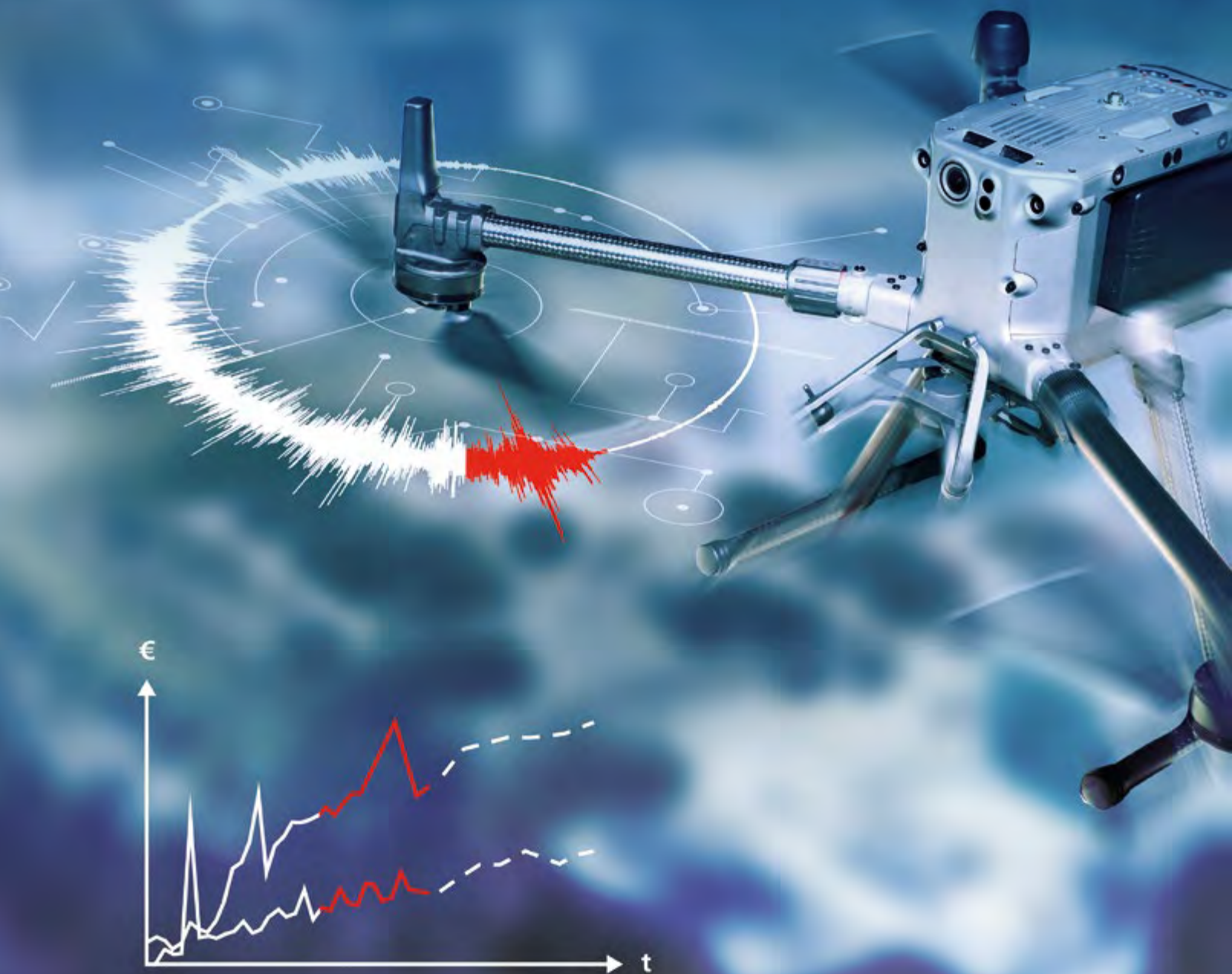


:envihab

Die Abteilung Schlaf und Humanfaktoren untersucht und bewertet die Wirkungen von Drohnenlärm auf den Menschen hinsichtlich Belästigung, kardiovaskulärer Reaktionen und potenzieller Schlafstörungen. In diesem Rahmen fanden z. B. im Auftrag der European Union Aviation Safety Agency (EASA) Untersuchungen zur Definition von Pegelgrenzwerten unterschiedlicher Drohnenklassen statt. Außerdem wird in umfangreichen Laborstudien erforscht, wie der Lärm von Flugtaxi sowohl bezüglich der Wirkung auf die Bevölkerung im Umfeld von Vertiports als auch in Bezug auf den akustischen Passagierkomfort und die Sprachverständlichkeit in der Flugtaxi-Kabine wahrgenommen und beurteilt wird. Zur Vorbereitung von großflächigen Befragungen im Feld wird eine App im Rahmen des Projekts VIRLWINT zusammen mit den Instituten für Antriebstechnik und Datenwissenschaften entwickelt und anhand von mehrstufigen Laboruntersuchungen validiert. Mit dieser App können Flugtaxi-Konfigurationen erstellt und die resultierenden Überflugeräusche unmittelbar angehört und beurteilt werden. Ziel ist die Identifikation von Flugtaxi-Konfigurationen, die in Bezug auf ihre Geräusche eine hohe Akzeptanz in der Bevölkerung besitzen.

Institutsdirektor

Prof. Dr. med. Jens Jordan



Institut für Instandhaltung und Modifikation (MO)

Das DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation in Hamburg erforscht die Digitalisierung des Lebenszyklus von Luftfahrzeugen und ihren Komponenten sowie deren Zustandsüberwachung und Instandhaltung.

UAV stellen einen besonderen Anwendungsfall dar. Hersteller, Betreiber und Instandhaltungsbetriebe sind hier in der Regel enger miteinander verzahnt. Ein Unternehmen kann dabei alle drei Rollen übernehmen. Hinzu kommen die gegenüber der Passagierluftfahrt deutlich geringeren behördlichen Sicherheitsanforderungen, die höhere Flexibilität bezüglich der Systemzusammenstellung sowie die bereits weitgehende Digitalisierung und Vernetzung heutiger UAV. Ein besonderer Unterschied besteht zudem in der Möglichkeit eines vollständig autarken Betriebs von UAV, z. B. für wiederkehrende Inspektionen kritischer Infrastrukturen.

Prädiktive Instandhaltung

Eine integrierte, kontinuierliche Zustandsüberwachung sowie automatisierte, wiederkehrende Inspektionen bilden die Grundlage für eine frühzeitige Detektion von Schäden und Verschleiß. Durch deren Modellierung lässt sich die zukünftige Entwicklung prognostizieren. Instandhaltungsmaßnahmen und Anpassungen im Betrieb können vorausschauend geplant und eingeleitet werden. Ausfälle und Betriebsunterbrechungen lassen sich damit vermeiden, sodass die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit erhöht werden.

Im Gegensatz zur klassischen Luftfahrt stehen die Entwicklung und Nutzung von UAV, insbesondere mit Blick auf einen automatisierten bzw. autarken Betrieb, noch weitgehend am Anfang. Entsprechend groß sind der Gestaltungsspielraum und die Möglichkeiten zur Umsetzung neuartiger Instandhaltungskonzepte.

UAV als ideale Plattform für prädiktive Instandhaltungsszenarien

Steigerungen in Effizienz, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit lassen sich für UAV voraussichtlich schneller und einfacher umsetzen als in anderen Bereichen der Luftfahrt.

Automatisierung im operativen und technischen Betrieb

Der durch die Instandhaltung maßgeblich geprägte technische Betrieb ist eng mit dem operativen Betrieb – also der Durchführung von Missionen – verknüpft. Optimierungen erfordern daher neuartige Ansätze zur Automatisierung in beiden Bereichen, einschließlich der Planung im Flottenkontext sowie der erforderlichen Lieferketten, z. B. für Ersatzteile. Es werden daher Industrie-4.0-basierte Ansätze zur stärkeren autonomen Interaktion von Systemkomponenten und zur Steuerung von Datenverarbeitungsprozessen erforscht. Diese tragen nicht nur dazu bei, optimale Lösungen zu finden, sondern erhöhen auch die Resilienz des Gesamtsystems, indem dieses unmittelbar auf Veränderungen reagieren kann.

Institutsdirektor

Prof. Dr.-Ing. Gerko Wende

Start von zehn Drohnen des SWUF-3D-Schwarms während der TEAMx-Kampagne



Institut für Physik der Atmosphäre (PA)

Das Institut für Physik der Atmosphäre befasst sich mit relevanten Fragen der Atmosphärenforschung mit Bezug zu den Programmen der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungseinrichtungen: Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie. Dabei wird das gesamte Methodenspektrum abgedeckt: von der Sensorentwicklung über Atmosphärenbeobachtungen auf unterschiedlichen räumlichen Skalen (lokal bis global) und von verschiedenen Trägern (z. B. Flugzeug, Satellit) bis hin zur Analyse, Theoriebildung und numerischen Modellierung. Darauf aufbauend ist das Institut kompetenter Ansprechpartner zu allen Fragen mit Atmosphärenbezug für Gesellschaft, Wirtschaft und Politik.

Im EU-geförderten Projekt ESTABLIS-UAS arbeitet das Institut an der Weiterentwicklung und dem Einsatz des SWUF-3D-UAS-Schwarms für meteorologische Zwecke. Dabei werden Quadropten verwendet, um gleichzeitig und an flexiblen Punkten in der bodennahen Atmosphäre Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Windrichtung zu messen.

Der gleichzeitige Einsatz vieler Drohnen als flexible Messpunkte ermöglicht die sofortige Erfassung räumlicher Strukturen in kleinskaligen atmosphärischen Strömungen. Die Drohnen fliegen dazu automatisch vordefinierte Punkte an und verharren dort im Schwebeflug. Während miniaturisierte Sensoren Temperatur und Luftfeuchtigkeit erfassen, werden Windgeschwindigkeit und -richtung aus den Avionikdaten des Autopiloten berechnet.

Ein praktisches Beispiel für turbulente Strukturen sind die Nachläufe von Windturbinen, deren Ausprägung von der Windgeschwindigkeit, der Turbulenz und der atmosphärischen Schichtung abhängt. Während herkömmliche Messmasten räumlich stark eingeschränkt sind, kann der UAS-Schwarm flexibel in einem Windpark Messdaten sammeln. Der SWUF-3D-UAS-Schwarm wurde bereits in mehreren Kampagnen im Forschungspark Windenergie WiValdi eingesetzt, um die einströmende Turbulenz und die Nachlaufeffekte zu untersuchen.



SWUF-3D-Drohne vor Windturbine im WiValdi-Forschungspark

Im Juli 2025 wurde ein Schwarm von 30 Quadropten während der internationalen TEAMx-Kampagne eingesetzt. Diese Kampagne erforscht die komplexe Meteorologie im Alpenraum, von Strömungen in einzelnen Tälern bis hin zu der überregionalen Dynamik über den gesamten Alpenkamm. Der SWUF-3D-Schwarm wurde in einem Talschluss auf 2000 Metern Höhe genutzt, um thermische Winde an Orten zu messen, die für andere Instrumente schwer zugänglich sind.

Drohnenschwarm als meteorologisches Werkzeug – simultane und flexible Messungen für die Windenergieforschung

Am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt wurden bereits Flüge mit Drohnen des SWUF-3D-Schwarms in bis zu 600 Metern Höhe über Grund durchgeführt. Das Zentrum kann künftig auch die nötige Logistik und Infrastruktur für Tests mit bis zu 100 Quadropten bereitstellen. Diese sind notwendig, um Windfelder in ihrer räumlichen Struktur mit guter Auflösung zu erfassen.

Zukünftig sind auch Erprobungen intelligenter Schwarmsteuerungen denkbar, welche die Erfassung meteorologischer Messwerte effizienter und über längere Zeiträume hinweg ermöglichen.

Institutsdirektor

Prof. Dr. Markus Rapp

Prototyp eines virtuellen U-Space in Extended Reality. Das Bild zeigt einen kleinen Ausschnitt über eine mögliche interaktive Planung und Überwachung von Drohnenüberflügen und Drohnenverbotszonen auf einer generierten CesiumJS-Karte.



Institut für Softwaretechnologie (SC)

Das DLR-Institut für Softwaretechnologie versteht Software und KI als Katalysatoren für Forschung und technischen Fortschritt. Mit der Entwicklung und Erforschung innovativer Software- und KI-Lösungen leistet das Institut einen wesentlichen Beitrag in den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit. Dabei stehen Qualitätseigenschaften wie Echtzeitfähigkeit, Robustheit und Nutzerfreundlichkeit im Fokus.

Zur DLR-Forschung an unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) trägt das Institut unter anderem durch die Entwicklung von Simulationen und Visualisierungen bei und gestaltet so aktiv die Zukunft einer vernetzten und intelligenten Luftmobilität – vom virtuellen Entwurf bis zum sicheren Einsatz im realen Luftraum.

XR-Studie zur Akzeptanz von Drohnenüberflügen

Mit steigender Zahl von Drohnenflügen über bewohnten Gebieten ist es entscheidend, Belastungen für die Bevölkerung gering zu halten. Das Institut untersucht daher mithilfe von Mixed-Reality-Studien die soziale Akzeptanz von Drohnenüberflügen. Ein Beispiel ist das Gemeinschaftsprojekt ALAADy (Automated Low Altitude Air Delivery) mit dem Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.

Probandinnen und Probanden bewerteten dabei ihre Erfahrungen mit verschiedenen virtuellen Flugrouten eines unbemannten Forschungsfluges mit Frachttransport. Hierfür entwickelte das Institut eine Augmented-Reality-Methode (AR), die Karten und Routen über eine HoloLens-Brille visualisierte. Vier Routen, die sich dabei in Länge, Komplexität und Nähe zu lokaler Infrastruktur unterschieden, führten vom Erprobungszentrum in Cochstedt aus über dünn besiedelte Gebiete.

Die Akzeptanz wurde vor allem durch Nähe zu Wohngebieten, wahrgenommene Effizienz, erwartete Lärmbelastung und Sicherheitsbedenken beeinflusst. Weniger relevant war die Nähe zu Industrieanlagen. Daraus ergibt sich: Visuelle und akustische Beeinträchtigungen sollten minimiert und Flugrouten und Sicherheitsaspekte transparent kommuniziert werden.

Der virtuelle U-Space

Im Projekt Area U-Space wird ein Reallabor am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt konzipiert, umgesetzt und in ersten Schritten validiert. Es umfasst den U-Space-Luftraum, zugehörige Infrastruktur und Services sowie eine Simulations- und Virtualisierungsumgebung, mit der sich U-Space-Szenarien unabhängig vom Standort testen lassen.



Eine Nutzerstudie im Projekt ALAADy erforscht mithilfe von Augmented Reality (AR) die Akzeptanz von Drohnenüberflügen in der Bevölkerung.

Der softwaretechnologische Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung von Extended-Reality-(XR)-Methoden für einen virtuellen U-Space. Erste Prototypen ermöglichen den Wechsel zwischen Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR). Darüber hinaus wurden Interaktionstechniken entwickelt, mit denen sich Wegpunkte, virtuelle Landschaften und gesperrte Luftraumzonen in AR manipulieren lassen.

Probandenstudien in der virtuellen Realität – Untersuchung zur Akzeptanz von UAS in der Bevölkerung

Mit diesen Technologien schafft das DLR-Institut für Softwaretechnologie die Grundlage für einen sicheren, effizienten und gesellschaftlich akzeptierten Drohnenverkehr der Zukunft.

Institutsdirektor

Prof. Dr. Michael Felderer



Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität (SE)

Das Oldenburger DLR-Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität entwickelt Methoden zur Absicherung automatisierter und autonomer Verkehrssysteme. Der Fokus liegt auf der Entwicklung effizienter Systems-Engineering-Methoden und -Werkzeuge zur Verifikation und Validierung sowie der Weiterentwicklung vertrauenswürdiger Systeme. Die zunehmende Systemkomplexität, neue Ansätze wie Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen sowie die veränderten Aufgaben zwischen Mensch und Technik erfordern neue Absicherungsmethoden für die Zulassung dieser Systeme. Diese Herausforderungen sind entscheidend für die Einführung zukünftiger Transportsysteme.

Kombination von Methoden aus Luftfahrt- und Automobilforschung für die sichere Integration und Interaktion von Boden- und Luftfahrzeugen – inklusive Drohnen

Die Forschungsschwerpunkte umfassen:

- Grundlagen, Methoden und Werkzeuge zur Steigerung der Vertrauenswürdigkeit von automatisierten und autonomen Transportsystemen.
- Bewertungs- und Zertifizierungsmethoden für die Zulassung solcher Systeme.
- Implementierung der Methoden in virtuellen und physischen Testfeldern.
- Entwicklung von Standards für automatisierte und autonome Verkehrssysteme.

Das Institut ist auch im Bereich Luftfahrt tätig und hat Methoden und Werkzeuge erfolgreich transferiert, insbesondere in den Projekten V&V4NGC, MimoAir und ADMIRE.

Im Projekt **V&V4NGC** wurden Methoden der szenarienbasierten Verifikation und Validierung auf die Gefährdungsanalyse hochautomatisierter Systeme angewendet. Ziel war es, Gefährdungen für hochautomatisierte Bodenfahrzeuge am Flughafen zu identifizieren und zu analysieren. Dafür wurde die „System Theoretic Process Analysis“ (STPA) aus der Luftfahrt mit der ISO 21448 „Safety Of The Intended Functionality“ (SOTIF) aus dem Automobilbereich kombiniert, um sichere Testfälle für die Integration und Interaktion von Boden- und Luftfahrzeugen – inklusive Drohnen – zu generieren.



Ausschnitt eines Remote Operation HMIs zur Überwachung und Koordination von Air Taxis.

Im Projekt **MimoAir** wurde ein Konzept zur Mensch-Maschine-Interaktion für Remote-Operatoren von Air Taxis entwickelt. Hierbei wurden Methoden aus dem Bereich des bodengebundenen Verkehrs adaptiert. Das entwickelte Human-Machine Interface (HMI) wurde validiert und hinsichtlich seiner Unterstützung für einen sicheren Betrieb optimiert.

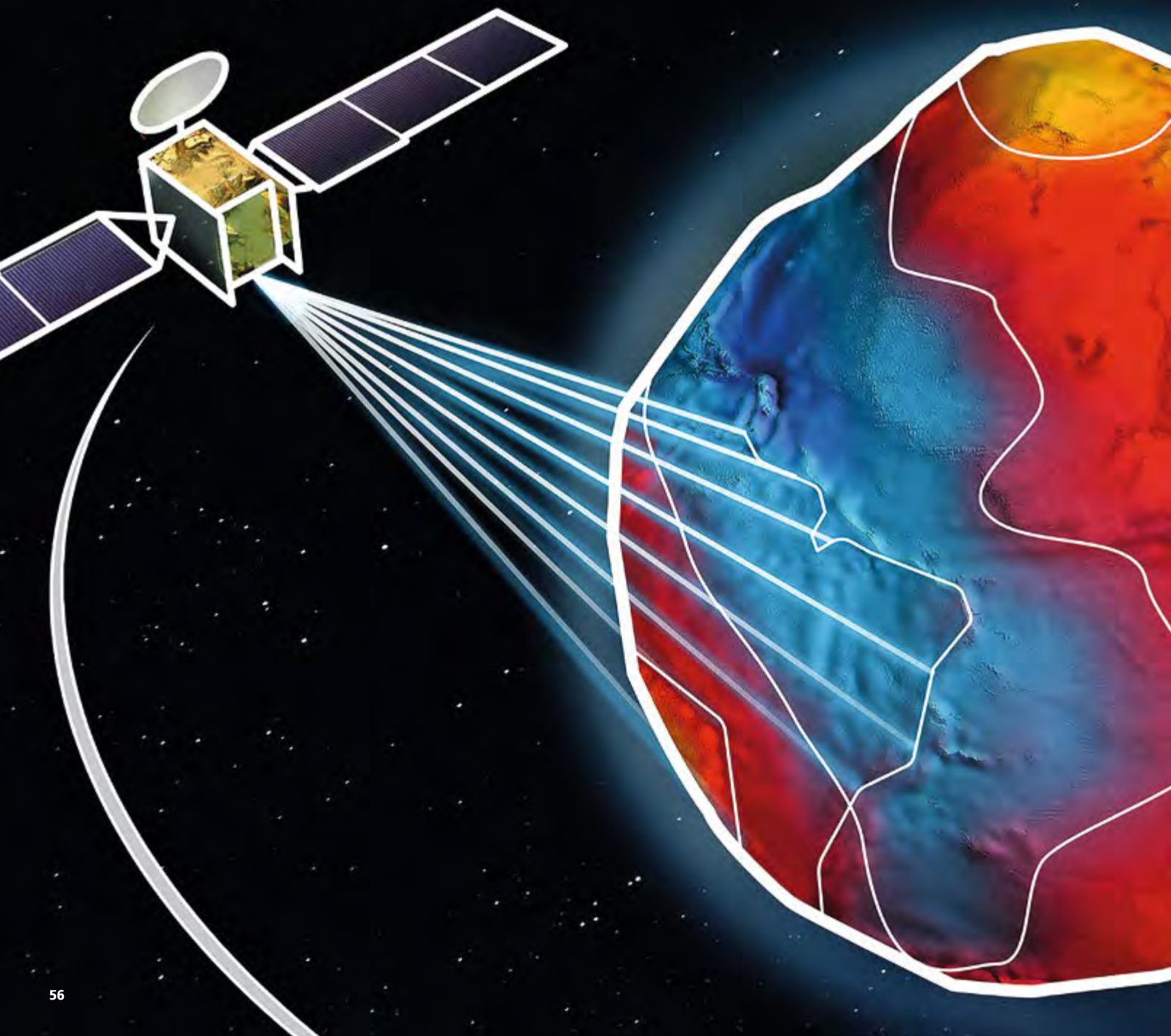
Im Projekt **ADMIRE** wird ein neuromorphes On-Board-Computersystem für Systeme mit begrenztem Raum, Gewicht und Energieverbrauch (SWaP) entwickelt, wie es insbesondere bei unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) der Fall ist. Dieses System ermöglicht die Ausführung von Anwendungen unterschiedlicher Kritikalität, wie z. B. Flugsteuerung und missionsspezifische Payload-Funktionen. Ein besonderes Merkmal des Systems ist die Nutzung von Künstlicher Intelligenz zur Verbesserung der Situational Awareness, ohne dass auf Backend-Systeme zurückgegriffen werden muss.

Das DLR-Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität trägt damit wesentlich zur Entwicklung und Absicherung zukünftiger Transportsysteme bei, sowohl im Bereich automatisierter als auch autonomer Systeme, und gewährleistet, dass diese Systeme sicher und effizient in die Praxis umgesetzt werden können.

Institutsdirektor

Prof. Dr.-Ing. Axel Hahn

Das Gravitationsfeld der Erde ist nicht homogen. In dem Institut wird die komplette Kette begleitet – von der Analyse des Verhaltens der Satelliten über den Sensorbau bis hin zur Analyse der gewonnenen Daten.



Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik (SI)

Am Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik wird an Umsetzungsmöglichkeiten von Quantentechnologien geforscht. Dabei werden die Phänomene der Quantenphysik eingesetzt, um Beschleunigungen zu messen und Laser zu stabilisieren. Diese können dann in der Aufklärung, Synchronisation und Inertialsensorik verwendet werden. Weitere experimentelle Aktivitäten des Institutes umfassen Laserabstandsmessungen und neue Methoden in der Linkakquise. Zusätzlich werden die Arbeiten durch Simulationen unterstützt, um Störeffekte zu kalkulieren und Satellitendaten interpretieren zu können.

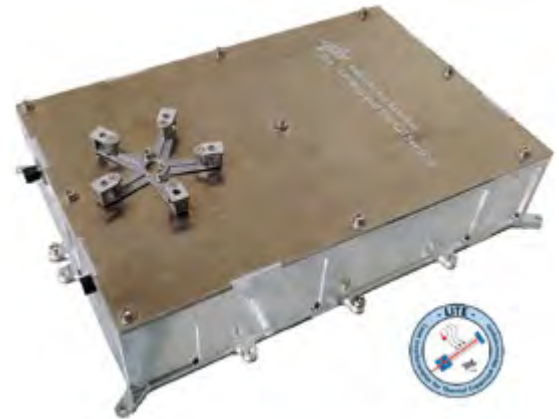
Präzise Navigation durch Quantensensoren

Gemeinsam mit anderen Instituten engagiert sich das Institut in der verbesserten Navigation von Drohnen. Gleichzeitig bieten die Technologien auch Möglichkeiten in der Aufklärung feindlicher Geräte.

Die Basis der quantenoptischen Sensoren bilden kalte Atome. In magneto-optischen Fallen werden Atome gefangen und durch gezielte Lasereinstrahlung gekühlt. Abhängig von der anvisierten Anwendung können Atome bis nahezu in den Grundzustand gekühlt werden. Dieser Zustand erlaubt es, besonders präzise Messungen durchzuführen. Für die Messungen von Beschleunigungen wird der Zustand in sogenannten Atominterferometern untersucht. Die Arbeit des Instituts zielt darauf ab, derartige Systeme auf verschiedenen Plattformen einzusetzen:

Auf weltraumgebundenen Plattformen dienen sie vor allem der Vermessung des Schwerfeldes des unterliegenden Planeten oder Mondes. Zusätzlich werden derartige Systeme als Uhren oder Technologieplattformen im Weltraum benötigt. Die Mission BECCAL ist dabei ein wichtiger Technologieentwicklungsschritt und unterstützt Erdbeobachtungsmissionen wie CARIOQA oder Marsmissionen wie MaQuls.

Auf terrestrischen Plattformen wie Drohnen, Flugzeugen, Helikoptern, Schiffen, Lastkraftwagen und Zügen dienen sie insbesondere der Navigation. Dabei können sie Ausfallzeiten von GNSS überbrücken und die Positionierung der gewählten Plattform absichern. Gleichzeitig dienen sie der Aufklärung des lokalen Gravitationsfeldes. Gemeinsam mit den Partnern vom Nationalen Erprobungszentrum konnte bereits die Verwendung von derartigen Gravimetern im Kontext des Flughafens oder der Aufklärung, beispielsweise von Wasservorkommen, diskutiert werden.



Mit den optischen Technologien, kann das Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik verschiedene Fähigkeiten abdecken. Unter anderem können hier Materialeigenschaften getestet werden.

Eines der Hauptziele des Instituts ist die Untersuchung des Klimawandels durch die Vermessung des Gravitationsfeldes. Bei Gravitationsmissionen wird das unterliegende Gravitationsfeld durch die Vermessung des Abstandes zwischen zwei sich verfolgenden Satelliten erfasst. Die daraus resultierende optische Technologie wird am Institut auch für andere Zwecke eingesetzt. So können thermische Ausdehnungen zu Materialanalysen während des Betriebes genutzt werden. Die Technologien des Instituts zur Linkakquise sind ein wichtiger Bestandteil für optische Verbindungen zwischen sich bewegenden Plattformen. Die optischen Links können verschiedenen Anwendungen dienen. Prominent sind dabei die Synchronisation, Positionierung und Kommunikation untereinander. Aktuell werden optische Technologien gemeinsam für Anwendungen in der Aufklärung evaluiert.

Institutsdirektorinnen

Prof. Dr. Meike List und Dr. Lisa Wörner



Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt (SL)

Das DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt erforscht die komplexe Gesamtheit der Luftfahrt – von Flugzeugen über Betriebskonzepte bis hin zu Infrastruktur und Produktion. Der besondere Fokus des Instituts liegt auf digitalen Methoden, mit denen an der Verknüpfung aller Disziplinen und Daten gearbeitet wird, um den sogenannten durchgängigen digitalen Faden zu schaffen. Er bildet die Grundlage, um die Luftfahrt als System der Systeme abzubilden, zu erforschen und weiterzuentwickeln.

Digital vernetzte, skalierte Systeme als Baustein bei der Entwicklung des Verkehrsflugzeugs der Zukunft

Mit diesem Ansatz können Wechselwirkungen transparent gemacht, Synergien genutzt und neue, optimierte Gesamtkonzepte entworfen werden. Das Ziel: die Luftfahrt schnell wettbewerbsfähig und dabei klimaverträglich zu machen. Dafür entwickelt das Institut Methoden, die den gesamten Entwurfsprozess digital abbilden und eine große Vielfalt heterogener

Modelle effizient handhaben. So entstehen revolutionäre Konzepte, in denen Flugzeuge, Betrieb und Technologien optimal aufeinander abgestimmt sind – von neuen Kabinenlayouts über Antriebe bis hin zu Infrastrukturfragen.

Der System-of-Systems-Ansatz wird am Institut auch im Forschungsfeld der Urban Air Mobility/Innovative Air Mobility (UAM/IAM) angewendet:

Gemeinsam mit neun weiteren DLR-Instituten untersucht das Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt, wie Passagierdrohnen oder kleine elektrische Luftfahrzeuge in das bestehende Verkehrsnetz integriert werden können. Dafür koordiniert es ein Arbeitspaket zur Simulation von innovativem Luftverkehr. Für eine holistische Analyse fließen Flugzeuge und Flugzeugflotten, Verkehrsströme, Bodentransport, Nachfrage, Luftverkehrsmanagement und Fahrzeugzuordnung in eine agentenbasierte Simulation ein. Die daraus resultierenden Luftverkehrsdatensätze stehen anschließend den beteiligten Instituten für die weitere Forschung zur Verfügung. So können diese erforschen, wie sich der normale Flugverkehr und der UAM-Verkehr gemeinsam kontrollieren lassen. Ergänzend dazu erfolgt eine Analyse relevanter Aspekte wie Lärm, Sicherheit und Akzeptanz.

Die Forschung im Verbund mit europäischen Industriepartnern zielt auf die Entwicklung einer durchgängigen System-of-Systems-Architektur für die Luftfahrt ab. Hier wird untersucht, wie neue Technologien, Betriebskonzepte und Geschäftsmodelle zusammenwirken – etwa für künftige Flottenkonzepte.

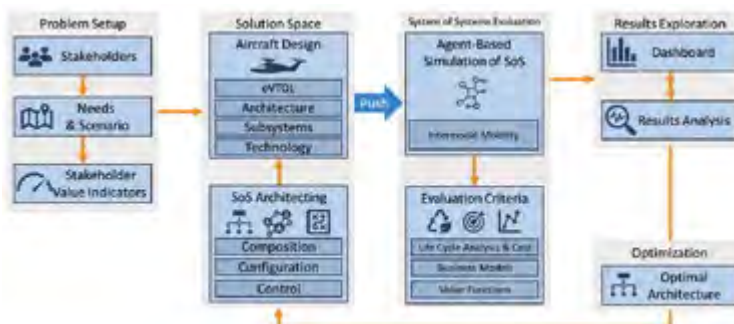
Dieser Ansatz eignet sich auch für weitere Anwendungsbereiche. So entwickelt und erforscht das Institut durchgängige Lösungen für Drohnenabwehrsysteme inklusive Entwurf, Detektions-, Ortungs- und Abwehrtechnologien.

Neben der digitalen Welt sind skalierte Flugversuche ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit des Instituts. Mit Demonstratoren wie dem hybrid-elektrischen Flugzeug HyBird (s. Bild) können Berechnungen frühzeitig validiert und neue, auch gewagtere Konzepte im sicheren Rahmen erprobt werden. Ein wichtiger Standort dafür ist das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt.

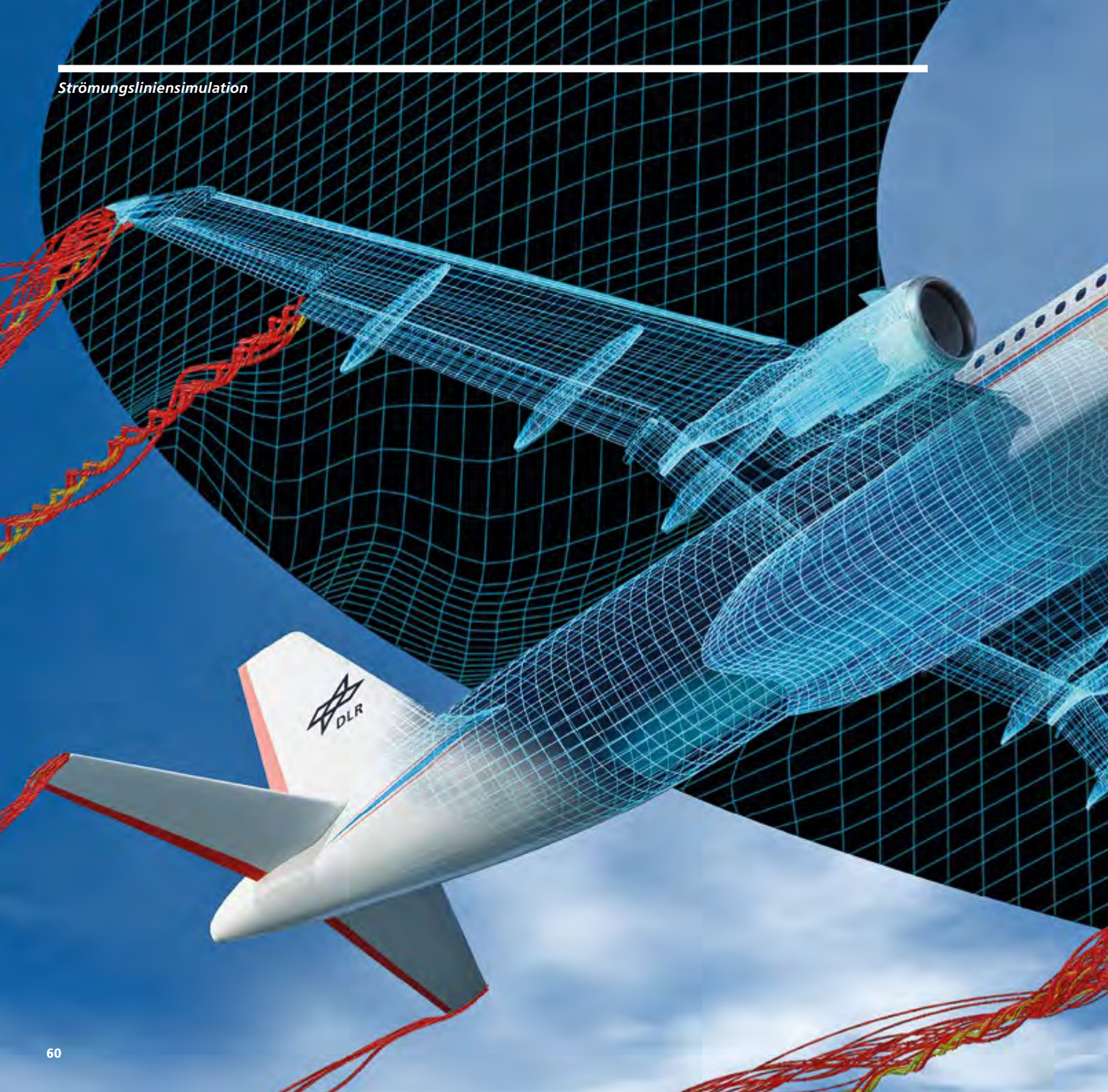
Mit diesem Zusammenspiel von digitalem Faden und praktischen Erprobungen schafft das Institut die wissenschaftliche Grundlage, um eine leistungsfähige, sichere und nachhaltige Luftfahrt von morgen Wirklichkeit werden zu lassen.

Institutsdirektor

Dr. Björn Nagel



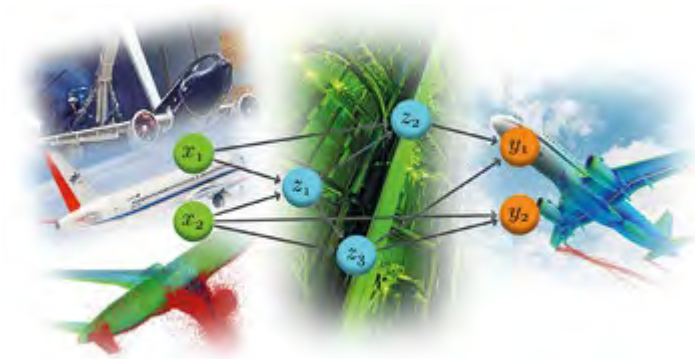
System-of Systems-Ansatz für innovativen Luftverkehr
aus EU-Horizon-Projekt



Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung (SP)

Schnellere Entwicklungszeiten von UAS durch Virtualisierung

Das 2017 gegründete Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung befasst sich am DLR-Standort Dresden mit der Erforschung und Entwicklung von informatisch/technischen und softwaremethodischen Grundlagen zur Beschreibung und Realisierung des DLR-Luftfahrt-Leitkonzepts „Virtuelles Produkt“ auf Basis höherwertiger, multidisziplinärer Simulationsverfahren. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschen in den Bereichen Hochleistungsrechnen („High Performance Computing“), Simulationsumgebungen sowie Softwaremethoden. Ziel ist es, in enger Zusammenarbeit mit den Luftfahrtinstituten die Forschungskompetenz im Bereich der Softwareentwicklung zur Produkt-Virtualisierung zu bündeln und mit dem Betrieb der DLR-HPC-Rechencluster auch die notwendige Infrastruktur bereitzustellen. Zukünftig können somit Entwicklungs-, Zertifizierungs- und Wartungsprozesse schneller, präziser, günstiger und vor allem sicherer ablaufen. Durch Ansätze vom virtuellen Testen bis hin zur virtuellen Zertifizierung sollen schnelle Entwicklungszeiten ermöglicht werden, die von Anbietern von UAS-Diensten im Rahmen von Anpassungen an Kundenwünsche und externe Gegebenheiten erwartet werden. Beispiele dafür sind größere Lasten oder andere Umweltbedingungen, für die UAS-Dienste kurzfristig angepasst werden müssen.

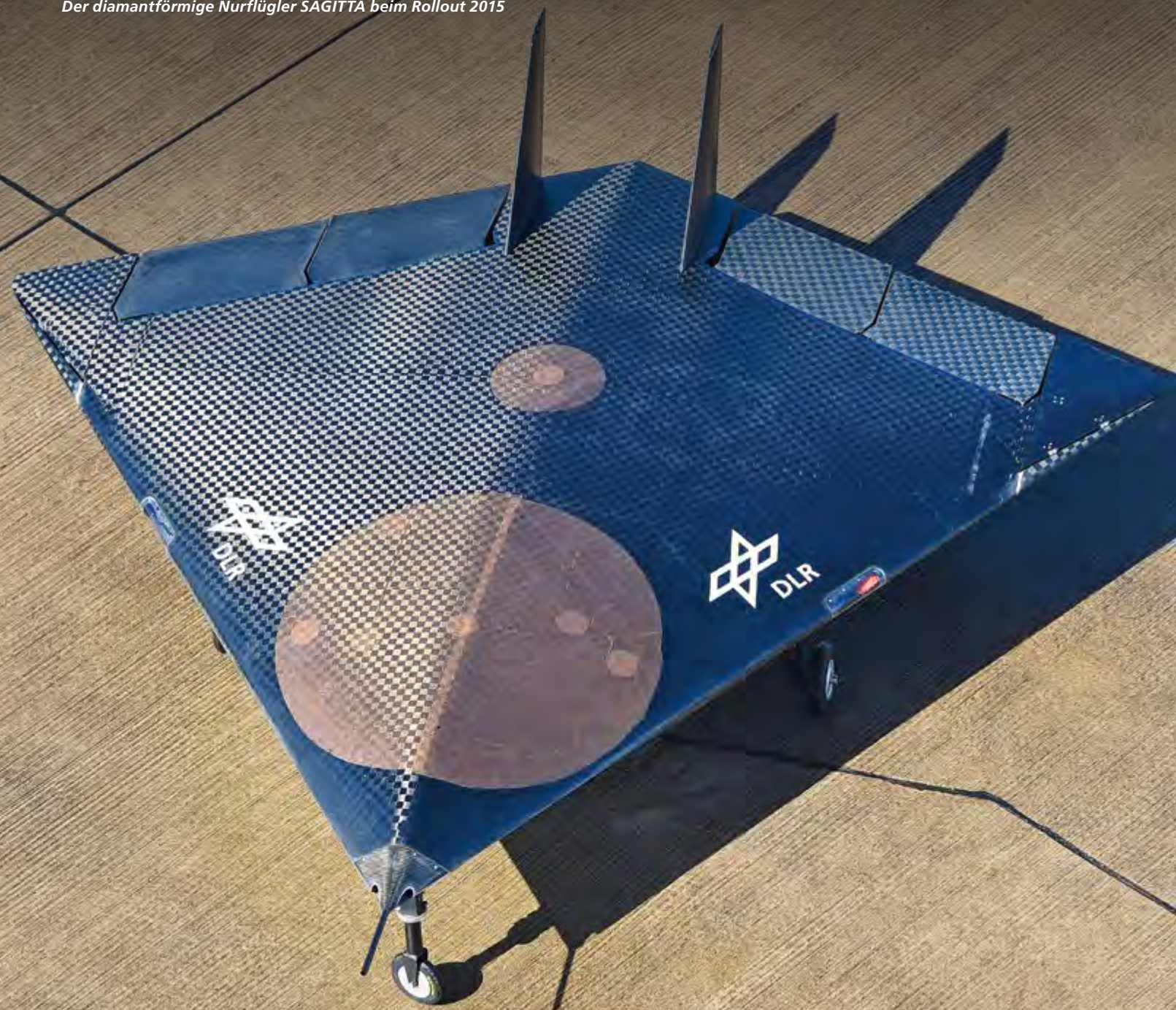


Softwaremethoden

Weiterhin ist das Institut in Software-Entwicklungen für Digitale Zwillinge eingebunden. Dazu wird ein funktionales Datenmanagement-System twinstash (the digital twin storage and application service hub) entwickelt und prototypisch bereitgestellt, über das Daten von DLR-Forschungsflugzeugen systematisch mit Anwendungen bzw. Analysen – z. B. in Form von Services – verknüpft und zentral zwischen vielen verteilt arbeitenden Akteuren geteilt werden können. twinstash besteht aus einem leistungsfähigen, skalierbaren Back-End, das über einen Python-Client oder ein Web- Front-End angesprochen werden kann.

Institutsdirektorin
Prof. Dr. Sabine Roller

Der diamantförmige Nurflügler SAGITTA beim Rollout 2015



Institut für Systemleichtbau (SY)

Die Entwicklung extrem leichter und multifunktionaler Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen ist seit vielen Jahren ein Schwerpunkt des Instituts für Systemleichtbau. Im Fokus stehen dabei innovative Lösungen für die Luft- und Raumfahrt, bei denen Herstellung und Betrieb immer effizienter gestaltet werden. Ein besonderes Ziel ist es, verschiedene Funktionen direkt in die Struktur zu integrieren. So lassen sich Gewicht und Material einsparen – und auch die zum Betrieb erforderliche Menge an Energie.

***Das Institut für Systemleichtbau
entwickelt Strukturen, die mehr leisten
als reine Tragfähigkeit.***

An den Standorten Braunschweig und Stade, in Bremen, Cochstedt und Aachen arbeiten engagierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Systemleichtbau daran, Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung in praxistaugliche Anwendungen zu überführen und so den Weg von der Idee bis zur industriellen Umsetzung zu ebnen.

Integrierte Systeme und Adatronik im Leichtbau

Durch die Integration von Sensorik, Aktorik und Energieversorgung entstehen Leichtbaulösungen, die Gewicht, Bauraum und Material einsparen. Adatronische Technologien ermöglichen es zudem, dass Bauteile aktiv auf veränderte Lasten oder Umgebungsbedingungen reagieren – ein entscheidender Schritt zu effizienteren und flexibleren Strukturen.

Von Prototypen zu ultraleichten Strukturen und adaptiven Flügeln

Seine hohe Kompetenz im Bau neuartiger Strukturen konnte das Institut unter anderem 2016 mit der Entwicklung der Primärstruktur des Technologieerprobungsträgers SAGITTA zeigen. Der diamantförmige Nurfüglar mit zwei 300-Newton-Turbinen



HAP-Alpha: Testflügel während eines Belastungstests

erfüllte Anforderungen wie hohe Autonomie, variable Missionsprofile und geringe Radarsichtbarkeit. Mit nur 29 kg Strukturgewicht bei einem Startgewicht von 150 kg bot er ausreichend Raum für Flugsystemtechnik und Instrumente und absolvierte 2017 erfolgreich seinen Erstflug in Südafrika. Diese Erfahrung fließt in aktuelle Projekte ein, etwa in die hochfliegende, solarbetriebene Plattform HAP-alpha, deren Struktur 2024 am Institut entwickelt und gebaut wurde. HAP-alpha ist für Langzeiteinsätze in der unteren Stratosphäre vorgesehen, um Aufgaben in Kommunikation und Erdbeobachtung zu übernehmen. Nach erfolgreichen Bodentests am Nationalen Erprobungszentrum in Cochstedt wurde die Struktur an die Kolleginnen und Kollegen der Flugsystemtechnik zur weiteren Erprobung übergeben; der Erstflug in niedriger Höhe ist für 2026 geplant. Aktuell werden im Projekt MorphAIR am Flugerprobungsträger PROTEUS erstmals adaptive Flügelformen mit Künstlicher Intelligenz in realen Flugtests kombiniert. Die enge Zusammenarbeit innerhalb der Institute des DLR ist der Schlüssel zum Erfolg – von der Konzeptphase über den Prototypenbau bis zur Erprobung im Flug.

Institutsdirektoren

Prof. Dr.-Ing. Martin Wiedemann und
Dr. Andree Altmikus (**Co-Direktor**)

Mobile Forschungsplattform TRAILER im Tag/Nacht-Einsatz zur Abwehr von UAS-Schwärmen



Institut für Technische Physik (TP)

Das Institut für Technische Physik entwickelt innovative Lasersysteme für Anwendungen in den Bereichen Sicherheit und Verteidigung. Es besteht eine langjährige Expertise in der Entwicklung und Evaluation von Hochleistungslasersystemen und Technologien zur präzisen Nachverfolgung und Ausrichtung von Laserstrahlen mittels aktiver optischer Systeme. Hinzu kommen begleitende Untersuchungen der Lasersicherheit, Strahlpropagation über große Distanzen sowie der Laser-Materie-Wechselwirkung. Das Institut für Technische Physik ist somit ein Laser-Kompetenzzentrum in Fragen der wehrtechnischen und zivilen Sicherheitsforschung.

Laserbasierte elektro-optische Sensoren zur frühzeitigen und eindeutigen Detektion eines eindringenden UAS

Im Bereich der Abwehr von unbemannten Flugsystemen (counter-UAS, kurz c-UAS) werden am Institut für Technische Physik neue Technologien aus den Bereichen Laser und Optik entwickelt, die den Bedrohungen durch den missbräuchlichen Drohneneinsatz entgegenwirken. Schon heute sind verschiedenste Abwehrmittel als Schutzsysteme von kritischer Infrastruktur, Veranstaltungen oder in den aktuellen Konfliktregionen nicht mehr wegzudenken. Um der stetig wachsenden Gefahr durch immer autonomer agierende UAS-Schwärme auch zukünftig etwas entgegenzusetzen, entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts neue laserbasierte elektro-optische Sensoren, die zur frühzeitigen und eindeutigen Detektion eines eindringenden unbemannten Flugsystems dienen. Des Weiteren werden Laser-Ranging-Systeme gezielt an die veränderten Anforderungen im Einsatz gegen Schwärme von Kleinstdrohnen (μ -UAS-Schwärme) angepasst und optimiert, um in Echtzeit zusammen mit der Bildanalyse präzise Positionsdaten an das Lagebild zu liefern. Parallel besteht die Herausforderung, durch optische Identifikation von Typ und Last eine differenzierte Beurteilung der Gefahren zu ermöglichen.

Die Bewertung der entwickelten c-UAS-Technologien in den verschiedenen Szenarien stellt eine wichtige Fähigkeit des Instituts dar. Hierzu wird die Forschungsplattform TRAILER (Tracking, Ranging And Identification using Laser Energy on the Road) genutzt.



TRAILER-Logo

Dieses mobile Trackingsystem dient als Experimentalträger und ist sehr flexibel einsetzbar. Auf der Plattform befinden sich visuelle Hochgeschwindigkeitskameras, hochauflösende Infrarot-Detektoren (SWIR) und eine herausragende Wärmebildkamera (MWIR). Die Integration von leistungsstarken oder spezialisierten Lasersystemen ist umsetzbar. Dank präziser Strahlführung können Laserstrahlen dynamisch auf bewegte Ziele in Luft, Land oder See ausgerichtet werden. Das ermöglicht neben verschiedenen Beleuchtungs- und Markierungsfähigkeiten auch die Erprobung von Laser-Wirkmechanismen gegen UAS-Sensoren und Strukturen.



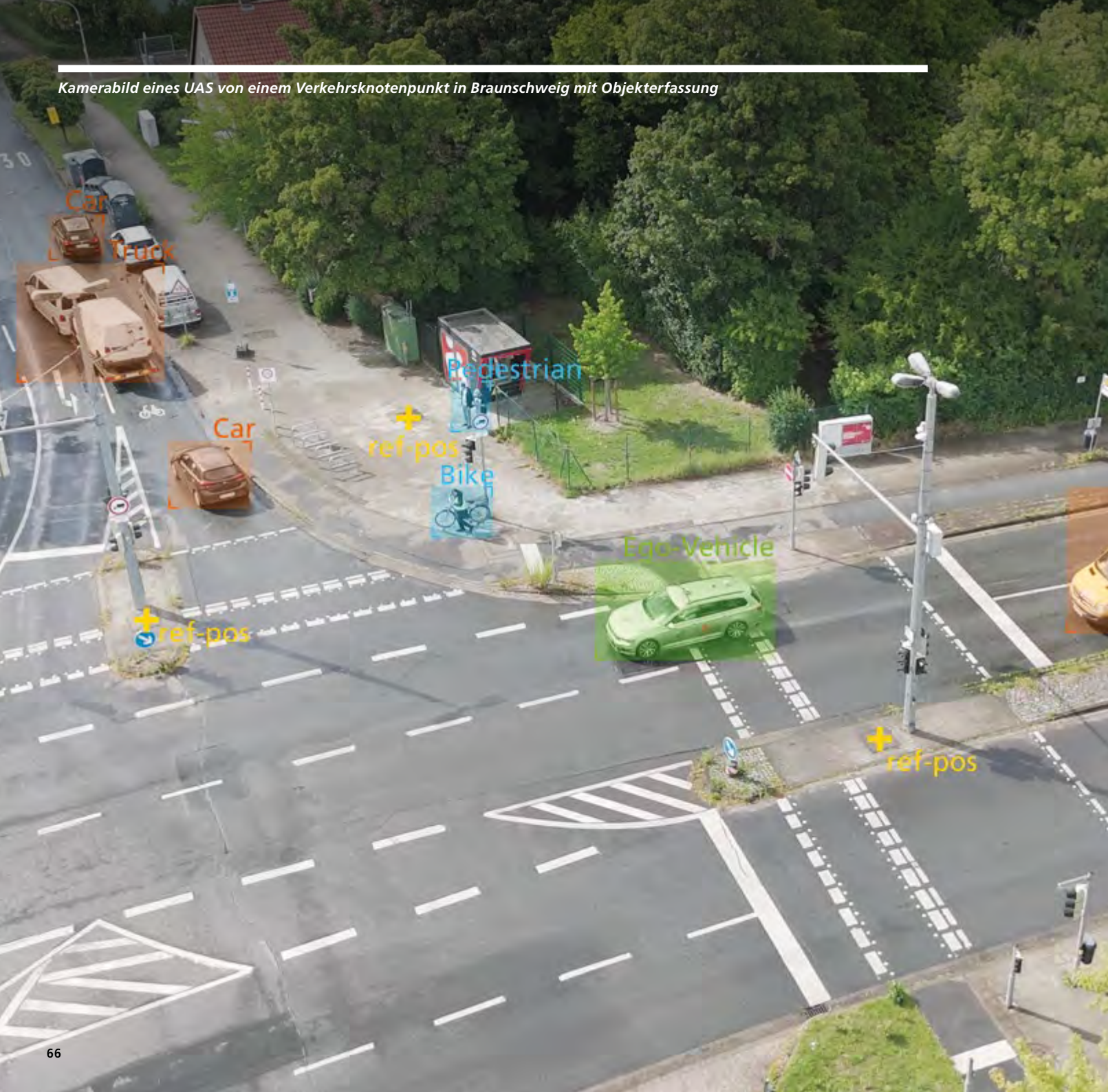
Entwicklung eines Laser-Entfernungsmessers für agile μ -UAS-Schwärme

Eine immer größer werdende Rolle ist der Einsatz in c-UAS-Verbünden. Die Vernetzung ermöglicht einen Multisensor- / Multieffektor-Ansatz, der zu einer zuverlässigeren c-UAS-Systemarchitektur führt. Die dafür notwendige Kommunikation in standardisierten Protokollen wie SAPIENT ist im TRAILER bereits umgesetzt.

Institutsdirektor

Prof. Dr. Thomas Dekorsy

Kamerabild eines UAS von einem Verkehrsknotenpunkt in Braunschweig mit Objekterfassung



Institut für Verkehrssystemtechnik (TS)

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institut für Verkehrssystemtechnik erforschen Technologien für den intermodal vernetzten sowie automatisierten Verkehr der Zukunft auf Straße und Schiene. Interdisziplinäre Teams entwickeln hierzu in Braunschweig und Berlin anwendungsorientierte Betriebskonzepte, Methoden und Technologien in direkter Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und öffentlicher Hand. Ihr Ziel: innovative Lösungen für eine menschenzentrierte und krisenfeste Mobilität.

Vernetzung von Luft- und Bodenverkehr für schnellere Rettungseinsätze

Die Forschenden gestalten ein Verkehrssystem, das Fahrzeuge, Verkehrsteilnehmende und die Infrastruktur miteinander vernetzt. Dies ermöglicht auf Automation beruhende Mobilitätsdienste, die zur intelligenten Steuerung des Verkehrs in intermodale Verkehrsmanagementsysteme eingebunden sind. Digitalisierung, Automatisierung und Künstliche Intelligenz sind dabei wichtige Werkzeuge.

Fliegende Sensoren für Polizei und Feuerwehr

Für Fahrzeuge von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), wie Polizei und Feuerwehr, sind sichere und schnelle Fahrwege zu ihren Einsatzorten von zentraler Bedeutung. Hierfür haben die Forschenden im Projekt Gaia-X 4 AMS einen luftgestützten Ansatz zur Beschleunigung von Einsatzfahrten entwickelt. Vor Beginn der Fahrt werden die Koordinaten des Einsatzortes übermittelt. Ein UAS führt dort daraufhin eine Ersterkundung durch. Die automatisierte Erkundung aus der Luft ermöglicht es den Einsatzkräften, sich personell und ausrüstungstechnisch optimal auf die Situation vor Ort einzustellen und wenn nötig zusätzliche Kräfte zu mobilisieren. Eine Kamera sendet den Videostream mit der Lage am Einsatzort direkt an ein Tablet im Einsatzfahrzeug, bevor dieses eintrifft. Die Extraktion von Objektdaten und -koordinaten aus dem Video

inklusive Identifizierung verschiedener Objektklassen, wie z. B. Fahrzeuge, Personen oder Flüssigkeiten, ist ebenfalls zentraler Bestandteil des Systems.

Die Bildung von Rettungsgassen ist häufig die einzige Möglichkeit für BOS-Fahrzeuge, Rückstau vor Ampeln, an Engstellen oder auf Autobahnen zu passieren. Auch hierbei sind UAS ein hilfreiches Werkzeug, denn sie können prüfen, ob Hindernisse die Gasse blockieren, und die Einsatzkräfte rechtzeitig warnen.



UAS können per Videostream die Lage am Einsatzort direkt an ein Tablet der Einsatzkräfte schicken.

UAS zur Unterstützung von automatisierten Fahrzeugen

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen in den Projekten ACT4Transformation und INTAS den Einsatz von unbemannten Luftfahrtsystemen als mobile Road Side Units an unübersichtlichen Knotenpunkten oder bei plötzlich auftretenden Ereignissen. UAS können in akuten Gefahrenlagen oder bei Großereignissen spontan die Rolle einer fest verbauten Infrastruktur übernehmen und so zur Unterstützung von automatisierten Fahrzeugen beitragen sowie die Sicherheit an unübersichtlichen Straßenabschnitten erhöhen. Zur Validierung von Fahrzeugfunktionen nutzen die Forschenden die fliegenden Kameras auch als Referenzsensor. Durch die Erfassung des Verkehrsgeschehens aus einer anderen Perspektive werden Fahrzeugdaten zur Navigation und Umfeldwahrnehmung überprüft, was letztendlich die Sicherheit dieser Funktionen erhöht.

Institutsdirektoren

Dr. Tobias Hesse und Prof. Dr. Gert Bikker

Kartierung eines Waldbrandes: MACS-nano kartiert das betroffene Gebiet in Echtzeit und liefert Bilddaten im RGB- und Thermalbereich.



Institut für Weltraumforschung (WR)

Das DLR-Institut für Weltraumforschung ist ein weltweit führendes Forschungsinstitut für optische Sensorsysteme und deren Einsatz in den Bereichen Planetenforschung, Erdbeobachtung und Sicherheit. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung und dem Bau optischer Sensoren und Instrumente. Mit seinen interdisziplinären Teams deckt es die gesamte Entwicklungskette ab, von der Forschungsidee über den Entwurf bis hin zum operationellen Betrieb und zur Datenauswertung.

Die Integration von MACS in UAS ermöglicht Bildübertragung in Echtzeit – auch in Krisenlagen

Das Handlungsfeld Sicherheit bildet dabei eine tragende Säule der Institutsaktivitäten. In der Abteilung Sicherheitsforschung und Anwendungen werden optische Sensorsysteme für die luftgestützte Lageerkundung entwickelt. Diese werden individuell für die spezifischen Flugsysteme angepasst.

Lagebilder in Echtzeit

Die Kerntechnologie dabei stellen die MACS-Kamerasysteme (Modular Aerial Camera Systems) dar. MACS zeichnet sich durch einen hohen Technologie- und Anwendungsreifegrad aus, weshalb die Kameras seit Jahren vielfach in anspruchsvollen Missionen zur Erdbeobachtung und vor allem für Sicherheitsanwendungen weltweit im Einsatz sind. Integriert in unbemannte Systeme, liefern sie besonders in Krisen- und Katastrophenlagen wertvolle Livebilddaten. Die technische Herausforderung liegt darin, luftgestützte Kamerasysteme so zu miniaturisieren, dass sie in kleine taktische UAS integriert werden können und dennoch die Leistungsfähigkeit bemannter Plattformen erreichen. Das erfordert kompakte Sensoren, ein intelligentes Systemdesign und hocheffiziente Auswertungsalgorithmen, die auch mit begrenzten Ressourcen eine präzise Lageerfassung und Informationsgewinnung ermöglichen. In Zusammenarbeit mit Behörden und Industriepartnern aus ziviler Sicherheit und Katastrophenschutz werden die Systeme kontinuierlich verbessert und an die Nutzerbedürfnisse angepasst.



Das Kamerasystem MACS-nano integriert in das UAS Vector von dem Kooperationspartner Quantum-Systems

Gemeinsam Wissen und Technologie in den Einsatz bringen

Um den Wissensaustausch und Transfer in diesem Bereich weiter zu stärken, wurde 2020 das Innovation Lab OPTSAL (Optical Technologies for Situational Awareness Lab) gegründet. Im Fokus steht, Wissen und Technologien der optischen Lageaufklärung zu bündeln und in konkrete, nutzbare Anwendungen zu überführen und damit die zivile Sicherheit nachhaltig zu stärken. Neben dem Wissensaustausch mit Behörden mit Organisations- und Sicherheitsaufgaben (BOS) und anderen relevanten Akteuren ist auch der Transfer einzelner Technologien in den operativen Einsatz ein wesentliches Kernthema von OPTSAL.

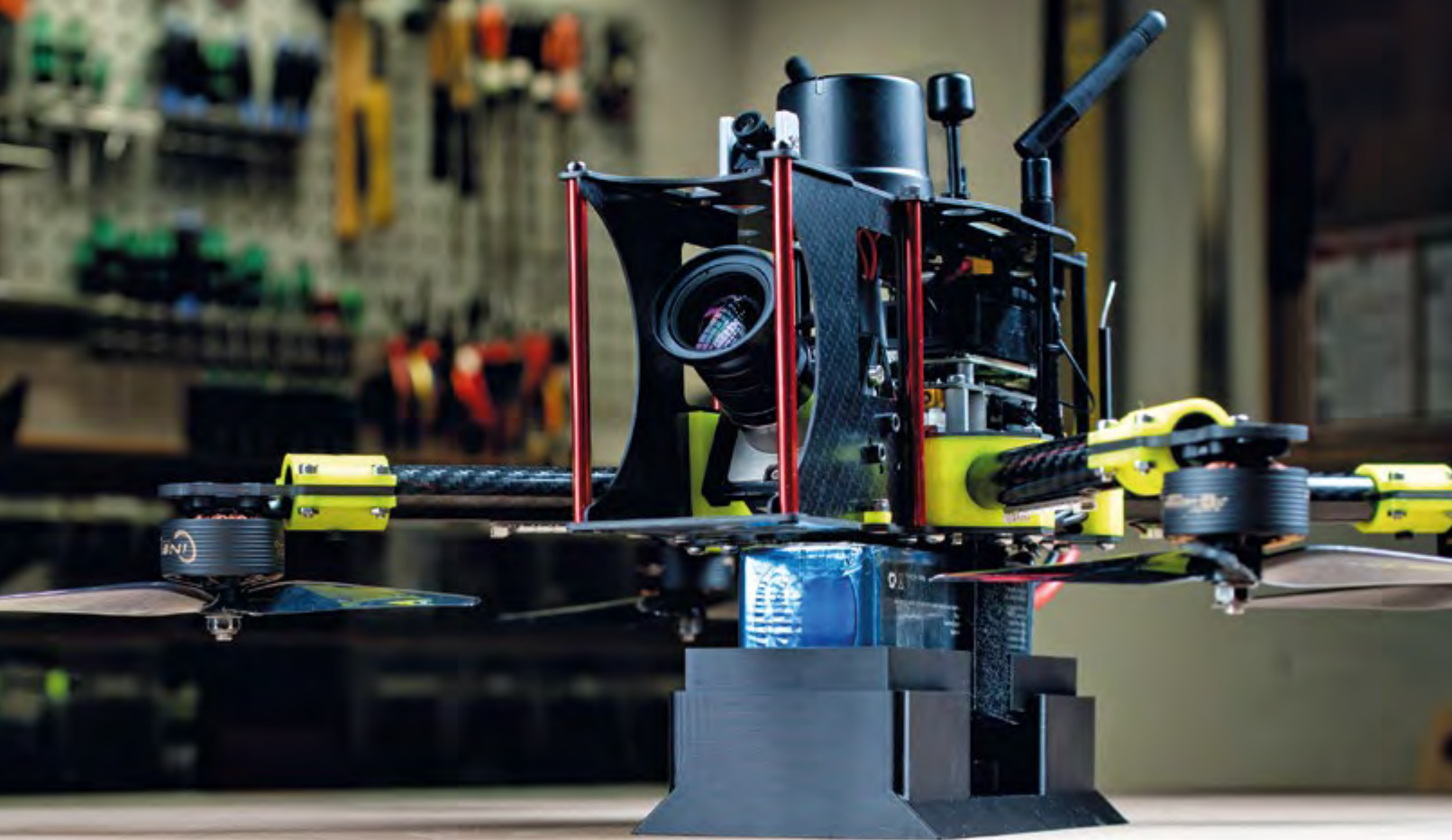
Drone Operations Team

Bereits seit 2008 nutzt das Institut erfolgreich Drohnen als Trägerplattformen für seine optischen Sensoren. Über die Jahre wurden sehr unterschiedliche Systeme in verschiedenen Größenklassen betrieben – sowohl Multikopter als auch Starrflügeldrohnen. Mit dem OPTSAL Drone Operations Team realisiert das Institut seit einigen Jahren einen operativen und professionellen UAS-Betrieb, vornehmlich auf Basis der kommerziellen eVTOL-Drohnen des Kooperationspartners Quantum-Systems. Die Systeme werden in zahlreichen Projekten des DLR genutzt, unter anderem im Projekt Live-Lage, mit dem Ziel eines operativen Regelbetriebs bei der Feuerwehr. Zusätzlich wird das Drone Operations Team vom Institut regelmäßig zur Unterstützung von Sicherheitsbehörden bei realen Katastrophen- und Einsatzlagen gerufen – so zum Beispiel beim G7-Gipfel in Elmau 2022, beim Erdbeben in der Türkei 2023 oder bei den Waldbränden bei Oranienbaum 2024.

Institutsdirektor

Prof. Dr. Dr. h.c. Heinz-Wilhelm Hübers

Ein Beispiel für die Forschung zur Drohnenabwehr am DLR:
Jägerdrohne zum Abfangen von unerlaubt eindringenden Drohnen



Programmdirektion Sicherheit und Verteidigung (PD-S)

Interdisziplinäre Forschung als Schlüssel für Sicherheit und Verteidigung von morgen

Das DLR bündelt sein sicherheitsrelevantes Fachwissen im Querschnittsbereich der Sicherheits- und Verteidigungsforschung, in dem die Kernkompetenzen aus den etablierten DLR-Forschungsbereichen Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr verknüpft werden. Die Sicherheits- und Verteidigungsforschung versteht sich dabei als Add-on-Forschung. Das heißt, ohne die breite zivile Grundlagenforschung im DLR wären viele sicherheitsrelevante Themen nicht umsetzbar. In interdisziplinären Projekten liefern über 30 Institute Beiträge zur Entwicklung, Erprobung und Bewertung von sicherheits- und verteidigungsrelevanten Technologien. Auch leisten Mitarbeitende des DLR ihren Reservendienst an verschiedenen Stellen und bringen sich mit ihren Kompetenzen ein. In der zivilen Sicherheits- und der Verteidigungsforschung kooperiert das DLR mit Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), ist Teil der wehrwissenschaftlichen Ressortforschung des Bundesministeriums der Verteidigung, kooperiert mit seinen nachgeordneten Behörden und ist im engen Austausch mit der Bundeswehr und der Industrie.



Der 2025 eröffnete Drohnenkäfig am Standort Braunschweig hat eine Grundfläche von 1.500 Quadratmetern und bietet auch Platz für Aufbauten wie Hindernisse oder Landeplätze. Hier werden Flugversuche höherer technologischer Reifegrade in einer realistischen Testumgebung durchgeführt.

UAS-Forschung in der Programmdirektion Sicherheit und Verteidigung

Das DLR bringt bei der sicherheits- und verteidigungsrelevanten Forschung zu unbemannten Systemen seine umfassende Expertise aus den klassischen Luftfahrtdisziplinen wie Gesamtarchitekturen, Flugsystemtechnik, Software- und Sensortechnologien, KI, Flugphysik, Flugführung, Strukturentwicklung und Simulation ein. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Forschungsinfrastrukturen des DLR – darunter das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt, der im Oktober 2025 eröffnete Drohnenkäfig in Braunschweig sowie experimentelle Messsysteme und moderne Windkanäle. Die unbemannte Luftfahrtforschung des DLR basiert auf jahrzehntelanger Erfahrung in der Luft- und Raumfahrt und verfolgt einen ganzheitlichen, systemischen Ansatz. Insbesondere militärische Anwendungen stellen jedoch Anforderungen: Sie verlangen unbemannte Systeme mit außergewöhnlicher Agilität und Flugleistung sowie erweiterten Fähigkeiten in Bereichen wie Vernetzung, kooperativem Einsatz (Teaming) und Maßnahmen zur Reduktion der Entdeckbarkeit.

*In Flugversuchen wurde das kooperative Verhalten des unbemannten Hubschraubers erprobt.
Vor den realen Flugversuchen testeten die DLR-Piloten das Assistenzsystem ausgiebig im Hubschraubersimulator.*



Die UAS-Forschung im Bereich Sicherheit und Verteidigung konzentriert sich auf drei zentrale Bereiche:

1. Detektion von UAS:

Die zunehmende Verbreitung und Nutzung kleiner und mittlerer UAS erfordert deren zuverlässige Erkennung und Identifizierung. Von Flughafenzonen über Krankenhausgelände bis zu Energieanlagen, auch kritische Infrastrukturen sehen sich in den vergangenen Jahren zunehmenden Drohnenüberflügen ausgesetzt. Zur Stärkung der Leistungsfähigkeit von Sensoriken und zum Schließen von Detektionslücken sind kontinuierliche Forschungsarbeiten nötig.

Ziel der gesamten DLR-Forschung im Bereich Drohrendetektion ist es, die Sicherheit des Luftraums in Bezug auf Safety und Security dauerhaft auf hohem Niveau zu gewährleisten. Dabei fließen kontinuierlich neuartige Technologien, wie z. B. Quantentechnologien ein, um z. B. neue Sensitivitätsbereiche zu erschließen und potentielle Reichweiten zu erhöhen. Schwerpunkte liegen dabei auf:

- der Erkennung kooperativer und nicht-kooperativer Drohnen,
- der Erstellung und Interpretation eines umfassenden Lagebildes,
- sowie schnellen Reaktionsmechanismen in Krisen oder krisenähnlichen Situationen

2. Abwehr von UAS:

Die Notwendigkeit zur effektiven Drohnenabwehr wird zunehmend von Gesellschaft, Behörden und Industrie betont. Angesichts der vielfältigen Bedrohungsszenarien sind flexible und anpassbare Abwehrsysteme erforderlich. Eine frühzeitige Erkennung und Neutralisierung potenzieller Gefahren sind dabei essenziell – sowohl im militärischen als auch im zivilen Kontext. Im Rahmen eines Projekts zur Drohnenabwehr entwickelt das DLR unterschiedliche technische Lösungsansätze, die in realitätsnahen Szenarien erprobt und weiterentwickelt werden.

3. UAS-Swarming und MUM-T:

Das sogenannte *Swarming* verfolgt das Ziel, neue Technologien für Aufgaben einzusetzen, die nicht zwingend durch Menschen ausgeführt werden müssen. Der koordinierte Einsatz mehrerer UAS ermöglicht eine effiziente Bearbeitung komplexer Aufgaben in kurzer Zeit. Ein solcher Systemverbund kann auch durch ein bemanntes Fluggerät geführt werden (*manned unmanned teaming*). Damit eröffnen sich neue Perspektiven für automatisierte, skalierbare und adaptive Einsatzszenarien.

Darüber hinaus gibt es noch zusätzliche Anwendungsfelder der UAS-Forschung in der zivilen Sicherheitsforschung in Synergie mit den zivilen Bereichen des DLR: So werden UAS beispielsweise auch in Forschungs- und Anwendungsbereichen des Katastrophenschutzes sowie zur Unterstützung humanitärer Hilfsmaßnahmen eingesetzt. Gemeinsam mit dem World Food Programme der Vereinten Nationen testet das DLR beispielsweise im **Projekt superARTIS** den Transport von Hilfsgütern mittels eines unbemannten Hubschraubers in schwer zugängliche Regionen.

Leitung

Dr. Olaf Heintze (Ph.D.) und Dr.-Ing. Ingmar Ehrenpfordt



HAP-alpha – die hochfliegende, unbemannte Solar- plattform des DLR

Im Jahr 2018 bündelten die Programmdirektionen für Luftfahrt, Raumfahrt und Sicherheit ihre Kompetenzen, um eine hochfliegende, unbemannte und solarbetriebene Stratosphärenplattform als Technologiedemonstrator zu entwickeln. Ziel war es, ein tiefgreifendes Verständnis für die Herausforderungen bei der Entwicklung und dem Betrieb solcher Plattformen sowie für die möglichen Design-Kompromisse zu gewinnen.

Eine Alternative zu Satelliten

Hochfliegende, unbemannte Plattformen können über längere Zeit in der unteren Stratosphäre auf etwa 20 Kilometern Höhe stationiert werden und dort eine Vielzahl von Erdbeobachtungs- und Kommunikationsaufgaben wahrnehmen. Im Gegensatz zu Satelliten können sie kostengünstig gestartet und auch wieder gelandet werden. Sie können umgerüstet werden und müssen auch am Ende ihrer Lebensdauer nicht als Weltraumschrott verbleiben. Sie sind so eine potentiell kostengünstigere und umweltfreundliche Alternative zu Satelliten.

Entwicklung, Bau und Erprobung eines solarbetriebenen, unbemannten Stratosphärenflugzeugs

HAP-alpha (High-Altitude Platform) stellt hier einen wichtigen Schritt für das DLR, aber auch für die Forschung in Europa dar. Kern des in 2018 gestarteten Projekts ist der Aufbau einer Höhenplattform, die solargetrieben und mit bis zu 5 Kilogramm Nutzlast in die Stratosphäre aufsteigen und dort mehrere Stunden verbleiben soll. In dieser Zeit kann die Funktion von Sensor- und Kommunikationsnutzlasten, aber auch von kritischen Systemtechnologien im Bereich hochfliegender Plattformen unter den widrigen Einsatzbedingungen in der unteren Stratosphäre erprobt werden.

Anschließend kann HAP-alpha wieder landen und mit einer anderen Nutzlast oder anderen Systemtechnologien bestückt und für den nächsten Erprobungsflug vorbereitet werden. Die HAP-alpha durchläuft am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme des DLR in Cochstedt ihre Ersterprobung in niedriger Höhe. In den nächsten Jahren dringt HAP-alpha dann bis in die untere Stratosphäre vor.



Vollständige Struktur des HAP-alpha beim Standschwingversuch

Ein ganzheitlicher Ansatz

Das DLR verfolgt in diesem Projekt einen ganzheitlichen Ansatz indem hier nicht nur die fliegende Plattform entwickelt wird, sondern auch die für das unbemannte Fliegen notwendige Bodenstation sowie zwei Nutzlasten aus dem Bereich der Erdbeobachtung. Hierbei handelt es sich um das MACS-HAP (Modular Aerial Camera System) und das HAPSAR (Synthetic Aperture Radar). Unter der Führung des Instituts für Flugsystemtechnik haben sich derzeit 16 Institute und Einrichtungen aus der Luft- und Raumfahrt zusammengeschlossen, um das Projekt zu verwirklichen.

Beteiligte DLR Institute:

Institut für Flugsystemtechnik (Projektleitung)
Institut für Systemleichtbau
Institut für Aeroelastik
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Institut für Flugführung
Institut für Softwaretechnologie
Institut für Elektrifizierte Luftfahrtantriebe
Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
Institut für Weltraumforschung
Institut für Physik der Atmosphäre
Institut für Vernetzte Energiesysteme
Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme
Systemhaus Technik
Earth Observation Center

Projektleitung

Florian Nikodem



DLR-Technologien zur Drohnenabwehr

Drohnen werden bereits in zahlreichen Bereichen eingesetzt und ihr Anwendungsspektrum erweitert sich durch technologischen Fortschritt kontinuierlich. Gleichzeitig wachsen auch die sicherheitstechnischen Herausforderungen. So gefährden beispielsweise Drohnensichtungen an Flughäfen den sicheren Flugverkehr. In aktuellen Konflikten wird zudem deutlich, wie umfangreich Drohnen zur Aufklärung und Zielbekämpfung eingesetzt werden. Eine effektive Drohnenabwehr wird deshalb immer wichtiger, um Risiken frühzeitig zu erkennen und zu neutralisieren. Das DLR forscht an einer Vielzahl technischer Lösungen, von der Detektion bis zur Gegenmaßnahme. In einem großen Projekt unter der Leitung des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik werden diese Lösungen umfassend zusammengeführt und demonstriert. Die Technologiereife variiert dabei von der Grundlagenforschung bis hin zur Technologiedemonstration in realistischer Umgebung.

Der erste Schritt ist die Detektion und Klassifikation unerwünschter Drohnen oder Drohnenschwärme. Die Detektion kann mit verschiedenen Sensoren erfolgen: optisch, akustisch, mit Radar oder durch Funkpeilung. Die Forschung an Radarlösungen konzentriert sich insbesondere auf komplexe Umgebungen wie urbane Gelände. Bei den optischen Systemen kommen verschiedene Kamerasysteme sowie Laser zum Einsatz. Darüber hinaus werden neuartige Ansätze mit Quantenmagnetometern oder optoakustischen Detektionskonzepten erforscht. So wird die Fähigkeit aufgebaut, maßgeschneiderte Lösungen für Bedrohungssituationen in verschiedenen Umgebungen zu entwickeln.

Im zweiten Schritt werden in einem Lagezentrum die Bedrohungssituation dargestellt und Gegenmaßnahmen ausgelöst. Studien zu menschlichen Faktoren und zur Ergonomie dieser komplexen Situationsbewertung und Maßnahmenplanung gehören ebenso zu dieser Forschung wie mögliche Sensordatenfusion und Integration in U-Space.

Der dritte Schritt sind die Gegenmaßnahmen. In diesem Zusammenhang entwickelt das DLR miniaturisierte GNSS Spoofer, die sowohl stationär als auch mobil auf einer Abfangdrohne installiert werden können. So entstehen zielgerichtete Lösungen mit geringer Sendeleistung, die sich für den Einsatz in sensiblen Bereichen wie Flughäfen eignen. Im Rahmen der Forschung zu

Abfangdrohnen wird die gesamte Wirkkette von der Detektion über die Missions- und Flugwegplanung und das Abfangmanöver bis hin zur Deaktivierung der Zieldrohne untersucht. Mithilfe von On-Board-Sensorik und KI-Algorithmen zur Zielerkennung konnte das vollautomatische Abfangen durch Kollision, Greifen und Fixierung sowie weitere Gegenmaßnahmen auch gegen besonders schnelle und agile Gegner demonstriert werden. Das schnelle Ausrollen neuer Autonomiefähigkeiten im Feld ermöglicht es, mit dem technologischen Fortschritt mitzuhalten. Auch Laser können als Gegenmaßnahme eingesetzt werden, wobei die Sicherheit der Umgebung und die zielgerichtete Wirkung im Mittelpunkt der Forschung stehen.



Der rammende Counter-UAS-Demonstrator (CUDOs) auf Kollisionskurs mit der eindringenden Drohne

Da der Einsatz von UAS in Konfliktsituationen mittlerweile zur Normalität geworden ist, hat dieses Thema einen deutlichen Dual-Use-Charakter. Neben den technologischen Innovationen ist deshalb die umfassende Analyse- und Bewertungsfähigkeit ein zentrales Ziel dieser Aktivitäten.

Beteiligte Institute

Institut für Flugsystemtechnik (Projektleitung)
Institut für Kommunikation und Navigation
Institut für Technische Physik
Institut für Flugführung
Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen
Institut für den Schutz terrestrischer Infrastrukturen
Institut für Hochfrequenz und Radartechnik
Institut für Systemleichtbau
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik
Institut für Quantentechnologien
Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme



IAM-OSA

(Innovative Luftmobilität für nachhaltige und zugängliche Mobilitätslösungen)

Das Projekt IAM-OSA (Innovative Air Mobility for Optimal Sustainability and Accessibility) führt die DLR-Forschung zur urbanen Luftmobilität fort und erweitert sie um regionale und multimodale Szenarien hin zur Innovative Air Mobility (IAM). Dabei werden Betrieb, Sicherheit und Akustik als zentrale Elemente in die Bewertung des Gesamtsystems einbezogen.

IAM beschreibt ein modernes, sicheres und nachhaltiges Lufttransportsystem, das über die Urban Air Mobility (UAM) hinausgeht. Ziel ist ein effizienter Transport von Passagieren und Fracht durch die Luft, der verschiedene Anwendungsfälle – etwa urbane, regionale und internationale Verbindungen – zu einem intermodalen Transportnetzwerk verknüpft. IAM soll die Grenzen des traditionellen Luftverkehrs überwinden und flexible, zugängliche Luftverkehrsdienste wie Lufttaxis in bestehende Verkehrssysteme integrieren.

Erweiterung bestehender Konzepte und Systeme

Aufbauend auf den Ergebnissen des DLR-Projekts HorizonUAM (2020–2023) erweitert IAM-OSA den Betrachtungsraum um neue intermodale und regionale Anwendungsfälle. Untersucht wird, wie zukünftige IAM-Transportsysteme in urbane, regionale und internationale Gesamtverkehrssysteme eingebettet werden können, unter Berücksichtigung technischer, operativer und gesellschaftlicher Herausforderungen.

Dazu wird die in HorizonUAM entwickelte System-of-Systems-Gesamtverkehrssimulation erweitert. Ziel ist es, das Flugverkehrsmanagement und den Flottenbetrieb zukünftiger IAM-Luftfahrzeuge zu optimieren. Eine modellierte Gesamtverkehrsnachfrage dient als Basis, um Nachhaltigkeit und Technologiefolgen neuer Transportkonzepte zu bewerten. Luftseitige Aspekte wie Operatorplätze, U-space-Dienste und Lufttaxi-Kontrollzentren werden in Schnellzeit simuliert und in Echtzeit validiert.

Forschung zu Betrieb, Akzeptanz und Nachhaltigkeit

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung eines digitalen Lotsen, der die Luftverkehrskontrolle unterstützt und neue Betriebsformen begleitet. Zudem werden Akzeptanzstudien durchgeführt, um sowohl Passagier- als auch Betreiberakzeptanz zu bewerten und innovative Kabinendesigns zu validieren. Methoden zur Erweiterung der Fahrzeugautonomie durch Künstliche Intelligenz werden ebenso entwickelt wie Strategien zur Erkennung cyber-physikalischer Bedrohungen an Vertiports.

Im Sinne der Nachhaltigkeit versprechen elektrisch betriebene Lufttaxi-Konfigurationen geringere Lärmemissionen als konventionelle Hubschrauber. Zur Bewertung werden akustische Simulationen und Flugversuche am Vertiport durchgeführt, insbesondere in Start- und Landephase.

Beteiligte DLR-Institute

Institut für Flugführung (Koordinator)
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Institut für Antriebstechnik
Institut für Flugsystemtechnik
Institut für Kommunikation und Navigation
Institut für Luftverkehr
Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung
Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme

Projektleitung

Dr. Bianca Isabella Schuchardt

*Sichere Einführung von Flugtaxis und der dafür notwendigen Infrastruktur
im urbanen und regionalen Bereich*



VERTIFIED

(Vertiport-Forschungs- infrastruktur für Innovation und Demonstration)

Nach dem erfolgreichen Abschluss des DLR-Projekts HorizonUAM, das Konzepte und Komponenten der *Innovative Air Mobility (IAM)* untersuchte, wird nun einem zentralen Baustein, dem Vertiport, ein eigenes Projekt gewidmet. Das neue Projekt VERTIFIED (Vertiport Research Infrastructure for Innovation Exploration and Demonstration) ist der nächste Schritt zu einer sicheren Einführung von Flugtaxis und der dafür notwendigen Infrastruktur im urbanen und regionalen Raum.

Entwicklung, Aufbau und Validierung von Vertiports

Vertiports bilden als Start- und Landepunkte für Flugtaxis die Verbindung zwischen Luft, Boden und Personenverkehr. Damit sie sich künftig in das multimodale Verkehrssystem integrieren lassen und Flugtaxis kommerziell betrieben werden können, ist intensive Forschung erforderlich. VERTIFIED widmet sich der konzeptionellen Entwicklung, dem Aufbau und der Validierung von Vertiports in zwei zentralen Anwendungsfeldern: im urbanen Umfeld und an Flughäfen.

Zur ganzheitlichen Untersuchung der Forschungsfragen arbeiten verschiedene DLR-Institute und externe Partner eng zusammen. Koordiniert wird das Projekt vom DLR-Institut für Flugführung. Die Laufzeit beträgt vier Jahre, von Juli 2024 bis Juni 2028. Ein regelmäßiger Austausch zwischen DLR-Fachinstituten sowie Stakeholdern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft stellt sicher, dass vielfältige Perspektiven in die Forschung einfließen.

Das umfassende Vertiport-Reallabor

In VERTIFIED werden die notwendigen Vertiport-Konzepte entwickelt und Schlüsselkomponenten, einschließlich U-Space-Services, ausgearbeitet. Die Forscherinnen und Forscher greifen dabei auf die Expertise zahlreicher Kooperationspartner zurück. Am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme entstehen zwei reale Technologiedemonstratoren für Vertiports im Maßstab 1:1. Diese Prototypen ermöglichen Flugversuche unter realistischen Bedingungen. Durch ihren modularen und flexiblen Aufbau können verschiedene Szenarien erprobt und praxisnahe Antworten auf aktuelle Forschungsfragen gewonnen werden.

Das Reallabor soll umfassende Erkenntnisse für die zukünftige kommerzielle Nutzung der Innovative Air Mobility liefern. Die Demonstratoren stehen künftig sowohl DLR-intern als auch externen Partnern zur Verfügung, um neue Konzepte sowie Technologien im Umfeld von Vertiports zu validieren und zu demonstrieren.

Beteiligte DLR-Institute

Institut für Flugführung (Koordinator)
Institut für Flugsystemtechnik
Einrichtung Flugexperimente
Institut für Kommunikation und Navigation
Institut für Luftverkehr
Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte
Luftfahrtsysteme

Projektleitung

Dr. Samiksha Nagrare



Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme

Mit dem Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme ist ein Testzentrum entstanden, in dem Fähigkeiten und Kompetenzen der Entwicklung unbemannter Luftfahrtsysteme gebündelt werden können. Das Erprobungszentrum ermöglicht die Vernetzung von Wissenschaft, Industrie und Behörden zur Weiterentwicklung von UAS-Technologien.

Da weder Hersteller oder Betreiber noch der Gesetzgeber alle Fragestellungen mit Blick auf UAS allein untersuchen und lösen können, ist die Mitwirkung und Unterstützung der Großforschung als Bindeglied sowohl in technischen als auch in regulatorischen Fragestellungen von zunehmender Bedeutung. Bei der Bewältigung dieser Herausforderungen übernimmt das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme eine zentrale Rolle als Wegbereiter für die zukünftige Forschung und Entwicklung hinsichtlich neuer UAS-Technologien. In Cochstedt ist seit der Gründung ein für alle Entitäten nutzbarer Testraum entstanden, der die Erprobungsgrundlage für zukünftige, technologisch und regulatorisch richtungsweisende Entscheidungen bildet. Im Rahmen der Validierung und Zertifizierung neuer Technologien ist es erforderlich, dass neuartige Systeme im Verbund (System-of-Systems) unter realen Bedingungen in einer kontrollierten Umgebung umfassend erprobt und qualifiziert werden. Gleichzeitig muss die Komplexität der Testumgebung skalierbar sein, damit nicht von vornherein zu hohe Anforderungen an das Testen gestellt werden, die den Technologiefortschritt verlangsamen. Hierfür ist Cochstedt aufgrund seiner Lage und Infrastruktur sowie dank der besonderen Rahmenbedingungen, die über die letzten Jahre geschaffen wurden, ein idealer und in Europa

einzigartiger Ort. Das Testgelände ist dabei über die DLR-interne Forschung hinaus sämtlichen externen Bedarfsträgern aus Industrie, Behörden und Forschung zugänglich. Besonders interessant ist das Erprobungszentrum dabei für Start-ups und KMUs, die hier die Möglichkeit haben, ohne große eigene Investitionen ein hochmodernes Testzentrum zu nutzen und ein Netzwerk mit anderen Akteuren im UAS-Ökosystem aufzubauen.

Enablerwirkung für das gesamte UAS-Ökosystem aus Industrie, Behörden und Forschung

Das Erprobungszentrum stellt für seine Nutzer die nötigen Rahmenbedingungen und Infrastrukturen bereit (zur Übersicht siehe Aufklappgrafik am Ende) und unterstützt sie bei Bedarf auch bei der Planung, Beantragung und Durchführung von Tests. Die möglichen Testszenarien reichen dabei beispielsweise von Fragen zum Gesamtsystemverbund sowie Subsystemtests einzelner Komponenten über die Erprobung des Schwarmverhaltens und die Luftraumintegration bis hin zur Abwehr von UAS (inklusive Cyber-Sicherheit) sowie Untersuchungen zu Akzeptanz und Auswirkungen von UAS. Eigentlich gibt es nichts, was nicht grundsätzlich in Cochstedt erprobt werden kann, da das Erprobungszentrum Nutzern auch für anderweitige Testbedarfe über das Kernportfolio hinaus zur Verfügung steht. So wurden inzwischen zum Beispiel auch raumfahrtbasierte Technologien und Fragestellungen aus dem bodengebundenen Verkehr erprobt.

Technologiedemonstrationen und Skalierbarkeit

Um eine neue Technologie möglichst schnell und sicher in den Markt bringen zu können, ist eine Erprobung unter Realbedingungen zur Technologiebewertung und -demonstration unabdingbar. Für schnelle Innovations- und Entwicklungszyklen ist dabei die Skalierbarkeit von (Früh-)Erprobung bis hin zum Realeinsatzszenario eine Grundvoraussetzung, die ein Testzentrum ermöglichen muss. Hierfür sind einerseits eine Durchlässigkeit in der Komplexität der Erprobungsbedingungen (skalierbare Komplexität) sowie andererseits auch entsprechend

skalierende Testinfrastrukturen und Rahmenbedingungen nötig. Das Erprobungszentrum ist genau auf diese Anforderungen ausgelegt und ermöglicht somit eine volle Skalierbarkeit der Testmöglichkeiten entsprechend der Nutzerbedarfe. Im Kontext der Drohnenabwehr bedeutet dies z. B., dass sowohl Einzelkomponenten zur Detektion und Abwehr entwickelt und im Nahfeld getestet werden können als auch ein Gesamtsystemverbund aus Detektions- und Abwehrkomponenten (inkl. Jamming/Spoofing, Laser, etc.) an einem geöffneten internationalen Verkehrsflughafen mit Anfluggradienten von mehreren Kilometern erprobt werden kann.



Testszenarios am Nationalen Erprobungszentrum

Als ein weiteres Beispiel ergeben sich, bezogen auf die Entwicklung von großen UAS (z. B. für Logistikanwendungen), Möglichkeiten, sowohl einen ersten Prototypen ohne weitere Auflagen zu fliegen als auch zu einem späteren Zeitpunkt IFR-Anflüge (engl. Instrument Flight Rules) für einen Verkehrsflughafen zu erproben. Gleichzeitig ist die frühzeitige Demonstration von Technologien und Fähigkeiten immens wichtig in der Vertrauensbildung und Kommunikation zwischen Herstellern und

Interdisziplinäre Kooperation, Skalierung und ein Ort zur Vernetzung

Bedarfsträgern. Daher wurden in Cochstedt bereits große Technologiedemonstrationen und Challenges zu unterschiedlichen Anwendungsfällen und Fragestellungen durchgeführt. Dies soll auch in Zukunft weiter unterstützt und ausgebaut werden, um die Vernetzung im UAS-Ökosystem zu stärken.

Kompetenzzentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme

Die UAS-Forschung im DLR findet mitunter dezentral an den jeweiligen Standorten der Fachinstitute statt (zur Übersicht siehe Grafik im Einschlag hinten). Der DLR-Standort Cochstedt soll mit dem dort angesiedelten Kompetenzzentrum für UAS Lösungen aufzeigen, die die Forschung in effizienter und effektiver Weise für das DLR in seiner Gesamtheit voranbringen – hier im Speziellen durch das Konzept eines „UAS-Forschungsplateaus“, welches die institutsübergreifende Forschung in Cochstedt bündelt. Somit findet über die dedizierte Forschung in Cochstedt hinaus auch die gesamte UAS-Forschung des DLR einen Ort zur Vernetzung am Nationalen Erprobungszentrum.

Wachsende Projektlandschaft in und um Cochstedt

Nicht zuletzt durch die Aktivitäten im UAS-Forschungsplateau ist eine Projektlandschaft um das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftsysteme herum entstanden, die stetig weiter wächst. Die jeweiligen Projekte umfassen hierbei alle relevanten Themenbereiche aus dem UAS-Ökosystem, von der Entwicklung neuartiger Vehikelkonzepte und UAS-Technologien über die Luftraumintegration von UAS bis hin zum Thema Drohnenabwehr.

Im Vordergrund dieser Projekte stehen neben dem reinen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn auch immer die Demonstration der entwickelten Lösungen und Technologien sowie die Technologiebewertung. Für eine entsprechende Technologiebewertung und -folgenabschätzung, werden neben physischen Systemen und Prototypen auch digitale Tools und Simulationsumgebungen aufgebaut, um gewonnene Erkenntnisse bestmöglich auf andere Szenarien und Anwendungsfälle übertragen zu können. Dieses geballte Wissen, verbunden mit entsprechenden Infrastrukturen, steht im Anschluss auch Industrie und Behörden zur Verfügung.

Neuartige Technologien und Vehikelkonzepte



Infrastrukturen zur Technologieintegration



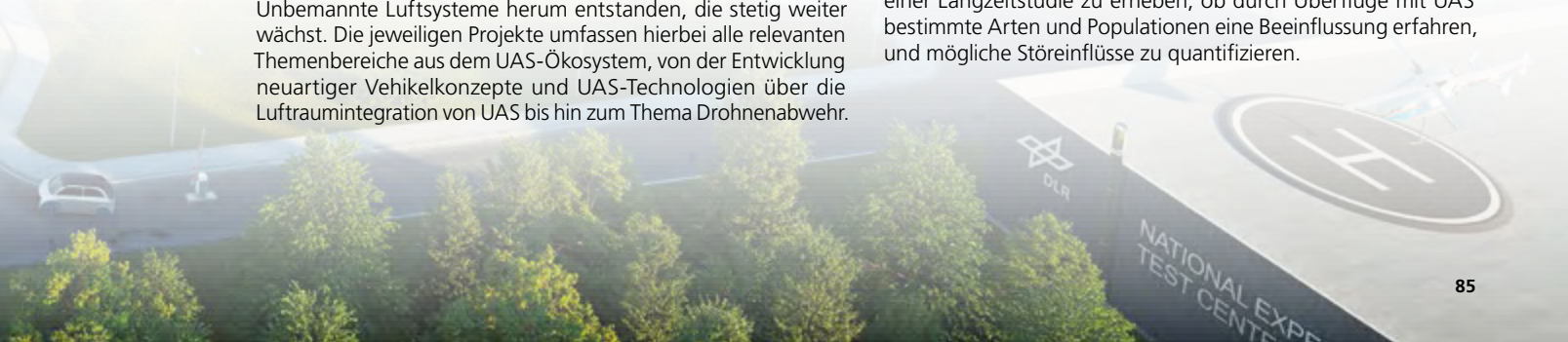
Luftraumintegration und operationelle Konzepte



Anwendungen für skalierte Demonstratoren

Analyse von möglichen Auswirkungen auf die Natur

Ein verantwortlicher und proaktiver Umgang mit einer neuen Technologie wie UAS verlangt, dass man sich auch mit möglichen Risiken und potenziell negativen Auswirkungen von UAS-Betrieben auseinandersetzt. Zu diesem Zweck wurde in Cochstedt im Rahmen der Akzeptanz- und Impactforschung ein kontinuierliches Monitoring der Vogelbestände etabliert, um im Rahmen einer Langzeitstudie zu erheben, ob durch Überflüge mit UAS bestimmte Arten und Populationen eine Beeinflussung erfahren, und mögliche Störeinflüsse zu quantifizieren.



“The future use of UAS at a commercial level poses new challenges for researchers, manufacturers, operators and legislators alike. In view of the complexity of the challenge, a compartmentalised approach to dealing with individual parts of the overall system is no longer sufficient. Hence, they need to be considered, tested, validated and certified conjointly.”

(Zitat aus dem Gründungskonzept für das Nationale Erprobungszentrum)

Kontakt

Einrichtungsleitung: Jean Daniel Sülberg
Nationales Erprobungszentrum für
Unbemannte Luftfahrtsysteme

Harzstr. 1
39444 Hecklingen
OT Cochstedt

**www.dlr.de/ux
cochstedt@dlr.de**



Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme

Standort und Infrastruktur

BÜROGEBÄUDE

- Büros und Besprechungsräume
- Ruheräume



MODELLSTADT

- urbane Testumgebung als modulare Stadtkulisse mit Messtechnikausstattung (in Planung)



TOWER

- Flugleitung
- flexible Projektarbeitsplätze
- Besprechungsräume



TESTINFRASTRUKTUR

- stationäre und mobile Missionskontrollzentren
- MLAT-System auf Basis ADS-B und Flarm
- D2X-Trackingsystem
- Trackingsystem zur optischen Flugbahnvermessung
- Lidarsystem zur Windmessung
- 6DoF Motion Platform, z. B. als Schiffdecksimulator
- UAS (Multicopter, Fixed-Wing) zur flexiblen Nutzung, z. B. als Sensor- oder Kameraträger
- Flight-Termination-System
- First-Person-View-Equipment
- experimentelle GBAS-Bodenstation
- 16-m-Mast für individuelle Datenlinkinstallationen
- Georeferenzpunkte auf dem gesamten Gelände
- Zubehör, wie mobile Masten, Pavillons, Mobiliar, Stromversorgung
- Container als modulare Hinderniskulisse
- Vertiport-Test- und Demonstrationsinfrastruktur (im Aufbau)
- 5G-Campusnetz (in Planung)
- Modellstadt als urbane Testumgebung (in Planung)
- Hangar- und Lagerflächen
- abschließbare Büroflächen inkl. Küche
- Fahrzeuge und Fahrräder



DLR-Mitarbeitende



UAS-Erprobung



Projekte und Forschung
(extern + intern)



Flughafenbetrieb



Werkstatt

HAUPTGEBÄUDE

- Konferenzzentrum
- Missionskontrollzentrum
- Büros und Labore



BETRIEBSGEBÄUDE

- Feuerwehr
- Sicherheitstechnik
- Flughafenbetriebsgesellschaft



HANGAR 1

- Grundfläche 1.000 m²
- Metall- und Kunststoffverarbeitung
- Elektronikwerkstatt
- individuelle Projektbereiche
- Besprechungsraum und Küche
- brandgeschützte Ladeinfrastruktur für Akkus und Fluggeräte bis 125 A



ERPROBUNGSGEBIET

- U-Space-Reallabor (im Aufbau)
- Luftraum: Aerodrome Traffic Zone (ATZ) ca. 220 km² mit einer Höhe bis 3.000 ft MSL
- Controlled Ground Area nach Abstimmung
- abgestimmte Prozesse zur Mitigation von Ground und Air Risk
- dünn besiedelte Region, weitläufiges Fluggebiet
- Verkehrsflughafen mit Start- und Landebahn (2,5 km) und Graspiste (800 m)
- Flughafeninfrastruktur – Tower, Feuerwehr (RFFS bis CAT 6), Wettersystem (MET III), Tankstelle Jet A-1

HANGAR 2

- Grundfläche 3.000 m²
- Indoor-GNSS
- Drohnenkäfig für Indoor-Flugversuche
- 3D-Druck
- Laminierwerkstatt
- brandgeschützte Ladeinfrastruktur für Akkus und Fluggeräte bis 125 A
- individuelle Projektbereiche
- Büros, Besprechungsräume und Küchen



DLR

Nationales Erprobungszentrum
für Unbemannte Luftfahrssysteme

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das deutsche Forschungs- und Technologiezentrum für Luft- und Raumfahrt. In seinen Kerngebieten entwickelt das DLR Technologien für Luft- und Raumfahrt, Energie und Verkehr sowie Sicherheits- und Verteidigungsforschung. Ein breites Spektrum an Ergebnissen und Innovationen bringen Nutzen für Industrie und Wirtschaft, Behörden und Verwaltung sowie für öffentliche Stakeholder. Durch einen intensiven Wissensaustausch und gezielten Technologietransfer stellt sich das DLR seiner Verantwortung gegenüber der Gesellschaft. Dazu wird es mit Mitteln des Bundes gefördert. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR-Projekträger arbeiten als Managementeinrichtungen für Forschungs- und Industrieförderung.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 51 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für die daraus resultierenden Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 11.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall. Wir entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft und tragen durch den Technologietransfer dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Herausgeber

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Linder Höhe, 51147 Köln, DLR.de
Telefon: 02203 601-0, E-Mail: info@DLR.de

Gestaltung

MedienMélange: Kommunikation!
Goetheallee 6, 22765 Hamburg
www.medienmelange.de

Druck

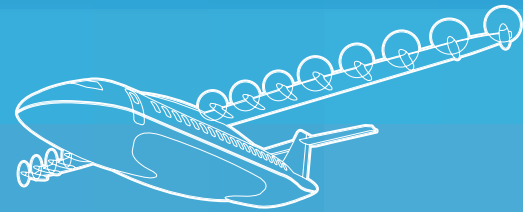
Meinders & Elstermann GmbH & Co. KG
Weberstraße 7
49191 Belm

Drucklegung

November 2025

Fotos

DLR (CC BY-NC-ND 3.0)
so weit nicht anders angegeben



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt