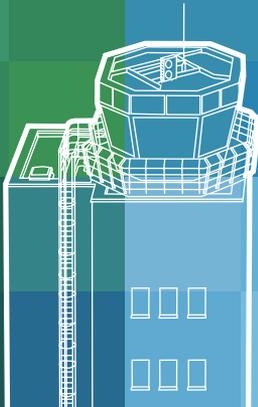
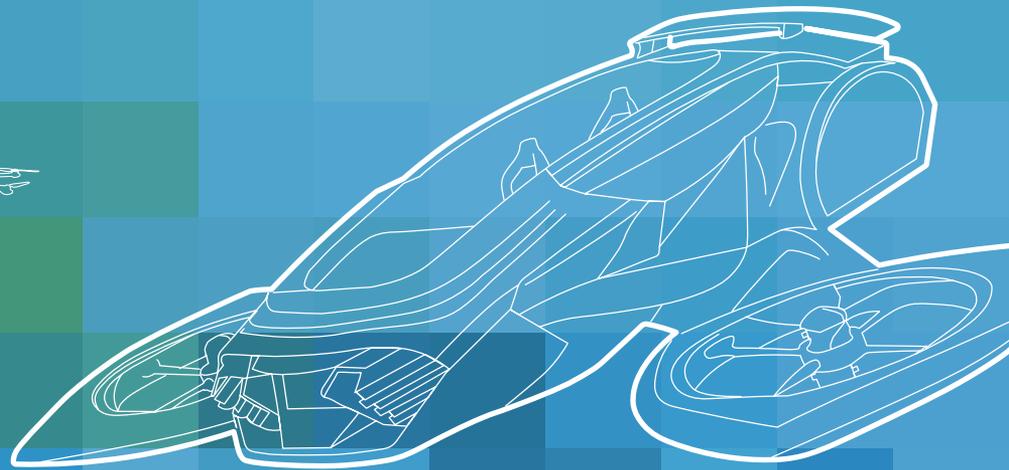


DAS NATIONALE ERPROBUNGSZENTRUM FÜR
UNBEMANNTE LUFTFAHRTSYSTEME
UND DIE UAS FORSCHUNG IM DLR



| | |
|---|----|
| Grusswort _____ | 03 |
| Einleitung _____ | 05 |
| Einführung _____ | 06 |
| Die UAS Forschung im DLR stellt sich vor | |
| Institut für Aeroelastik (AE) _____ | 09 |
| Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik (AS) _____ | 11 |
| Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie (BT) _____ | 13 |
| Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik (FA) _____ | 15 |
| Institut für Flugführung (FL) _____ | 17 |
| Institut für Flugsystemtechnik (FT) _____ | 21 |
| Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr (FW) _____ | 25 |
| Flugexperimente (FX) _____ | 27 |
| Technologien für Kleinflugzeuge (KF) _____ | 31 |
| Institut für Kommunikation und Navigation (KN) _____ | 33 |
| Lufttransportsysteme (LY) _____ | 37 |
| Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin (ME) _____ | 39 |
| Institut für Instandhaltung und Modifikation (MO) _____ | 41 |
| Institut für Physik der Atmosphäre (PA) _____ | 43 |
| Institut für Softwaretechnologie (SC) _____ | 45 |
| Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt (SL) _____ | 47 |
| Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung (SP) _____ | 49 |
| Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik (SR) _____ | 51 |
| Institut für Technische Physik (TP) _____ | 53 |
| Institut für Verkehrssystemtechnik (TS) _____ | 55 |
| Institut für Technische Thermodynamik (TT) _____ | 57 |
| Sicherheitsforschung (PK-S) _____ | 59 |
| Querschnittsprojekt Hochfliegende unbemannte Plattform (HAP) _____ | 61 |
| Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme _____ | 63 |

Unbemanntes Fliegen im DLR

Die Technologie des unbemannten Fliegens gewinnt zunehmend an Bedeutung für die Mobilität der Zukunft. Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) werden bereits heute unter anderem in der Katastrophenhilfe sowie für den Medikamententransport 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 zahlreiche Forschungsfragen. Das DLR treibt in zahlreichen Instituten die UAS-Forschung als strategischen Schwerpunkt interdisziplinär voran.

Im Sommer 2019 hatte der Senat des DLR zugestimmt, unser vom Bund und dem Land Sachsen-Anhalt finanziertes Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt aufzubauen. Hier entsteht das Zentrum eines europaweit einmaligen hochinnovativen Netzwerkes für die UAS-Forschung. Der Flugplatz bietet alle technischen und wissenschaftlichen Möglichkeiten für gemeinsame Entwicklungen mit etablierten Industriepartnern und Start-ups – ebenso wie auch in der Zusammenarbeit mit Behörden zur Erstellung notwendiger neuer Regelwerke. Dafür bündelt das DLR alle seine Kompetenzen und ermöglicht die Entwicklung und Realisierung neuer Technologien im Bereich der UAS.

Wir betrachten in unserer Arbeit mehr als nur einzelne Technologien, sondern immer auch das Gesamtsystem. Wir sehen uns damit in der Funktion eines Architekten. Von den Grundlagen bis hin zur Anwendung in enger Abstimmung und in Kooperation mit Industrie, Forschung und Politik. Der Weg hin zu einer effizienten und sicheren Urban Air Mobility erfordert einen disruptiven Ansatz mit einem hohen Innovationsgrad. Hierfür soll das Erprobungszentrum in Cochstedt ein Ort sein, der die Vernetzung von Forschung, Industrie und Behörden ermöglicht.



Anke Kaysser-Pyzalla

Prof. Anke Kaysser-Pyzalla, DLR-Vorstandsvorsitzende

Eine europaweit einmalige Testinfrastruktur für UAS-Spitzenforschung

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) betreibt bereits seit vielen Jahren über seine Fachinstitute Spitzenforschung im Bereich der unbemannten Luftfahrtsysteme. Diese Forschung bildet die Grundlage für die Notwendigkeit vielfältiger Testszenarien und –anforderungen, wodurch sich die Rolle des Erprobungszentrums als Integrations- und Unterstützungsfunktion in der UAS-Landschaft verdeutlicht. Die Broschüre gibt zunächst einen kurzen, allgemeinen Überblick zum Thema unbemannte Luftfahrtsysteme und stellt anschließend die DLR-Institute mit UAS Forschungsschwerpunkt vor. Dabei werden Einblicke in Forschungsprojekte gewährt und es wird ein Eindruck über die Breite der Einsatzmöglichkeiten für UAS vermittelt.

Der Aufbau und die Entwicklung des Erprobungszentrums richtet sich auf eben diese Einsatzmöglichkeiten und Szenarien aus, um eine optimale Nutzbarkeit und größtmögliche Unterstützungsleistung für Forschung, Industrie und Behörden zu realisieren. Hierzu investieren wir in 2020 bereits 6 Millionen Euro in die Infrastruktur des Erprobungszentrums, davon etwa 4 Millionen rein für wissenschaftliche Zwecke. Obwohl sich die Vorstellung im Rahmen dieser Broschüre auf das DLR beschränkt, versteht es sich dabei von selbst, dass das nationale Erprobungszentrum auch für Nutzer und Vorhaben aus der deutschen sowie auch internationalen Industrie und Forschung zur Verfügung steht.

Ein besonderer Aspekt bzgl. des Erprobungszentrums sei an dieser Stelle noch genannt, da er im weiteren Verlauf der Broschüre nicht mehr explizit thematisiert wird: Neben der Schaffung einer

europaweit einmaligen Testinfrastruktur für UAS werden wir in Cochstedt parallel zum UAS-Betrieb ebenfalls einen „normalen“ Flughafen (in reduziertem Umfang) weiter betreiben, um auch in diesem Bereich Erkenntnisse für zukünftige Anwendungsfälle zu sammeln. Hiermit stellt sich das DLR einer zusätzlichen Herausforderung, die zur Schaffung weiterer Testmöglichkeiten sowohl für Forschung und Industrie als auch für Regulierungsbehörden und -prozesse dient.

Die bereits laufenden Gespräche mit Vertretern aus Industrie, Forschung und Behörden sowie mit Menschen aus der Region zeigen, dass sich hiermit ein großes Potential für die Entwicklung von UAS-Technologien bietet, da sichere aber gleichzeitig umfangreiche Testmöglichkeiten integraler Bestandteil zur Validierung und Zertifizierung neuer Technologien sowie auch zur Schaffung von diesbezüglicher Akzeptanz sind. Daher freuen wir uns auf den weiteren Aufbau, die Entstehung neuer sowie die Vertiefung bestehender Kooperationen und die Beiträge, die durch das Erprobungszentrum für den zukünftigen Luftverkehr erbracht werden können.



Jean Daniel Sülberg

Leiter des Nationalen Erprobungszentrums
für Unbemannte Luftfahrtsysteme

Unbemannte Luftfahrtsysteme – eine vielseitige Zukunftstechnologie

Überblick

Die Luftfahrtbranche wird sich durch das Aufkommen neuer Technologien und Geschäftsmodelle sowie vor dem Hintergrund eines stärkeren Umweltbewusstseins bei Herstellern und Nutzern signifikant verändern, wodurch die Luftfahrt bereits Ende der 2020er Jahre anders aussehen wird als zu Beginn dieses Jahrtausends. Hierbei werden **unbemannte Luftfahrtsysteme** eine tragende Rolle spielen.

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.

Die Beförderung von Personen ist eines der derzeit präsentesten Zukunftsfelder für UAS. Im städtischen Umfeld und interstädtischen Kurzstreckenbereich wird hierfür zumeist die Bezeichnung **Urban Air Mobility** (UAM) verwendet. Insbesondere im Bereich UAM wurden zwei Bezeichnungen für unterschiedliche Arten der Start- und Landemöglichkeiten von UAS geprägt. Hierbei handelt

es sich zum einen um elektrisch angetriebene Senkrechtstarter (**eVTOL**, engl. electric Vertical Take-Off and Landing) und zum anderen um (hybrid-)elektrisch angetriebenen Flugzeuge mit Kurzstartfähigkeit (**eSTOL**, engl. electric Short Take-Off and Landing).

Abseits vom Personenverkehr existieren **vielfältige Einsatzzwecke für die Nutzung von UAS**. Ein ebenfalls sehr prägnanter 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 auch 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 auch 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. Auch **Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben** (BOS) können zukünftig vom Einsatz von UAS profitieren. Durch eine Erstaufklärung aus der Luft sowie die Möglichkeit ohne eine Gefährdung von Menschenleben Strahlenmessungen und Gefahstoffanalysen durchzuführen, können unbemannte Luftfahrtsysteme in der Lageerkennung bei Krisen- oder Katastrophenfällen einen erheblichen Mehrwert liefern. Sie können zudem zur Personensuche oder zur Überwachung komplexer Einsätze der BOS

eingesetzt werden. Nicht zuletzt werden UAS auch im Bereich **humanitäre Hilfe**, zum Beispiel in der Versorgung mit Hilfsgütern für unzugängliche Gebiete nach Hochwassern oder anderen Krisenfällen, einen Mehrwert leisten.

Zudem entstehen aufgrund der breitbandigen Einsatzfähigkeit unterschiedlicher UAS regelmäßig neue Einsatzfelder. Hierbei sind vor allem **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 satellitengestützten Kommunikation dienen können. Somit können beispielsweise infrastrukturell schlecht erschlossene Regionen mit einem Zugang zu Kommunikation und Informationen versorgt werden. Eine weitere Einsatzmöglichkeit erfahren UAS im Bereich **medizinische Versorgung**, hier vor allem in der Telemedizin, aber zukünftig auch im Rettungswesen.

Herausforderungen für den Erfolg von UAS

Im Sinne eines ökoeffizienten und nachhaltigen Betriebs von unbemannten Luftfahrtsystemen werden konventionelle Antriebe („Verbrenner“) durch **neue Antriebskonzepte** abgelöst. Aktuelle Entwicklungen stützen sich dabei vor allem auf **batterieelektrische Antriebe**. Hierbei bildet die derzeit verfügbare Energiedichte in Akkus die maßgebliche Limitierung der Reichweiten und Einsatzmöglichkeiten von UAS, was gerade im Bereich UAM bei eVTOLs und eSTOLs, die beim Start- und Landevorgang sehr viel Energie benötigen, eine Herausforderung darstellt. Daher werden inzwischen vermehrt weiterführende Antriebskonzepte

wie **hybrid-elektrische** Antriebe und der Einsatz von **Brennstoffzellen** untersucht.

Durch das Fehlen des Piloten im Luftfahrzeug herrscht in einem beliebigen unbemannten Luftfahrtsystem ein Mindestgrad an **Automatisierung**. Bereits bei vom Boden „ferngesteuerten“ Flügen muss das Luftfahrzeug dem Operator am Boden durch eine geeignete Sensorik und Regelungstechnik assistieren. Dies gilt insbesondere im Betrieb außerhalb der Sichtweite des Piloten (BVLOS, engl. Beyond Visual Line Of Sight), auf den sich die meisten Anwendungsfälle von UAS stützen. Viele kommerzielle Anwendungen werden zudem erst dann wirklich rentabel, wenn auch die Steuerung und Überwachung vom Boden aus nicht mehr notwendig ist. Das Ziel ist daher die Autonomie von UAS, was insbesondere beim gleichzeitigen Einsatz einer Vielzahl von UAS eine große Herausforderung für die Sensorik und Regelungstechnik darstellt. Für einen UAS-Betrieb auf Basis vollständiger **Autonomie**, bei dem gar kein Eingreifen durch einen Menschen erforderlich ist, sind daher vor allem Fortschritte im Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) sowie in der Möglichkeit zur Zertifizierung autonomer Systeme in der Luftfahrt nötig.

Neben den etwaigen Anforderungen an die jeweiligen Vehikel- und Systemtechnologien stellen die **Luftraumintegration** von UAS sowie neue **Regulierungen und Gesetze** im Bereich UAS weitere Herausforderungen dar. Für die Integration in den Luftraum stehen dabei vor allem Themen wie Flug- und Schwarmführung (inkl. den zugrundeliegenden Technologien im Bereich Kommunikation und Navigation) und die Regulierung des unteren Luftraums, wozu in Europa das Konzept des U-space entwickelt wird, im Vordergrund.



Institut für Aeroelastik (AE)

Das Institut für Aeroelastik befasst sich mit physikalischen Phänomenen, die in Natur und Technik, insbesondere bei Flugzeugen auftreten. Diese sind unter dem Zwang zum extremen Leichtbau relativ flexible Strukturen. Durch die Wechselwirkung mit der Aerodynamik können diese „aeroelastisch“ bedingten Verformungen und Schwingungen hier zu Problemen mit weitreichenden flugtechnischen Konsequenzen führen. Im Institut werden multidisziplinäre Forschungsarbeiten und Industrienaufträge mit dem Ziel durchgeführt, das aeroelastische Verhalten verlässlich vorzubestimmen und mit Flugversuchen nachzuweisen, so dass Neuentwicklungen betriebssicher gestaltet werden können. Hierfür werden unter anderem numerische Analyseverfahren sowie experimentelle Methoden zur Echtzeitanalyse im Flugtest entwickelt und angewendet.

Projekt FLiPASED

Zukünftige Flugzeuge sollen leichter und dadurch sparsamer im Kerosinverbrauch sein, allerdings ist die Möglichkeit bei Flugzeugflügeln mit herkömmlichen Bauweisen Gewicht einzusparen praktisch ausgeschöpft. Das EU-Projekt FLiPASED (Nachfolge zu FLEXOP) mit den Partnern SZTAKI, TUM, ONERA und DLR hat sich zum Ziel gesetzt, neuartige Möglichkeiten im Flügel-Design zu untersuchen und auf einem Demonstrator mit 7 Metern Spannweite im Flugtest nachzuweisen.

Hierfür wurden zwei Flügel nach neuen, gewichtsoptimierten Bauweisen entworfen und zusammen mit einem Standardflügel gebaut. Um die Wirksamkeit der neuen Flügelbauweisen zu untersuchen, wurden sie zunächst im DLR-Institut für Aeroelastik in Göttingen im Projekt FLEXOP, in einem Ground Vibration Test auf ihr Schwingungsverhalten untersucht.

Das Modell des Standardflügels besteht aus Kohlefasern. Der erste innovative aus Glasfasern bestehende Flügelentwurf, der sogenannte „Flutter-Flügel“, ist ein Entwurf der Technischen Universität München. Ein neuartiges, vom DLR-Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik in Oberpfaffenhofen entwickeltes Flugregelungssystem soll hierbei das Flugzeug aeroelastisch stabil halten und damit das Eintreten von Flattern verhindern. Ein zwei-

tes Flugregelungssystem wurde vom Computer and Automation Research Institute der ungarischen Akademie der Wissenschaften (MTA SZTAKI) entwickelt. Mit einem solchen Flügel könnten künftig 20 Prozent mehr Fracht transportiert oder 7 Prozent Treibstoff eingespart werden.



Flugversuch mit FLEXOP-Demonstrator in Oberpfaffenhofen

Ein weiterer Flügel im Test ist der sogenannte aeroelastische Flügel. Dieser wurde vom DLR-Institut für Aeroelastik zusammen mit der Universität Delft entwickelt. Er besteht zwar auch aus Kohlefasern, verfügt aber über besondere Eigenschaften. Unter Belastung biegt sich der neue Flügel nicht nur, er verdreht sich auch deutlich stärker als heutige Tragflächen. Dadurch kann der aeroelastische Flügel den größten Lasten im Flug quasi ausweichen und ist genauso stabil wie der Standardflügel – obwohl er 20 Prozent leichter ist.

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

Möglich macht dies ein speziell optimierter, unkonventioneller Lagenaufbau des Werkstoffs. Dieser aeroelastische Flügel und der Standardflügel sind in einem Flugversuch am Sonderflughafen Oberpfaffenhofen im Projekt FLEXOP getestet worden. In 2021 soll der Flutter-Flügel in Cochstedt abheben und seine Effektivität beweisen.

Institutsdirektor
Prof. Dr.-Ing. Lorenz Tichy

Forschungsflugzeug A320 ATRA mit verschiedenen lärmindernden Anbauten überfliegt akustische Messsysteme, Flughafen Cochstedt



Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik (AS)

Das Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik ist ein führendes Forschungsinstitut auf den Gebieten Flugzeug-Aerodynamik, Flugzeug-Aeroakustik und Raumfahrt-Aerothermodynamik. Es ist an den Standorten Braunschweig und Göttingen beheimatet und betreibt in Köln eine Abteilung. 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.

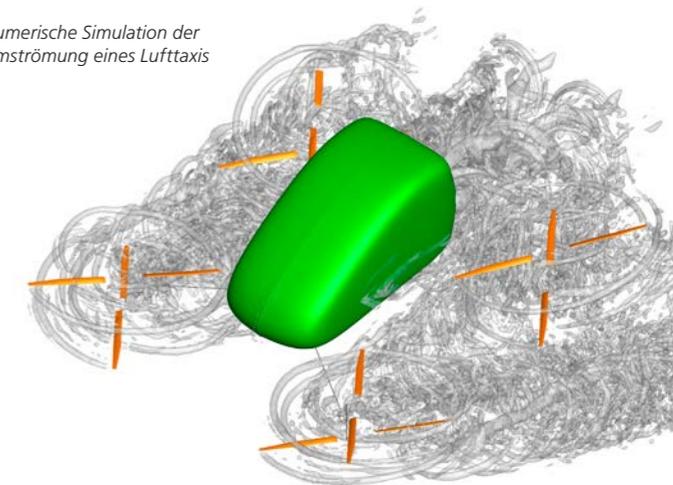
Numerische Vorhersagen und experimentelle Messungen für das effiziente Transportmittel der Zukunft

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 Air Systems 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 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 den laufenden Projekten AACID, CHASER und UrbanRescue beschäftigt sich das Institut mit der Aerodynamik und Schallabstrahlung von Drohnen bzw. Lufttaxis, wie sie für den unbemannten Warentransport oder die „Urban Air Mobility“ angedacht sind. Schwerpunkte der Forschung sind Windkanalversuche zur Gewinnung aerodynamischer und akustischer Referenzdaten sowie die Entwicklung numerischer Vorhersagemethoden. Die Erkenntnisse sollen zum Entwurf eines Lufttaxis und zur Bewertung des Schalleintrags auf Anwohner eingesetzt werden.

Institutsleitung Braunschweig:
Prof. Dr.-Ing. Cord-Christian Rossow

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



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

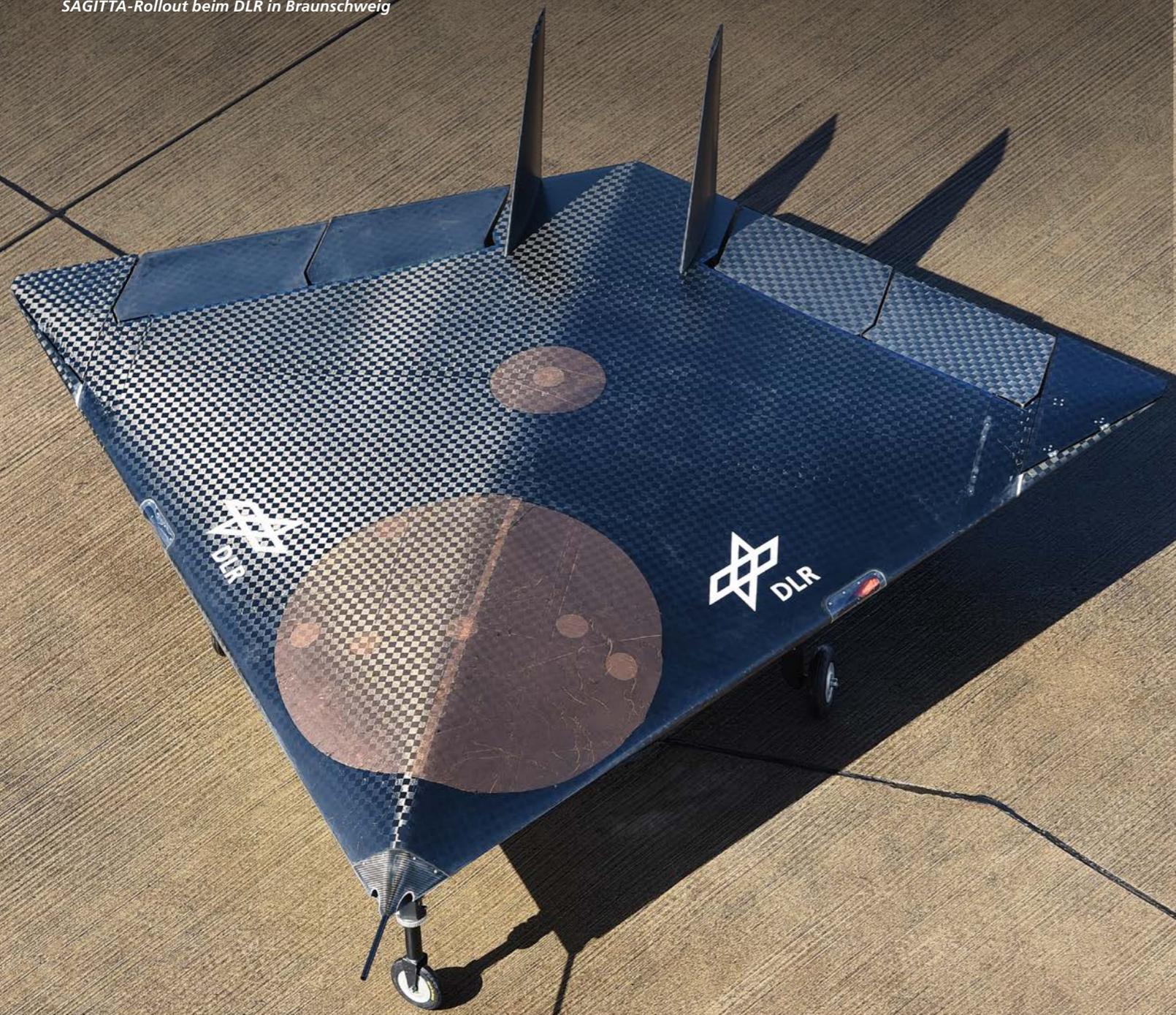
UrbanRescue und entwickelt eine zielführende interdisziplinäre Strukturauslegung. Diese ist auf beliebige UAS-Konfigurationen anwendbar und zielt auf ein gesamtheitliches Optimum ab. Dieses Optimum wird erreicht durch eine enge Verknüpfung der klassischen Auslegungsdisziplinen wie Design und Statik mit 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 des UAS

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 Leichtbaupotentials 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.

Institutsdirektor

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heinz Voggenreiter



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik (FA)

Die Herstellung extrem leichter und filigraner Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen gehört zur langjährigen Expertise des Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptronik. Rund um die leichten Strukturen für Luft- und Raumfahrt forscht das Institut an einer effizienteren Herstellung und Betrieb. Ziel ist es dabei, verschiedenste Funktionen in die Struktur zu integrieren, um so durch Gewichts- und Ressourceneinsparung die Umweltverträglichkeit zu erhöhen. Mit seinen kreativen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an den Standorten Braunschweig und Stade bildet das Institut die Brücke zwischen Grundlagenforschung und industrieller Anwendung.

*Das Institut bildet die Brücke
zwischen Grundlagenforschung und
industrieller Anwendung*

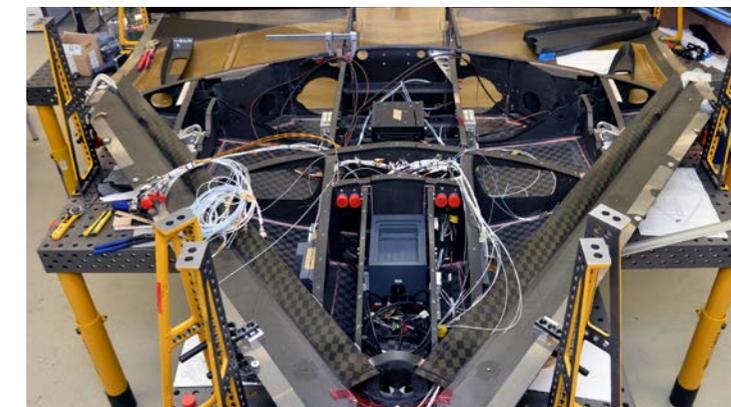
Projekt SAGITTA

Der Bau der Primärstruktur des Open-Innovation-Erprobungsträgers SAGITTA, stellt ein besonderes Beispiel dar. Dabei handelt es sich um einen Technologieerprobungsträger für unbemanntes Fliegen, der von Airbus gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie Instituten der Technischen Universitäten in München und Chemnitz, der Bundeswehruniversität in München und der Technischen Hochschule Ingolstadt entwickelt wurde.

Die Entwurfskriterien verlangten einen hohen Grad an Autonomie, eine variable Missionsgestaltung und geringe Wahrnehmbarkeit im Flug. Durch die Auslegung als diamantförmiger Nurflügler und einem Antrieb bestehend aus zwei 300-Newton-Turbinen, erfüllt

die Struktur von SAGITTA diese Anforderungen. Bei einem Startgewicht von 150 kg macht die Primärstruktur mit 29 kg nur ein Fünftel des Gesamtgewichts aus. SAGITTA hat eine Spannweite von 3 m und bietet genügend Platz für seine Flugsystemtechnik und verschiedene Forschungsinstrumente.

Für eine derart leichte Struktur mit optimaler Lastübertragung galt es, die Bauteile aus hauchdünnen CFK-Lagen (Thin Plies), sauber konstruiert, präzise gefertigt, fehlerfrei zu verkleben. Dicke und Qualität der Klebschicht sind für die notwendige Festigkeit dabei von entscheidender Bedeutung: Je dicker die Klebschicht ist, desto schlechter hält die Verbindung. So wurde auf eine dünne und gleichmäßige Verklebung der Bauteile geachtet.



Integrationsarbeiten im Labor in Braunschweig

Sowohl der Bau als auch die Systeminstallation fand in einem speziell dafür bereitgestellten Labor am Standort Braunschweig statt. Im März 2015 verließ SAGITTA zum ersten Mal sein Montagelabor. Nun folgten die Vorbereitungen für den Erstflug. Zahlreiche Tests sollten Sicherheit und Gelingen des Fluges garantieren. Im Juli 2017 war es dann soweit: SAGITTA flog erfolgreich seine erste Route über Südafrika.

Beteiligte DLR Institute: Institut für Flugsystemtechnik, Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik.

Institutsdirektor
Prof. Dr.-Ing. Martin Wiedemann



Institut für Flugführung (FL)

Das 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&Avoid-Fähigkeiten 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

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.



City-ATM-Flugversuche in Hamburg an der Kohlbrandbrücke

Neue Luftverkehrsteilnehmer flexibel integrieren

Im DLR-Projekt City-ATM wird unter Leitung des Instituts für Flugführung und zusammen mit zentralen Interessenvertretern an einem gemeinsamen Luftraum für unbemannte und bemannte Luftraumteilnehmer gearbeitet. Entwickelt wird ein Konzept für ein dichte-basiertes Luftraummanagement für das anspruchsvolle städtische Umfeld. Es soll die gesamte Bandbreite neuer Luftraumteilnehmer sicher und effizient in den unkontrollierten Luftraum (U-Space) integrieren.

Das Konzept adressiert ähnliche Bemühungen auf europäischer Ebene und schließt angepasste Flugregeln, Anforderungen an Mindestabstände und die unterschiedlichen Leistungsdaten der Luftfahrzeuge mit ein. Des Weiteren sieht City-ATM eine robuste Kommunikations-, Navigations- und Überwachungsinfrastruktur vor. Das Konzept wird als Simulations- und Demonstrationsplattform implementiert. Dieser Prototyp wird zunächst in simulierten und danach in realen, abgegrenzten Lufträumen mit umfangreichen Flugversuchen erprobt, beispielsweise in Hamburg an der Kohlbrandbrücke und am Flughafen Cochstedt.

Urban Air Mobility erforschen

Effizienz, Sicherheit, Umsetzbarkeit, Nachhaltigkeit und Bezahlbarkeit sind nur einige Eigenschaften, die die Vision der zukünftigen urbanen Mobilität beschreiben werden. Das Projekt HorizonUAM soll erste Antworten auf diese Vision liefern. In dem DLR-Projekt arbeitet das Institut für Flugführung zusammen mit anderen DLR-Instituten daran, städtische Transportsysteme, die auch den urbanen Luftraum nutzen (Urban Air Mobility), zu untersuchen, in einem Gesamtsystemmodell abzubilden und zu bewerten. Im Fokus stehen dabei die Bausteine Vehikel, Infrastruktur inklusive Vertiports und Betrieb sowie die gesellschaftliche Akzeptanz. Kompetenzen und aktuelle Forschungsinhalte in den Bereichen der Antriebstechnik, Flugsystemtechnik, Kommunikation und Navigation werden im Zusammenspiel mit den Erkenntnissen der modernen Flugführung und des Flughafens betrachtet.

HorizonUAM konzentriert sich hierbei auf den innerstädtischen Luftverkehr für den Personentransport und elektrische Fluggeräte mit Senkrechtstartfähigkeiten. In dem Projekt werden verschiedene Konfigurationen für Senkrechtstarts und -landungen konzipiert und validiert. Es wird außerdem ein Luftverkehrsmanagement für den urbanen Luftraum entwickelt sowie verschiedene zukünftige Einsatzszenarien betrachtet und wie sich diese auf die technische Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Akzeptanz auswirken würden.

Krisenmanagement unterstützen

Sowohl natürliche als auch menschengemachte Krisen haben immer wieder unvorhergesehene, häufig auch grenzübergreifende Ausmaße. Unbemannte Luftfahrzeuge können helfen, um schneller und effizienter auf Krisen zu reagieren. Das Institut ist an einer Vielzahl von internationalen Krisenmanagementprojekten beteiligt.

Echtzeitaufnahmen durch Drohnen können einen wesentlichen Beitrag zur Lageerfassung eines Katastrophengebietes und damit zur zielgerichteten Planung von Hilfseinsätzen leisten. In Projekten wie IN-PREP und DRIVER+ entwickeln DLR-Forscher gemeinsam mit Partnern Werkzeuge, mit denen Kriseneinsätze gemeinschaftlich und grenzübergreifend geplant und Einsatzkräfte effizient trainiert werden können. Verschiedene Technologien für das Krisenmanagement im Katastrophenfall werden dabei zusammengeführt und in europaweiten Großdemonstrationen angewendet. Der Einsatz ganzer Drohnenflotten im Krisenfall wird im Projekt ResponDrone untersucht. Dabei erforscht ResponDrone unter anderem ein neuartiges prädiktives Trajektorienmanagement, welches luft- und bodenbasierte Risiken in die Planung und Steuerung der UAS integriert.

Institutsdirektor
Prof. Dr.-Ing. Dirk Kügler



Institut für Flugsystemtechnik (FT)

Ziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeit am Institut für Flugsystemtechnik ist der einfache und sichere Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen unter komplexen Randbedingungen: anspruchsvolle Wetterlagen, hindernisreiche Flugumgebungen oder die Reaktion auf andere Luft-, Wasser- oder Bodenverkehrsteilnehmer beanspruchen heutige Fernpiloten noch sehr. Diese Beanspruchung soll durch einen hohen Automatisierungsgrad des unbemannten Luftfahrzeugs minimiert werden. Das dafür erforderliche Situationsbewusstsein der Drohne ist der Schlüssel zu sicherem Betrieb, vielseitiger Nutzbarkeit und einer gleichberechtigten Integration von Drohnen in den allgemeinen Luftverkehr.

Forschungsschwerpunkte des Instituts für Flugsystemtechnik sind der unbemannte Frachtflug, der gleichzeitige Betrieb von bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen in einem gemeinsamen Luftraum, die Entwicklung von Hard- und Softwarekomponenten für die Umweltwahrnehmung und insbesondere die dafür erforderlichen Genehmigungs-, Nachweis- und Zulassungsaspekte. Dadurch werden Anwendungen von Drohnen im Dienste der Allgemeinheit, beispielsweise in Städten für medizinische Zwecke, erst möglich. Ebenso werden mit dem im Institut vorhandenen Systemwissen Lösungen erarbeitet, die dem möglichen Missbrauch von Drohnen vorbeugen.

Zur Durchführung der Forschungsarbeiten betreibt das Institut für Flugsystemtechnik mehrere unbemannte Luftfahrzeuge als Testplattformen. Neben einer Flotte von unbemannten Hubschraubern unterschiedlicher Größe können ebenso automatisch gesteuerte Flächenflugzeuge und Multikopter für aktuelle Forschungsfragestellungen eingesetzt werden. Die Brücke zur bemannten Fliegerei schlägt ein unbemannt betriebener Tragschrauber mit einer Nutzlast von bis zu 200 kg.

**Ersatzteile flexibel, sicher
und kostengünstig
an jeden gewünschten Zielort**

Im Projekt ALAADy (Automated Low Altitude Air Delivery) forscht das DLR seit 2016 am automatisierten unbemannten Lufttransport in niedrigen Flughöhen. Im Fokus stehen dabei die Wirtschaftlichkeit, technische Herausforderungen und potentielle Anwendungsfelder des unbemannten Frachttransportes. Humanitäre Hilfsgüter oder dringend benötigte Ersatzteile sollen so in Zukunft flexibel, sicher und kostengünstig an den gewünschten Zielort transportiert werden können.



ALAADy-Demonstrator

Im Projekt ALAADy-Demonstrator stehen der Aufbau und die Erprobung eines unbemannten und automatischen Flugversuchsträgers im Vordergrund. Mit der umfangreichen Modifikation eines 450 Kilogramm schweren Tragschraubers hin zu einer experimentellen „Transportdrohne“ mit Ladefläche haben die Forscher des Instituts für Flugsystemtechnik eines der aktuell größten, zivilen unbemannten Luftfahrzeugsysteme entwickelt. Am Flughafen Cochstedt hat das DLR bereits mehrere erfolgreiche Flugversuche mit dem ALAADy-Demonstrator absolviert.

Institutsdirektor
Prof. Dr.-Ing. Stefan Levedag



Hilfsgüterlieferungen Dominikanische Republik

Hilfsgüter mit einem unbemannten Hubschrauber in schwer zu erreichende Gebiete zu transportieren, war das Ziel einer zweiwöchigen nachgestellten Katastrophensimulation des Instituts für Flugsystemtechnik in der Dominikanischen Republik im Jahr 2018. Gemeinsam mit dem niederländischen Unternehmen Wings for Aid und dem World Food Programme (WFP) der Vereinten Nationen führten die Wissenschaftler verschiedene Flüge unter realistischen Einsatzbedingungen durch.

Dabei lieferte der unbemannte Hubschrauber superARTIS (Autonomous Rotorcraft Testbed for Intelligent Systems) in ansonsten schlecht erreichbaren Orten mit Nahrungsmitteln befüllte neuartige Kartonboxen aus. Beim Abwurf dieser Boxen öffnen sich deren Seitenflächen von selbst, um so den Fall abzubremsen und zu stabilisieren.

Ziel der Missionen in der Dominikanischen Republik war es, die Einsetzbarkeit drohnengestützter Hilfsgüterabwürfe vor Ort zu demonstrieren. Auch die Akzeptanz der Bevölkerung und der für die Notfallversorgung zuständigen Behörden konnte so realistisch bewertet werden.

Die Flüge mit dem unbemannten Hubschrauber fanden in verschiedenen, von Überschwemmungen betroffenen Regionen statt. Als Höhepunkt der Kampagne überquerte der unbemannte Hubschrauber den Salzsee Enriquillo über eine Distanz von sechs Kilometern jenseits der Sichtweite automatisch. Beladen war er mit 20 Kilogramm Nahrungsmitteln wie High Energy Biscuits (HEB), die sicher und unbeschadet auf der anderen Uferseite abgeworfen werden konnten.

Die Genehmigung der Missionen in der Dominikanischen Republik durch die Behörde stellte eine der ersten praktischen Anwendungen des sogenannten SORA-Verfahrens (Specific

Operation Risk Assessment) dar. Dieses mittlerweile von der EASA (European Union Aviation Safety Agency) zur Anwendung empfohlene Verfahren schätzt die Betriebsrisiken eines Drohneneinsatzes individuell für jeden Anwendungsfall ab und ermittelt passende Maßnahmen, um die Sicherheit der Anwendung zu gewährleisten.



Bodenkontrollstation

FALCON: Drohnen im Formationsflug mit Trägerraketen

Ein Schlüssel zur Verringerung der Kosten kommender Weltraumprogramme ist die Wiederverwendung von Trägerraketen, statt diese ganz oder teilweise nach dem Ausbrennen ins Meer stürzen zu lassen. Ein vielversprechendes Konzept für die Wiederverwendung von Booster-Stufen ist es, die ausgebrannten Teile beim antriebslosen Sturz durch die Atmosphäre zu stabilisieren und in einen steilen Formationsflug mit einem leistungsfähigen Flugzeug zu bringen, welches sich aus der Formation mit dem Raketenteil verbindet und dieses in der Folge abschleppt und kontrolliert zu Boden bringt.



APUS, stark motorisierter Forschungsträger zum Schleppen einer Koppereinheit

Die Erforschung und Erprobung der dafür notwendigen Technologien sind prinzipbedingt äußerst risikoreich und gefährlich. Damit sind Drohnen als Werkzeug der Erprobung ideal qualifiziert: Einerseits stellt der Formationsflug und das Einfangen von Lasten eine anspruchsvolle, aber gut automatisierbare Regelungsaufgabe dar, andererseits kann durch die Verwendung ausschließlich unbemannter Versuchsträger eine Gefährdung von Menschen vollständig vermieden werden.

Das Institut für Flugsystemtechnik erforscht im Rahmen des Projektes FALCON (Formation flight for in-Air Launcher 1st stage Capturing demonstration) genau dieses Konzept zum sogenannten In-Air-Capturing (IAC). Die unbemannte Trägerplattform APUS stellt während des Gleitflugs eines Raketenmodells des Projektpartners Embention einen Formationsflug her, aus dem sich die Kopplung der Luftfahrzeuge durch ein Seil vorbereiten lässt. Dabei kommt eine steuerbare Koppereinheit zum Einsatz, eine Weiterentwicklung der Abteilung für unbemannte Luftfahrzeuge zur Realisierung von Luft-zu-Luft-Betankungsvorgängen. Diese kleine und agile Koppereinheit, ebenfalls gesteuert und überwacht durch Drohnentechnologie, soll die eigentliche, hochdynamische Kopplung des ansonsten nur träge reagierenden Schleppers mit der wenig manövrierfähigen Raketenstufe realisieren.



Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr (FW)

Das Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr bearbeitet vielfältigste Fragestellungen des Luftverkehrs. Als Leitgedanke aller Aktivitäten steht die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit sowie der Sicherheit und der Umweltverträglichkeit des Luftverkehrs im Vordergrund. Dabei wird das Lufttransportsystem immer als ein System von vernetzten Systemen betrachtet und als Teil des multimodalen Transportsystems analysiert und seine Entwicklung bezüglich der ACARE-Zielsetzung beurteilt. Hierbei kommen Prognose- und Szenariotechniken zur Anwendung und werden weiterentwickelt. Daraus werden in enger Zusammenarbeit mit beteiligten Partnern und Institutionen konkrete Handlungsvorschläge für technische und ordnungspolitische Maßnahmen zur Lenkung der Lufttransportsystementwicklung abgeleitet und in ihrer Wirksamkeit abgeschätzt.

Der Erfolg neuer Technologien hängt neben ihren technischen und wirtschaftlichen Vor- und Nachteilen im Vergleich zu etablierten und konkurrierenden Technologien auch vom Marktumfeld ab, in dem sie zum Einsatz kommen sollen. Profunde Kenntnisse zum relevanten Markt sind daher Voraussetzung für die Abschätzung der Markterfolgsaussichten von neuen Technologien, z. B. zivilen unbemannten Luftfahrzeugen (UAV).



Projekt Horizon UAM

Im Rahmen des DLR-internen und interdisziplinär aufgestellten Forschungsprojektes HorizonUAM untersucht das Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr mit Hilfe eines systemanalytischen Ansatzes unter Berücksichtigung von sozio-ökonomischen, raumstrukturellen und technologischen Faktoren, Einflussgrößen der Marktentwicklung unterschiedlicher Use Cases im Bereich der Urban Air Mobility (UAM). Durch die Bestimmung der Einflussgrößen können Aussagen über die UAM-Affinität von weltweiten Metropolen und Megacities generiert werden. Die daraus resultierenden Erkenntnisse fließen in den Auf- und Ausbau einer Prognosemethode sowie eines Vorhersagemodells, die dazu dienen werden, unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Entwicklungsszenarien Aussagen über die potenzielle UAM-Nachfrage (Anzahl Trips) sowie die daraus resultierenden Flugbewegungen und Anzahl an Fluggeräten zu erhalten.

Urban Air Mobility in den Metropolen der Welt – Abschätzungen und Vorhersagen für Nachfrage und Flugbewegungen der Zukunft

Um die Projektergebnisse hinsichtlich ihres ökologischen, ökonomischen und sozialen Nutzens einzuordnen, soll schlussendlich eine Bewertungsumgebung aufgebaut werden. Die Möglichkeit der Bewertung neuer Technologien soll dazu dienen, Entwicklungen für den Luftverkehrsmarkt abzuleiten, Handlungsempfehlungen für die Politik sowie Unternehmen des Luftfahrzeugbaus zu formulieren und somit einen Beitrag zu einer nachhaltigen und klimafreundlichen Luftfahrt liefern.

Beteiligte DLR Institute: Institut für Flugführung | Institut für Antriebstechnik | Institut für Flugsystemtechnik | Institut für Kommunikation und Navigation | Einrichtung Lufttransportsysteme | Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin | Institut für Physik der Atmosphäre | Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt | Nationales Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme

Institutsdirektor
Prof. Dr. Johannes Reichmuth



Flugexperimente (FX)

Die Einrichtung Flugexperimente des DLR betreibt mit 11 Flugzeugen die größte Flotte an Forschungsflugzeugen 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 im Fehlerfall jederzeit die Kontrolle übernehmen kann.

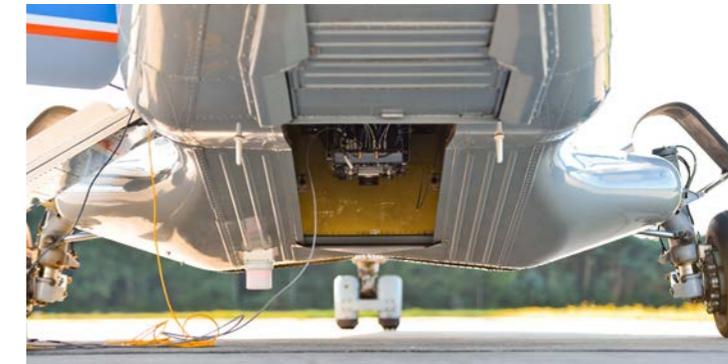
DO228-101 (D-CODE) – nationaler Erprobungsträger UAS

Die DO228-101 (D-CODE) der Einrichtung Flugexperimente ist eine bemannte fliegende Versuchsplattform, die in das Validierungszentrum Luftverkehr des DLR Institutes für Flugführung eingebunden ist.

Automatische Ausweichmanöver mittels digitalem Autopiloten in der DO228 des DLR

Das Luftfahrzeugmuster DO228 ist ein zweimotoriges turbinengetriebenes Propellerflugzeug mit Kurzstart- und landefähigkeit (STOL), das von der Firma Dornier mit neuer Flügeltechnologie als Light Transport Aircraft entwickelt wurde. Die D-CODE wurde umfangreich modifiziert, so dass das Luftfahrzeug unter anderem über einen digitalen Autopilot, 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 hat, die Kabine durch die Geometrie ausreichend Platz für 19 Zoll Racks und 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 Fern-



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

führbarkeit analog operationeller RPAS-Systeme und die Übertragung von versuchsseitig verbauten Sensordaten. Über verschiedene Projekte der jüngsten Vergangenheit wurde die D-CODE weiterentwickelt, so dass 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.

Die D-CODE lässt sich mit Projektpartnern damit so ausrüsten, dass neben der Sensorik zur sicheren Erkennung (mit relativem Heading, rel. Altitude, Geschwindigkeiten, Track-Differenz) eines nicht kooperativen Luftfahrzeuges, sie 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.

EC 135 ACT/FHS (D-HFHS) im Team mit superARTIS



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. Der Schwerpunkt des Instituts für Flugsystemtechnik bildete unter anderem die Ertüchtigung des unbemannten Forschungs-UAS superARTIS, die Entwicklung der gesamten Software sowie die im ACT/FHS integrierten Systeme und Displays. Die realen Teaming-Flugversuche mit dem DLR-Forschungshubschrauber EC135 ACT/FHS und dem Forschungs-UAS superARTIS wurden in Cochstedt durchgeführt.

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

Das neueste Mitglied der DLR Forschungsflugfahrzeuge – 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 zukünftig an neuen Technologien gearbeitet wird. In weiteren Ausbauphasen wird das Flugzeug schrittweise zum In-Flight Simulator ausgebaut. In Abhängigkeit der jeweils realisierten Funktionalitäten wird ISTAR ab der nächsten Ausbaustufe für erste wissenschaftliche Forschungsprojekte im Kontext der UAS Forschung eingesetzt, um im ersten Schritt Bedarfe des DLR Leitkonzepts „Der unbemannte Luftfrachttransporter“ zu bedienen.

Zukünftige UAS -Themen sind:

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

Einrichtungsleitung
Dr. Burkard Wigger



Technologien für Kleinflugzeuge (KF)

Die Forschungseinrichtung wurde in 2020 neu gegründet und befindet sich aktuell im Aufbau. Im Hinblick auf den geplanten Strukturwandel und das Modell des rheinischen Braunkohlereviere als „Mobilitätsregion der Zukunft“ liegt der Schwerpunkt auf den Themenfeldern General Aviation (GA) sowie Urban Air Mobility (UAM) als Basis für eine neue Form der Mobilität. Dies erfolgt mit starker Betonung des Gesamtentwurfs, der Produktion, nachhaltiger Antriebe, der Avionik und der zunehmenden Automatisierung bis hin zur Autonomie neuer Vehikel und Systeme. Im Fokus stehen hierbei voll- und hybrid-elektrische Kleinflugzeuge (Luftfahrzeuge bis zur Kategorie „normal“ nach EASA CS-23) mit verbesserten Start- und Steigeigenschaften, welche einen sozialverträglichen, emissions- und lärmoptimierten Betrieb ermöglichen. Vor dem Hintergrund der Elektrifizierung der Luftfahrt eröffnet der aktuelle technologische Fortschritt attraktive Möglichkeiten für die Umsetzung nachhaltiger und automatisierter Lösungen. Gerade mit Blick auf die Fähigkeiten in der Produktionstechnologie wird die Fertigungsforschung für komplette Kleinflugzeuge hier im Fokus stehen, inklusive Wartungs- und Instandhaltungsaspekten (MRO/Lifecycle).

Skalenverbindendes Element

Die aktuelle Forschung im DLR befasst sich im Bereich der Luftfahrt mit den jeweiligen Enden des Spektrums, d. h. Technologien für die kommerzielle, „klassische“ Luftfahrt (Größenordnung Passagierflugzeuge) auf der einen Seite und neuen Technologien und Anwendungsfeldern für die unbemannte Luftfahrt auf der anderen Seite, wobei hier aktuell vornehmlich kleinere bis mittelgroße UAS für Inspektionsmissionen, den Frachttransport oder

Neue Luftfahrzeugkonzepte für eine nachhaltige urbane und regionale Mobilität

Anwendungen in der Katastrophenhilfe im Vordergrund stehen. Beide Themen bzw. Enden des Spektrums sind aktuell sowohl hinsichtlich ihrer zugrundeliegenden Technologien (v. a. mit Blick

auf Antriebe, Systemsicherheit, u.v.m.) als auch bezüglich der gegenwärtig geltenden Regularien und Zertifizierungsvorschriften größtenteils entkoppelt, da sie auf unterschiedlichen Skalen (Größenordnungen) und Skalierbarkeiten (wirtschaftlich und technologisch) agieren. Die Erforschung von Technologien und Fragestellungen im Bereich GA (Kleinflugzeuge bis max. 6 Passagiere) und UAM (hier vorrangig Lufttaxis) liegt größenordnungsmäßig als neues Element zwischen den beiden oben genannten Enden des Spektrums. Dies birgt den Vorteil, dass die zugrundeliegenden Technologien in beide Richtungen „erweiterbar“ sind.



Simulation der HY4 über dem Flughafen

Das heisst eine neu entwickelte Technologie oder ein Prozess für den Bereich GA/UAM kann potentiell sowohl in den Bereich der kommerziellen Luftfahrt hochskaliert (mit minimalem Aufwand erweitert) oder für den Bereich der nicht personentragenden unbemannten Luftfahrt herunterskaliert (mit minimalem Aufwand vereinfacht) werden. Der Bereich GA/UAM ist von seiner Systemkomplexität noch einfach genug, um schnell und wirtschaftlich in der Technologieentwicklung zu sein, aber gleichzeitig komplex genug, um diverse Transfer- und Markteintrittshürden (zum Beispiel im Bereich der Zulassung, Systemauslegung, etc.) zu berücksichtigen. Dadurch wird eine Durchlässigkeit für neue Technologien und die Möglichkeit zur Multiskalenfähigkeit in deren Erprobung und Zertifizierung geschaffen, was einen vielversprechenden Ansatz für neue Projekte für das gesamte DLR bildet.

Einrichtungsleiter

Dr.-Ing. Christian Eschmann



Institut für Kommunikation und Navigation (KN)

Am Institut für Kommunikation und Navigation in Oberpfaffenhofen und Neustrelitz werden neue Systeme und Verfahren für die Kommunikation und Navigation im aeronautischen, maritimen und terrestrischen Bereich konzipiert. Die Arbeiten reichen von theoretischen Untersuchungen über Simulationen bis hin zum Aufbau von Test-, Validierungs- und Demonstrationssystemen. Die Arbeiten sind in die Missionen „Global Connectivity for People and Machines“, „Global Positioning for Future Applications“, „Autonomy and Cooperation for Critical Systems“ sowie „Cyber Security for Radio Systems“ gegliedert, die aufgrund ihres hohen gesellschaftlichen Nutzen ausgewählt wurden. Bei der Auswahl der einzelnen Arbeiten spielen darüber hinaus der wissenschaftliche Anspruch und wirtschaftliche Wertbarkeit eine große Rolle.

Die Forschungsarbeiten des Instituts im Bereich der Luftfahrt sind in allen vier Missionen verankert und 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, die 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 und absichern.

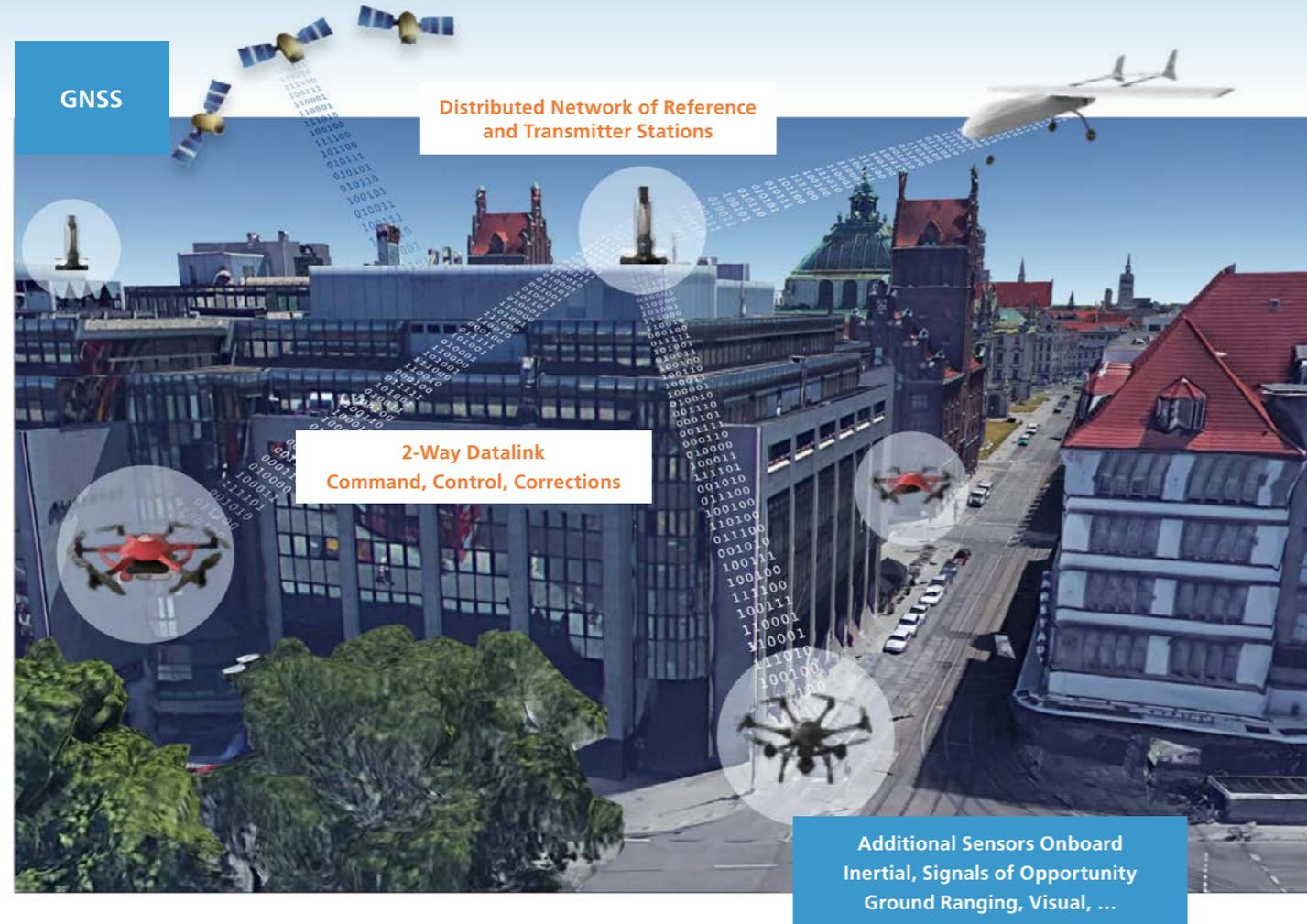
Cybersichere und robuste CNS-Technologien

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 auszulegen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der steigenden Autonomie 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, die Modellierung der Ausbreitungsbedingungen von elektromagnetischen Signalen im urbanen Umfeld, den Design eines Sicherheitsnetzes für Drohnen durch ein kooperatives Überwachungssystem, die Entwicklung von robusten, miniaturisierten Navigationsempfängern und die Abwehr von Drohnen.

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 zu validieren und zu bewerten.



Robuste Navigation

Ein Forschungsschwerpunkt des Instituts KN sind störrobuste Mehrantennenempfänger für die Satellitennavigation. Um diese leistungsfähige Technologie auch auf UAS nutzen zu können, hat sich das Institut die Miniaturisierung der notwendigen Empfängerhardware zum Ziel gesetzt. KN verfügt über Expertise in der gesamten Signalkette von GNSS-Empfängern: Antennen, Hochfrequenztechnik, analoge und digitale Signalverarbeitung sowie Aufbereitung der Informationen in Nutzeroberflächen.

Für den UAS-Bereich werden die miniaturisierten GNSS-Empfänger zusätzlich mit weiterer Sensorik ausgestattet. Hierunter sind Beschleunigungs- und Drehratensensoren, aber auch Kompass und Barometer zu verstehen. In Zusammenarbeit mit der Satellitennavigation können diese Sensoren eine genauere und verlässlichere Positionsinformation liefern (Sensordatenfusion). Seit einigen Jahren arbeitet das DLR an bodengebundenen Ergänzungssystemen zur Unterstützung von Präzisionslande- flügen in der zivilen Luftfahrt (GBAS — Ground Based Augmentation System). Das Institut KN beschäftigt sich im Bereich UAS unter anderem mit der Übertragbarkeit ähnlicher Konzepte auf zukünftigen Drohnenverkehr, speziell in anspruchsvollen, urbanen Szenarien. Eine durch lokale GNSS-Referenzen unterstützte und damit präzisere sowie integritätsüberwachte Satellitennavigation ist dabei ein Baustein, der in Multisensornavigationssystemen eine robuste Navigation für zukünftige UAV-Anwendungen gewährleisten soll.

Am Flughafen Cochstedt wird ein experimentelles GBAS installiert, welches später im Rahmen der Modellstadt modular erweitert und an UAV-Anwendungen angepasst werden kann.

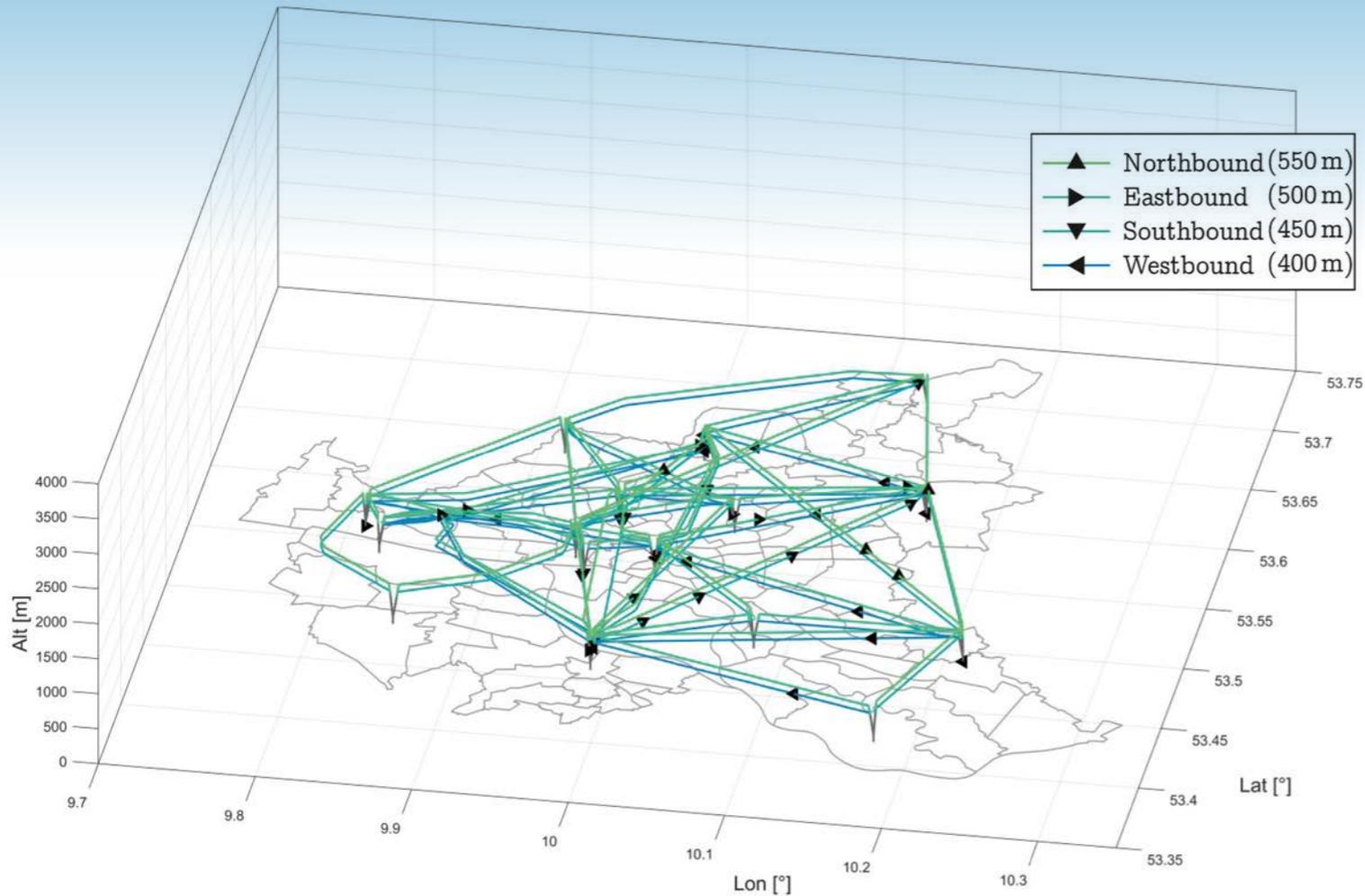
Counter-UAV

Die Entwicklung und Nutzung von unbemannten Luftfahrzeugen nimmt stetig zu, was eine Vielzahl neuer Anwendungsfelder eröffnet aber gleichzeitig neue Bedrohungsszenarien entstehen lässt. Als eine Lösung für solche Szenarien wird von den DLR-Instituten für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme (HR), Technische Physik (TP) sowie Kommunikation und Navigation (KN) ein neuartiges Konzept zur Aufklärung und Bekämpfung von unbemannten Luftfahrzeugen (KABUL) entwickelt. Das Konzept sieht vor, die Bedrohung zunächst in einem Multisensor-Ansatz zu detektieren, zu verfolgen und zu klassifizieren. Im Anschluss daran können Gegenmaßnahmen erfolgen. Vom Institut KN wurde ein Detektions- und Lokalisierungssystem entwickelt, das die Einfallsrichtungen der WLAN-Signale schätzt, die von der zu detektierenden Drohne abgestrahlt werden.

Eine vielversprechende Maßnahme gegen Eindringlingsdrohnen ist das GNSS-Spoofing (Täuschsignal-Generierung). Dabei wird die Positionsmessung des Satellitennavigationsempfängers der Drohne manipuliert. Im Kontext des KABUL-Konzepts wird das GNSS-Spoofing eingesetzt, um eine Drohne in einen Bereich zu navigieren, in dem kein Schaden mehr durch den Einsatz der Drohnen-Nutzlast entstehen kann. In diesem Bereich kann die Drohne gegebenenfalls auch sicher gelandet oder abgefangen werden.

Institutsdirektor
Prof. Dr. Christoph Günther

Momentaufnahme einer 24-stündigen Verkehrssimulation zwischen 16 verschiedenen Stadtteilen Hamburgs. Die Vehikel, repräsentiert durch Dreiecke, bewegen sich innerhalb eines Netzwerkes, welches insgesamt 92 höhenseparierte Routen umfasst und über den Tag hinweg 1963 Flugbewegungen ermöglicht.



Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit von Lufttransportsystemen simulieren und bewerten

Lufttransportsysteme (LY)

Die Einrichtung Lufttransportsysteme (LY) des DLR steht für Forschung und Lehre zum Systemverständnis für die komplexen Zusammenhänge des Lufttransports. Die Forschung umfasst Konzepte, Vorentwürfe und Optimierung von Teilsystemen sowie Simulation und Bewertung ganzer Lufttransportsysteme im Hinblick auf die Nachhaltigkeitskriterien der Ökonomie und Ökologie.

i-LUM (Innovative luftgestützte urbane Mobilität)

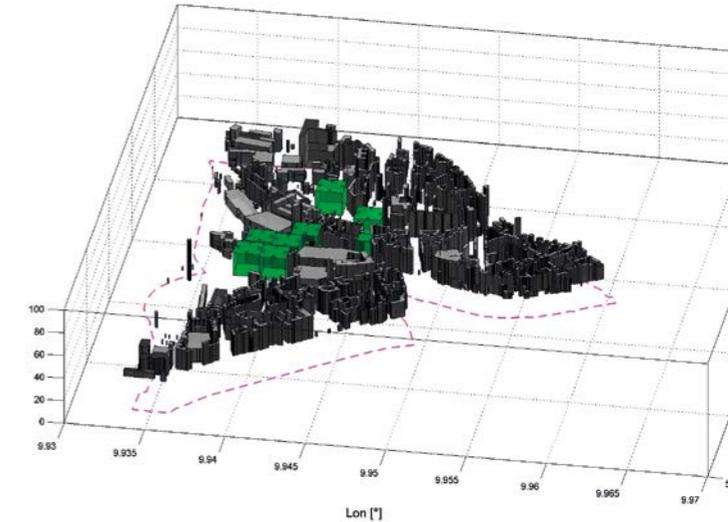
Das Ziel des Verbundvorhabens i-LUM im Rahmen der Landesforschungsförderung Hamburg besteht in der Erarbeitung und Bewertung realisierbarer innovativer Konzepte zur luftgestützten urbanen Mobilität. Dabei wird durch das Zusammenführen vielfältiger Fachkompetenzen die integrierte Architektur eines luftgestützten Verkehrssystems am Beispiel Hamburgs entworfen und notwendige Systemkomponenten zu Luft und zu Boden identifiziert, welche sich in das bestehende Verkehrssystem eingliedern müssen. Das hieraus resultierende Gesamtbild ermöglicht die Identifikation notwendiger Voraussetzungen zur Einführung des Verkehrsmittels Flugtaxi sowie eine Bewertung der daraus entstehenden Folgen aus technischer, stadtplanerischer und gesellschaftlicher Perspektive.

Interdisziplinäre Forschung

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Zukunftsvision einer luftgestützten urbanen Mobilität müssen die Bedürfnisse der Bevölkerung und der Passagiere für die Auslegung des Systems identifiziert und berücksichtigt werden. Die sich hieraus ergebenden Fragestellungen betreffen verschiedenste Disziplinen und sind oftmals eng miteinander vernetzt. Relevante Forschungsschwerpunkte im Projekt i-LUM befassen sich daher beispielsweise mit den Zusammenhängen zwischen Nachfrage und realisierbarer Transportkapazität, den entstehenden Kosten aus ökonomischer und ökologischer Perspektive oder der resultierenden gesellschaftlichen Akzeptanz hinsichtlich Lärm.

Zur Abdeckung der notwendigen Kompetenzen sind die Technische Universität Hamburg (TUHH), die HafenCity Universität

(HCU), die Helmut-Schmidt-Universität (HSU), die Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) sowie das DLR mit Instituten unter anderem aus den Bereichen Logistik, Automatisierungstechnik, öffentliches Recht, Stadtentwicklung und Sozialwissenschaften an dem Projekt beteiligt. Das Projekt wird vom Institut für Lufttransportsysteme (ILT) der TUHH geleitet.



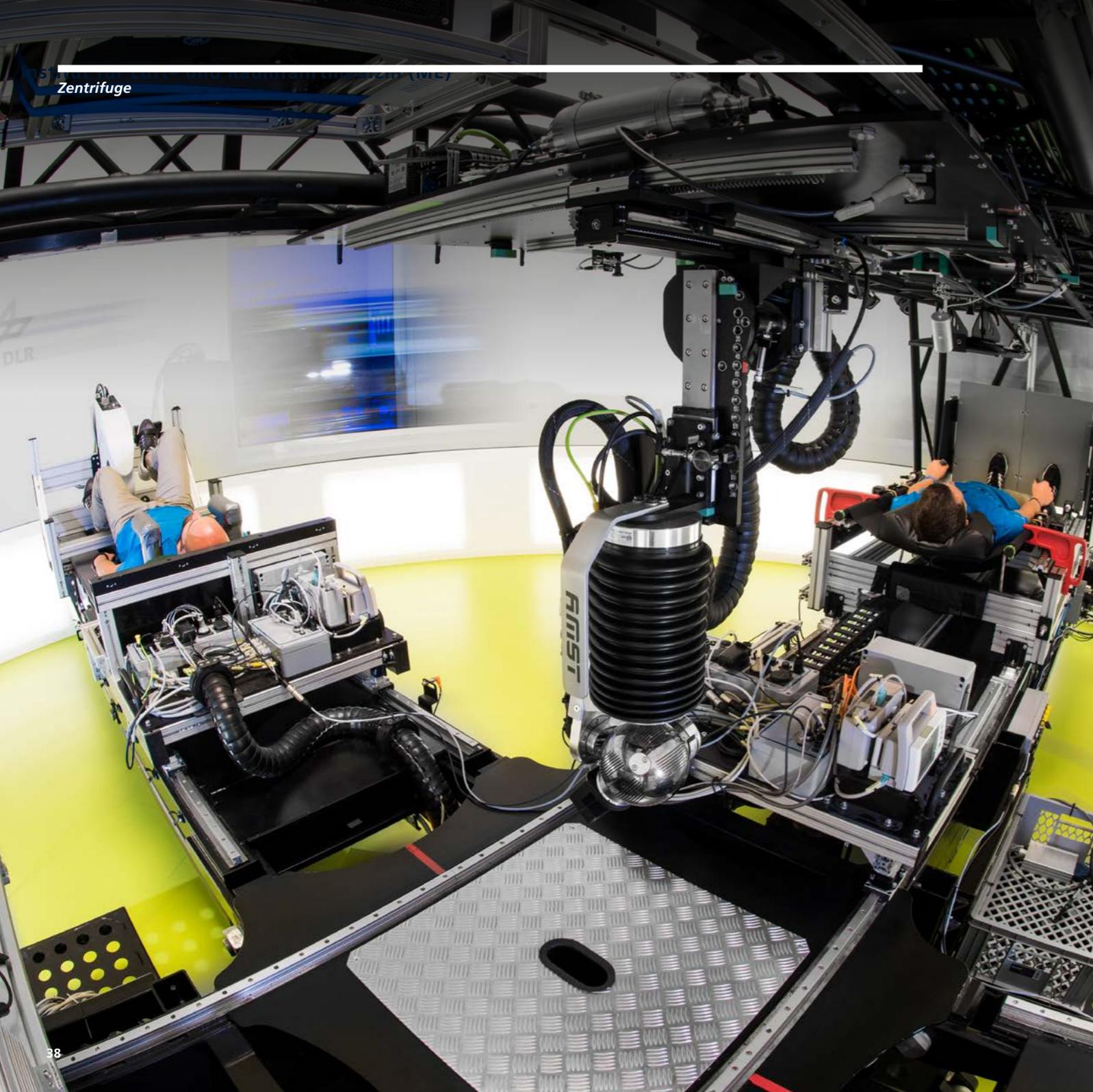
Exmpl. Verteilung von Start- und Landepositionen in HH-Altona, basierend auf einer angenommenen Transportnachfrage zur Bedarfsabschätzung, sowie realen 3D-Gebäudedaten zur Positionierung. Der Bedarf kann durch acht Vertiports (grüne Quader) mit unterschiedlichen Größendimensionierungen hinsichtlich ihrer Landepads (rote Linien) gedeckt werden.

Gesamtsystembewertung

Die Einrichtung Lufttransportsysteme des DLR leistet als Gesamtsystemarchitekt und -integrator entscheidende Beiträge zum Aufbau der Gesamtsystembewertungsfähigkeit aus technischer, wirtschaftlicher und sozialer Perspektive. Dazu wird eine interdisziplinäre Bewertungsmethodik entwickelt, um neue Mobilitätskonzepte an der Leistungsfähigkeit des heutigen Verkehrssystems messen zu können. Gegenüber den bestehenden Transportmodi wird so eine Vergleichbarkeit hergestellt und der entstehende Nutzen wird mit den monetären und gesellschaftlichen Kosten abgewogen.

Einrichtungsleitung

Prof. Dr.-Ing. Volker Gollnick



Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin (ME)

Das Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin forscht interdisziplinär und translational an der Schnittstelle zwischen Medizin, Biologie und Psychologie und der Technologieentwicklung. Ziel der Forschung ist der Erhalt und die Verbesserung der menschlichen Gesundheit und Leistungsfähigkeit im Weltraum, in der Luftfahrt und auf der Erde. Die Forschung des Instituts wird in enger Zusammenarbeit mit führenden nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen durchgeführt. Das Institut schafft wissenschaftliche Grundlagen und leitet daraus innovative Lösungsansätze für Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr ab.

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.

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

Humanfaktoren und unbemannte Flugsysteme

In der Abteilung für Luft- und Raumfahrtpsychologie in Hamburg werden humanwissenschaftliche Fragestellungen in Bezug auf unbemannte Flugsysteme erforscht. So finden Workshops zur Akzeptanz bestimmter Betriebskonzepte für die Steuerung unbemannter Frachtflugzeuge durch Fluglotsen der Deutschen Flugsicherung, zum Beispiel im Rahmen des DLR-Projekts UFO statt. Des Weiteren ist die Abteilung an der Konzeption und Auswertung einer bundesweiten repräsentativen Studie zu Aspekten der gesellschaftlichen Akzeptanz ziviler Drohnen beteiligt. Die Definition psychologischer Fähigkeitsanforderungen für verschiedene Drohrentypen und der wissenschaftliche Vergleich solcher Anforderungen zwischen Piloten bemannter und unbemannter Luftfahrzeuge sind aktuelle Aufgaben.



:envihab

Im Bereich Urban Air Mobility (Air Taxis) werden akzeptanzbestimmende Faktoren wie Fluglärm, mögliche Gegenmaßnahmen und Aspekte des Passagierkomforts analysiert. Ausbildung, Training und Lizenzierung insbesondere von Drohnenanwendern im Bereich der BOS (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben) runden das Spektrum der humanwissenschaftlichen Fragestellungen ab.

Institutsdirektor
Prof. Dr. med. Jens Jordan

Institut für Instandhaltung und Modifikation (MO)

Das DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation in Hamburg beschäftigt sich mit der Digitalisierung des Lebenszyklus von Luftfahrzeugen und ihren Komponenten sowie deren Zustandsüberwachung und Instandhaltung.

UAVs stellen dabei einen besonderen Anwendungsfall dar, weil bei diesen die Hersteller, Betreiber und Instandhaltungsbetriebe in der Regel enger miteinander verzahnt sind. 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 UAVs.

Konzept zur prädiktiven Instandhaltung

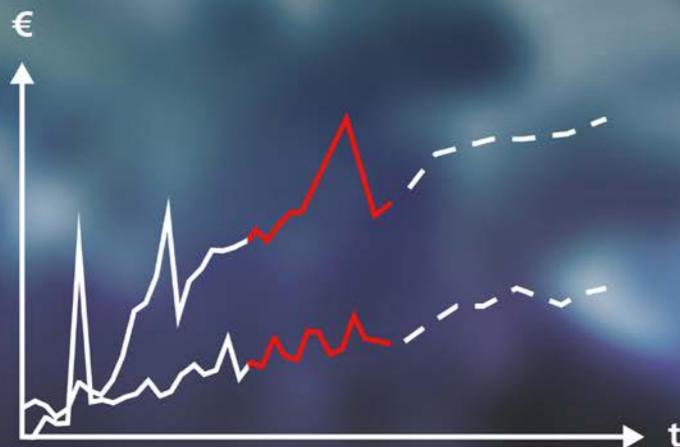
Damit bieten UAVs eine hervorragende Grundlage für eine prädiktive Instandhaltung auf Basis einer integrierten Zustandsüberwachung und einer systemübergreifenden Datenanalyse. Es stehen nicht nur die erforderlichen Daten für eine Analyse und Bewertung des Systemzustandes zur Verfügung, sondern es bestehen auch vielfältige Möglichkeiten, die Instandhaltung flexibel und optimal umzusetzen. Sofern UAVs nach einem Flug für den weiteren Transport demontiert, bzw. für den nächsten Einsatz umgerüstet werden, stellen Anpassungen in der Instandhaltung somit nicht unbedingt wesentliche Anpassungen im Betriebsablauf dar.

Bei der Analyse der erfassten Daten stehen Methoden des maschinellen Lernens im Fokus der Betrachtungen. Zwar sind die Hürden für die Installation und die Zulassung von Sensoren für spezielle Überwachungsaufgaben deutlich geringer als in der Passagierluftfahrt, allerdings sind dem praktischen Einsatz aufgrund der geringen Größe von UAVs sowie der angestrebten Maximierung der Nutzlast enge technische Grenzen gesetzt. Daher besteht ein besonderer Fokus der Betrachtungen darin, Zustandsveränderungen zu erfassen, indem das Verhalten umliegender Komponenten sowie deren Zusammenwirken analysiert wird.

UAVs als ideale Plattform für prädiktive Instandhaltungsszenarien

Die Umsetzung eines Konzeptes zur prädiktiven Instandhaltung auf Flottenebene eröffnet weitere Möglichkeiten. Insbesondere bei einem Betriebskonzept mit einer zentralen Basis, von der aus Einsätze starten und an der Umrüstungen und Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden, bieten sich Möglichkeiten, um eine optimierte Instandhaltung auf Flottenebene umzusetzen. Dies beginnt bereits bei der Einsatzplanung. Die Zuordnung von Einsätzen zu einzelnen UAVs einer Flotte kann den aktuellen Zustand der einzelnen Vehikel und ihrer Komponenten bei hinreichender Flottengröße einbeziehen. So werden nicht nur vorhandene Ressourcen effektiv genutzt, sondern es wird auch die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Gesamtsystems erhöht.

Institutsdirektor
Prof. Dr. Hans Peter Monner





Institut für Physik der Atmosphäre (PA)

Das Institut für Physik der Atmosphäre erforscht die Physik und die Chemie der globalen Atmosphäre vom Boden bis in ca. 120 km Höhe in den HGF-Programmen Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie. Dazu deckt es ein breites Methodenspektrum aus Sensorentwicklung, Beobachtungen auf allen Skalen und von verschiedenen Trägern (Flugzeug, Satellit), Analyse, Theoriebildung sowie numerischer Modellierung ab. Durch das Zusammenspiel von Messung und Simulation werden aus wissenschaftlichen Fragestellungen Erkenntnisse gewonnen und so Anwendungsbezüge hergestellt. Das Institut ist kompetenter Ansprechpartner zu allen Fragen mit Atmosphärenbezug für DLR, Gesellschaft, Wirtschaft und Politik.

Drohenschwarm

Im Rahmen der programmatischen Förderung „Energie“ arbeitet das Institut an dem Vorhaben „Simultane Windfelderfassung mit unbemannten Fluggeräten in 3D-Schwärmen“. Hierbei werden Quadrocopter zu dem Ziel ertüchtigt, Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung simultan und an flexiblen Punkten in der bodennahen Atmosphäre zu messen. Der simultane Einsatz einer Vielzahl von Drohnen als flexible Messpunkte ermöglicht es, räumliche Strukturen der kleinskaligen atmosphärischen Strömung augenblicklich zu erfassen. Die Drohnen fliegen dazu automatisch an vordefinierte Punkte und verharren dort im Schwebeflug. Während miniaturisierte Sensoren Temperatur und Luftfeuchtigkeit messen, werden Windgeschwindigkeit und -richtung aus den Avionikdaten des Autopiloten berechnet. Ein Beispiel kleinskaliger Strukturen in der Atmosphäre sind die Nachläufe von Windturbinen, deren Ausprägung von Windrichtung und atmosphärischer Schichtung bestimmt wird. Messungen an Masten können hier nur in kleinen Windrichtungsbereichen genutzt werden, um das Windgeschwindigkeitsdefizit und die Turbulenz im Nachlauf zu vermessen. Mit dem Quadrocopter-Schwarm kann das Messgebiet flexibel dem Windfeld angepasst werden.



10 Quadrocopter

Ein Schwarm von 10 Quadrocoptern wurde im Juli 2020 im Grenzschichtmessfeld Falkenberg des Deutschen Wetterdienstes eingesetzt, um die Algorithmen zur Windmessung der Fluggeräte zu verbessern und zu validieren. Das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt kann künftig die Logistik und die Infrastruktur bieten, um Tests mit 100 Quadrocoptern im Schwarm zu ermöglichen, die nötig werden, um auch in großen Gebieten wie Windparks Windfelder zu vermessen. In Zukunft sind auch Erprobungen intelligenter Schwarmsteuerungen denkbar, die die Erfassung meteorologischer Größen effizienter und über längere Zeiträume ermöglichen. Das Institut

Drohenschwarm als meteorologisches Werkzeug - simultane und flexible Messungen für die Windenergieforschung

erprobt zum Beispiel in Zusammenarbeit mit dem Institut für Kommunikation und Navigation die Messung von Gasen mit miniaturisierten Sensoren in einem Schwarm, um die Quellen von Schadstoffen aufzuspüren. In Cochstedt sind Demonstrationen unter Realitätsbedingungen geplant, in dem der Schwarm Gasquellen selbständig auffinden soll.

Institutsdirektor
Prof. Dr. Markus Rapp

Closed-Loop-Flugversuch im Projekt ATON. Das Bild zeigt den Versuchshelikopter mit integriertem ATON Navigationssystem über dem Versuchsfeld mit georeferenzierten Kratern



Institut für Softwaretechnologie (SC)

Die Aufgaben des Instituts für Softwaretechnologie sind Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet innovativer Softwaretechnologien. Die derzeitigen Themenschwerpunkte sind Software für verteilte und intelligente Systeme, Künstliche Intelligenz, Software für eingebettete Systeme, Wissenschaftliche Visualisierung, Quantencomputing und High-Performance Computing.

Die im Institut entwickelten Technologien kommen in allen Forschungsbereichen des DLR zum Einsatz, von der Raumfahrt über Luftfahrt, Verkehr und Energie bis zur Digitalisierung und Sicherheitsforschung. Über 90 Prozent der Produkte des Instituts sind Open-Source-Software und können somit auch außerhalb des DLR ohne Einschränkungen genutzt werden.

Zur DLR-Forschung an unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) trägt das Institut vor allem durch die Entwicklung von Simulationen und Visualisierungen bei.

ATON

Im Rahmen des Gemeinschaftsprojekts ATON wurde unter der Projektleitung des Instituts für Raumfahrtsysteme ein optisches Navigationssystem für autonome Landungen auf Himmelskörpern entwickelt. Ziel ist es, das System für den gesamten Landeanflug auf dem Mond einzusetzen. Zur Demonstration der Funktion und Genauigkeit des Systems wurden neben den Labortests auch Flugversuche mit unbemannten Helikoptern ausgeführt. Dabei wurde mit Krater-Folien und künstlichen dreidimensionalen Merkmalen die Mondoberfläche simuliert. Anstelle von GPS-/GNSS-Systemen bestimmte der Versuchsträger superARTIS seine Position und Ablage zur Landetrajektorie nur anhand der Kraterbilder. Zur Erhöhung des Realitätsgrades fand ein Teil der Versuche nachts statt. Durch die Nutzung eines real fliegenden unbemannten Luftfahrzeugs konnte die Robustheit des Verfahrens unter anderem gegen Vibrationen, Beleuchtungseffekte und Modellierungsfehler gezeigt werden.

Hierbei stellte das Institut für Softwaretechnologie eine Simulationsumgebung bereit, integrierte die Systemkomponenten in die Echtzeit-Flugsoftware und entwickelte eine Testinfrastruktur.

Beteiligte DLR-Institute

Institut für Raumfahrtsysteme | Institut für Flugsystemtechnik
Institut für Optische Sensorsysteme | Institut für Robotik und Mechatronik

In einem weiteren Projekt wurde unter Projektleitung des Instituts für Flugführung eine Studie mit simulierten Drohnen durchgeführt. Es ging um die gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber der Nutzung von Drohnen in der Stadt vor dem Hintergrund, dass unbemannte Luftfahrzeuge in Zukunft verstärkt im Warentransport



Studie im Virtual-Reality-Labor: Simulierte Drohnen werden der Probandin über eine HoloLens-Brille in einer virtuellen Umgebung angezeigt.

eingesetzt werden sollen. Neben den Aspekten Sicherheit und Datenschutz wurde die Wahrnehmung visueller und akustischer Störgrößen durch die Bevölkerung untersucht. Die Empfindung der individuellen Belastung durch diese Umweltreize wurde in einer Probandenstudie im 360°-Virtual-Reality-Labor des Instituts für Verkehrssystemtechnik analysiert.

Probandenstudien in der virtuellen Realität - Untersuchung zu Akzeptanz von UAS in der Bevölkerung

Das Institut für Softwaretechnologie visualisierte das Terrain und die Drohnen in Augmented und Virtual Reality. Die Umgebung des Braunschweiger Hauptbahnhofes wurde im VR-Labor visualisiert, wohingegen die virtuellen Drohnen den Probanden durch eine HoloLens-Brille angezeigt wurden.

Institutsleitung
Rolf Hempel



Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt (SL)

Die Luftfahrt ist vom Luftfahrzeugentwurf über die Produktion bis zum Betrieb digitalisiert. Diese durchgehende Verfügbarkeit aller Daten wird als digitaler Faden bezeichnet. Das Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt erforscht, wie aus diesen umfangreichen Daten praktisch nutzbares Wissen abgeleitet werden kann, um noch leistungsfähigere, effizientere und sichere Luftfahrtprodukte zu entwerfen. Mit dem digitalen Faden werden weite Bereiche der Luftfahrt in Entwurfsprozessen berücksichtigt, so dass in größerem Umfang Synergien genutzt werden können als bisher. Es stehen somit Systeme im Fokus, die sich aus vielen gekoppelten Teilsystemen zusammensetzen (System of Systems Engineering, SoSE). Die Kombination der Teilsysteme wird als Systemarchitektur bezeichnet.

Skalierte Systeme als Baustein bei der Entwicklung des Verkehrsflugzeugs der Zukunft

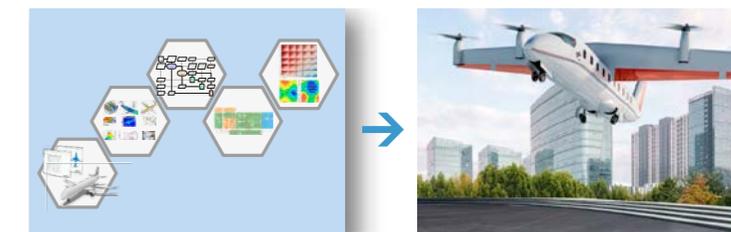
Der Entwurf von neuen Flugzeugen für zukünftige Betriebskonzepte und unter Verwendung neuer Technologien erfordert die Optimierung der Architektur dieses gekoppelten Systems. Hierfür erforscht das Institut Entwurfsmethoden, welche den gesamten Entwurfsprozess digital abbilden und eine sehr große Anzahl sehr heterogener Modelle effizient handhaben können. Dadurch werden neue und potenziell revolutionäre Gesamtkonzepte geschaffen, in denen Vehikel, Betrieb und Technologieoptionen optimal aufeinander abgestimmt sind.

EXACT

Seit Anfang des Jahres 2020 arbeiten unter der Leitung des Instituts für Systemarchitekturen in der Luftfahrt 45 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 20 DLR-Instituten gemeinsam im Projekt EXACT (Exploration of Electric Aircraft Concepts and Technologies) an der Entwicklung neuer Technologiebausteine für ein ökoeffizientes Verkehrsflugzeug.

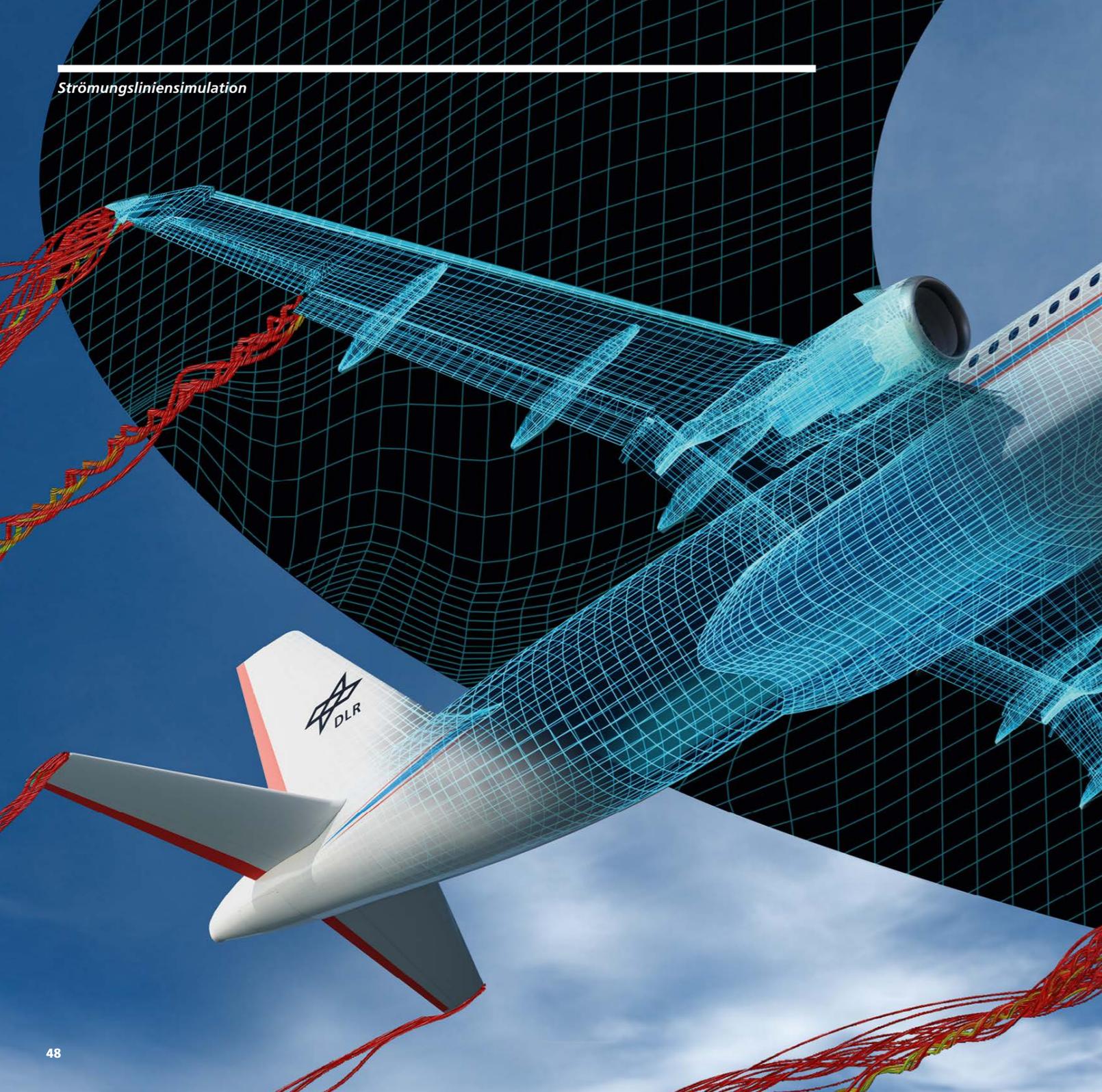
Übergeordnetes Ziel ist es, bis zum Jahr 2040 die erforderlichen Technologien für ein solches Luftfahrzeug mit mindestens 70 Sitzen und einer Reichweite von 2.000 Kilometern zur Einsatzreife zu bringen. Hierfür sollen im ersten Schritt unterschiedliche hybrid-elektrische Antriebskonzepte und mögliche Flugzeugkonfigurationen untersucht werden. Aber auch Wechselwirkungen mit der Flughafeninfrastruktur werden betrachtet, ebenso wie sich neuartige Antriebe auf die Atmosphäre und somit auf das Klima auswirken. Das DLR verfügt über eine weltweit einzigartige Kompetenz aus den unterschiedlichen Forschungsbereichen für die Durchführung einer solch komplexen Studie.

Mit dem neu eröffneten UAS-Erprobungszentrum in Cochstedt erweitert das DLR das Forschungsspektrum und öffnet neue Möglichkeiten, mit innovativen Flugzeugkonzepten in skalierten Modellform in den Flugtest zu gehen, um multidisziplinäre Auslegungsmethoden aus dem Entwurfsprozess – in dem Fall insbesondere das kritische Thermal Management bei elektrischen oder hybrid-elektrischen Antrieben – in die Luft zu bringen und auf Basis von Flugversuchen zu validieren.



Vom digitalen Designprozess zur Systemarchitektur „Flugzeug“

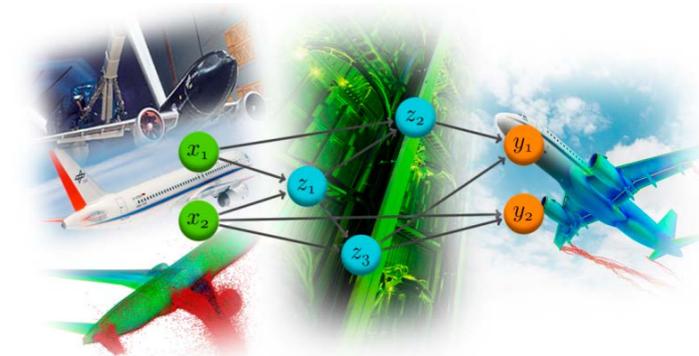
Institutsdirektor
Björn Nagel



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 stash (Storage and Application Service Hub) entwickelt und prototypisch bereitgestellt, über das Daten von DLR-Forschungsflugzeugen systematisch mit Anwendungen bzw. Analysen – zum Beispiel in Form von Services – verknüpft und zentral zwischen vielen verteilt arbeitenden Akteuren geteilt werden können. stash besteht aus einem leistungsfähigen, skalierbaren Back-End, das über einen Python-Client oder ein Web-Front-End angesprochen werden kann.

Institutsleitung
Dr.-Ing. Olaf Brodersen



Regelungsmethoden und -technologien
zur Steigerung von Sicherheit,
Komfort und Effizienz

Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik (SR)

Der Forschungsschwerpunkt des Instituts für Systemdynamik und Regelungstechnik liegt in der Entwicklung und Anwendung effizienter Systemsimulationen und intelligenter Regelungssysteme für Raumfahrt- und Robotersysteme, Flugzeuge, Straßen- und Schienenfahrzeuge. Ziel der Methoden- und Toolentwicklung ist es, die Leistungsfähigkeit, Effizienz, Sicherheit und den Komfort der geregelten Systeme robust zu erhöhen.

Neuartige Flugregelungs- und Flugzeugsbordsysteme

Der Entwurf neuartiger Flugregelungs- und Flugzeugsbordsysteme steht im Fokus der Luftfahrtforschung. Ziel ist die Gewichtsreduktion durch aktive Abminderung der Flugzeugstrukturlasten sowie die Verbesserung des (teil-)autonomen Betriebs bemannter und unbemannter Flugzeuge. Die Validierung der hierfür benötigten Simulationsmodelle und Regelungsverfahren auf Prüfständen und in Flugversuchen spielt dabei eine wichtige Rolle in der Forschungsarbeit.

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) arbeiten die Institute SR und AE gemeinsam mit EU-Partnern an neuen Technologien, die das sogenannte Flattern auf neuartige Weise unter Kontrolle bringen und Strukturlasten reduzieren. Diese Technologien erlauben es, Flügel mit geringerem Gewicht und höherer Streckung zu konstruieren. Die leichteren, aber dennoch sehr stabilen Tragflächen erzeugen weniger Widerstand – und sind daher energieeffizienter. Im Rahmen dieser Projekte wurde ein unbemannter fliegender Demonstrator gebaut, um verschiedene Flügelkonzepte im Flug zu erproben. Das Institut SR entwickelt integrierte Simulationsmodelle, Flugregelungsalgorithmen für Lastabminderung sowie Flatterunterdrückung und ist maßgeblich an der Entwicklung von Autopilotenfunktionen zum automatischen Abfliegen von Testtrajektorien beteiligt. Außerdem wurde ein Trainingssimulator für den Sicherheitspiloten am Boden aufgebaut. **Projektpartner:** MTA, Airbus, FACC, INASCO, TU Delft, TU München, University of Bristol, RWTH Aachen.

SAGITTA

Im „Open Innovation“-Projekt Sagitta wurden neue Technologien für künftige unbemannte Luftfahrzeuge entwickelt und erprobt. SR verantwortete die Planung, den Aufbau und den Betrieb von Simulations- und Integrationstestanlagen.

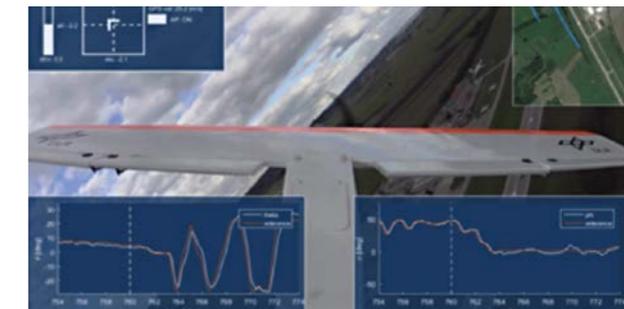
Projektpartner: Airbus, TU München, TH Ingolstadt, UNIBW München, TU Chemnitz, DLR (FT, FA, SR).

HAP (DLR)

Ziel des Querschnittsprojekts Hochfliegende unbemannte Plattform (HAP) ist der Aufbau einer umfassenden Systemkompetenz für Höhenflugzeuge im DLR. Diese Kompetenz soll ermöglichen, ein zulassungsfähiges Gesamtsystem (Plattform, Nutzlast, Bodenstation, operationelle Prozeduren) für den Dauerbetrieb zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben. Das Institut SR entwickelt die Flugregelungsalgorithmen und den Autopiloten für die Plattform. Die unkonventionelle Flugenveloppe sowie die ultraleichte und damit hochflexible Struktur eines Solarflugzeugs stellen dabei besondere Herausforderungen dar.

FASER

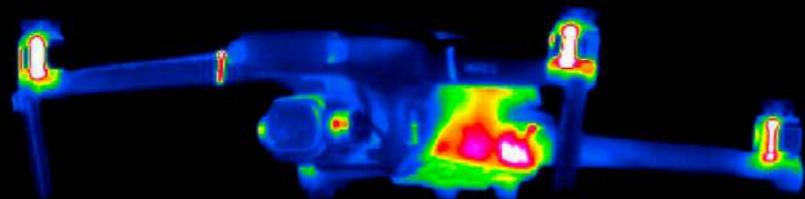
Zur Erprobung neuartiger Flugregelungsmethoden betreibt das Institut das UAS FASER. Der Versuchsträger ist mit einem von der University of Minnesota entwickelten Flugsteuerungsrechner ausgestattet und ermöglicht es, bei geringem Risiko und niedrigen Kosten Flugversuche durchzuführen. Im Anschluss erfolgt die Erprobung mit einem bemannten Versuchsträger. Mit FASER wurden bereits mehrere Regelungsmethoden weltweit erstmals in die Luft gebracht und danach erfolgreich für die bemannte Luftfahrt einsatzreif gemacht.



FASER

Institutsleiter

Prof. Dr.-Ing. Johann Bals



Institut für Technische Physik (TP)

Das Institut für Technische Physik entwickelt Lasersysteme für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt sowie in den Bereichen Sicherheit und Verteidigung. An den Standorten des Instituts in Stuttgart und Lampoldshausen bearbeiten Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker interdisziplinär Fragestellungen aus den Schwerpunktthemen

- Detektion und Beseitigung von Weltraumschrott
- lasergestützte Ferndetektion von Schad- und Gefahrstoffen
- Lasereffektoren großer Reichweite
- lasergestützte Fluginstrumentierung

Ortung und Identifikation von UAS mittels laserbasierter Sensorik

Mit seiner langjährigen Expertise in der Entwicklung und Evaluation von Hochleistungslasersystemen und Technologien aktiver optischer Systeme, Untersuchungen der Strahlpropagation über große Distanzen sowie der Laser-Materie-Wechselwirkung ist das Institut für Technische Physik ein Kompetenzzentrum in Fragen der zivilen und verteidigungstechnischen Sicherheitsforschung.

Forschungsplattform TRAILER

Durch den rasanten technischen Fortschritt sowie den sinkende Kosten werden unbemannte Flugsysteme (UAS, Drohnen) immer häufiger genutzt. Fehlfunktionen oder die versehentliche oder vorsätzliche Missachtung von Regeln führen zu neuen Bedrohungslagen.

Eine frühzeitige Detektion, positionsgenaue Ortung und eindeutige Identifikation eines unbemannten Flugsystems sind notwendige Voraussetzungen, um den Sicherheitsbehörden eine Einschätzung der Gefahrenlage zu ermöglichen. Die Wissenschaftler des Instituts für Technische Physik entwickeln dafür neuartige laserbasierten elektrooptischen Sensoren und Auswertelgorithmen, um die Anforderungen der verschiedenen Aufgaben sicher und zuverlässig zu erfüllen. Einer unserer Forschungsplattformen ist das System TRAILER (Tracking, Ranging And Identification using Laser Energy on the Road).

Dies ist eine mobile, anhängergelegene Schwenk- und Neigeplattform, welche zum Test neuer Sensoren, neuartiger Algorithmen oder Abwehrmittel eingesetzt wird. Neben der hohen Traglast sowie der einfachen Integration von zusätzlicher Messsensorik, ist auch eine Integration von leistungsstarken Lasern möglich.

Die TRAILER Plattform beinhaltet visuelle Hochgeschwindigkeitskameras, hochauflösende Infrarotdetektoren und eine äußerst leistungsfähige Wärmebildkamera. Eine detailreiche Auflösung der bildgebenden Sensoren stellt die Grundlage für eine eindeutige Identifizierung und Klassifizierung der Zielobjekte dar. Zusätzlich kann die Abstandsinformation zu den Flugsystemen mit einem Laser Ranging System ermittelt werden. Das hochagile TRAILER System gewährleistet die präzise Ausrichtung auf bewegte Objekte. In Verbindung mit leistungsstarken Lasersystemen wäre eine gezielte und skalierbare Abwehrmaßnahme verfügbar.



Modell der Schwenk- und Neigeplattform zur Identifikation und genauen Bahnbestimmung von Drohnen

Ein mögliches Einsatzszenario des TRAILER Systems wäre die Entwicklung und Bewertung von Abwehrsystemen zum Schutz vor unbemannten Kleinstdrohnen für Flughäfen oder terrestrischen bzw. maritimen Schutzzonen.

Institutsdirektor
Prof. Dr. Thomas Dekorsy

Demonstration der Kommunikation zwischen einem hochautomatisierten Pkw und einem bodennahen Fluggerät auf einem Testgelände



Institut für Verkehrssystemtechnik (TS)

In interdisziplinären Teams entwickeln etwa 200 Forschende an den Standorten Braunschweig und Berlin kundenorientierte Lösungen für mehr Sicherheit und Effizienz des Verkehrs auf Straße und Schiene. Die Arbeiten konzentrieren sich auf Automotive- und Bahnsysteme, Intermodalität und Öffentlichen Personennahverkehr sowie auf das Verkehrsmanagement und die Integration von Verkehrssystemen.

Mit seiner Forschung gestaltet das Institut zukünftige Lösungen für die Mobilität von Personen sowie den Transport von Gütern. Es forscht anwendungsorientiert zum Wohl der Gesellschaft und zur Stärkung des Wirtschaftsstandorts Deutschland. Die Wissenschaftler implementieren dabei integrierte Werkzeugketten aus Simulationen, Laboren und Testfeldern und entwickeln Methoden, Technologien und Systemlösungen für einen koordinierten, kooperativen Verkehr.

Vernetzung von Luft- und Bodenverkehr für schnellere Rettungseinsätze

Die enge Kooperation im Verbund des DLR ermöglicht die Nutzung von Synergien mit der Luft- und Raumfahrt sowie der Energietechnik. Außerdem arbeitet das Institut anwendungsorientiert mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft zusammen und richtet seine Forschung an den Anforderungen von Politik und Öffentlichkeit aus.

Das Projekt Air2X

Gemeinsam mit den DLR-Instituten für Flugführung und Flugsystemtechnik hat sich das Institut für Verkehrssystemtechnik zum Ziel gesetzt, das Potential der Vernetzung und der Kooperation von luft- und bodengebundenem Verkehr aufzuzeigen. Dafür demonstrierten sie, dass Rettungseinsätze von Helikoptern auf Autobahnen mit Hilfe von Kommunikation mit Fahrzeugen sicherer und schneller durchgeführt werden können.

Im Projekt haben die Forschenden die Vernetzung einer Drohne mit Fahrzeugen direkt realisiert. So kann die Drohne ihren geplanten Landeplatz automatisch senden und damit Fahrzeuge, die über eine entsprechende Kommunikationsschnittstelle verfügen, informieren. Eine digitale Barriere verhindert, dass diese Fahrzeuge in den gewünschten Landeplatz einfahren. Dadurch bilden sie außerdem eine physische Barriere für alle nachfolgenden Fahrzeuge auf ihrer Fahrspur. Das Szenario wurde prototypisch auf dem Testgelände – mit einer Drohne als Helikopter – erprobt. Die Implementierung in einen Helikopter ist in Vorbereitung.



Instrumentenanzeige im Fahrzeug

Mit dieser einzigartigen Kommunikationstechnik werden Luftrettungseinsätze unabhängiger von Boden-Rettungskräften am Einsatzort. Die Zeit bis zur Hilfeleistung kann außerdem wesentlich verkürzt werden, während die Sicherheit für den Helikopter und Dritte gewährleistet ist.

Einen Film zum Projekt finden Sie hier:
<https://verkehrsforschung.dlr.de/de/news/air2x>

Institutsdirektorin
Prof. Dr.-Ing. Katharina Seifert



Institut für Technische Thermodynamik (TT)

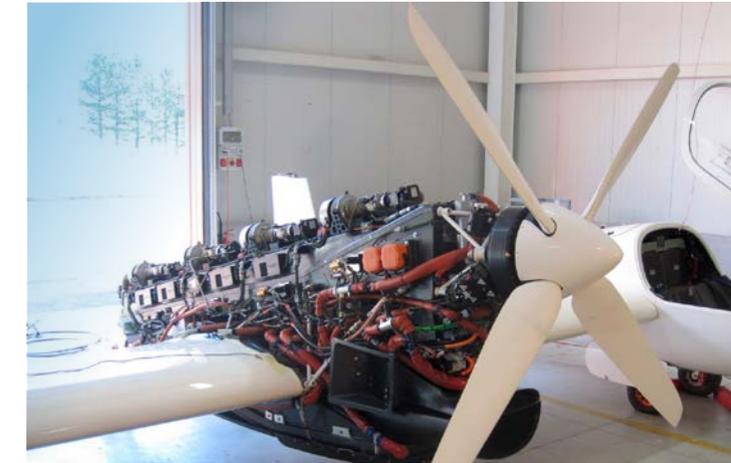
Das Institut für Technische Thermodynamik forscht mit über 180 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern auf den Gebieten thermischer und chemischer Energiespeicher - mit den Schwerpunkten Power-to-Heat-to-Power, Wasserstoff und Batterien- und innovativer Energiewandlungstechnologien der nächsten Generation für Brennstoffzellen und Elektrolyseure. Das Spektrum der Arbeiten reicht von theoretischen Studien über grundlagenorientierte Laborarbeiten bis zum Betrieb von Pilotanlagen.

Alternative Antriebe nicht nur für UAV – Forschung zum Einsatz der Brennstoffzelle in der Luftfahrt

Zusätzlich zu den Kernaktivitäten im DLR-Geschäftsfeld „Energie“ bearbeitet das Institut für Technische Thermodynamik die Themen Brennstoffzellensysteme für „More Electric Aircraft“ und „All Electric Aircraft“ aus dem Geschäftsfeld „Luftfahrt“. Die Brennstoffzellensysteme werden an den Standorten Hamburg und Stuttgart aufgebaut und im Betrieb erforscht.

Hy4 – das erste emissionsfreie Passagierflugzeug

Passagierluftfahrt ohne Lärm, Rußpartikel und Kohlendioxid: schon im Jahr 2008 konnte das Institut für Technische Thermodynamik das weltweit erste pilotengesteuerte Flugzeug Antares DLR-H2 mit einem Brennstoffzellenantrieb in die Luft bringen. Aufbauend darauf, wurde die HY4 – das weltweit erste viersitzige Passagierflugzeug mit Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie und Elektroantrieb – entwickelt und markierte auf diesem Weg einen Meilenstein.



Hy4 Antrieb

Das elektrische Fliegen mit der HY4 ist leise, schont die Umwelt und erhöht die Reichweite sowie die Sicherheit im Vergleich zu seinen Vorläufern. Aktuell wird die fliegende Forschungsplattform HY4 im europäischen EU-Projekt MAHEPA zu einem hochredundanten Hybrid umgerüstet, wobei die langjährigen Energieforschungsaktivitäten des Institutes für Technische Thermodynamik in den Bereichen Batterien, Brennstoffzellen und Wasserstofftechnologie genutzt werden können.

Hinter der HY4 verbirgt sich die Technologie eines vier sitzigen Wasserstoffbrennstoffzellen-Passagierflugzeuges. Der Hybrid ist mit einer leistungsstarken PEM-Brennstoffzelle für große Reichweite und einer Lithium-Hochleistungsbatterien mit einer Leistung von 80 kW zur Unterstützung bei Start und Höhenveränderung ausgestattet. Die HY4 erreicht dadurch Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 200 Kilometer pro Stunde und hat eine Reichweite von bis zu 1.500 km. Mit maximal vier Reisenden ist die HY4 das erste auf Brennstoffzellen basierende Passagierflugzeug der Welt.

Diese Technologie ist das Ergebnis einer über zehnjährigen Arbeit des DLR im Bereich des elektrischen Fliegens und wurde im Rahmen des Nationalen Innovationsprogrammes Wasserstoff und Brennstoffzelle gefördert.

Institutsdirektor
Prof. Dr. André Thess



Programmkoordination Sicherheitsforschung (PK-S)

Der Klimawandel, die zukünftige Mobilität, die Migration als auch die Digitalisierung stehen stellvertretend für globale Herausforderungen der heutigen Zeit. Diese müssen unter einer ganzheitlichen Betrachtung von technologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Aspekten in ihren Wechselwirkungen und ihrer Veränderlichkeit beschrieben werden und sind zudem eng mit dem Begriff Sicherheit verknüpft. Somit ist Sicherheit nicht nur ein Grundbedürfnis des Menschen, sondern stellt auch die Grundlage unserer modernen und globalisierten Gesellschaft von morgen dar.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit - Im DLR und darüber hinaus

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) bündelt sein sicherheitsrelevantes Fachwissen im Querschnittsbereich Sicherheitsforschung. In diesem verknüpfen wir die Kernkompetenzen aus den etablierten DLR-Programmen der Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und des Verkehrs. Die multi- und interdisziplinäre Zusammenarbeit schafft neue Synergien und ermöglicht es, innovative Sicherheitslösungen auszuarbeiten, die unseren Alltag spürbar sicherer machen.

Konkret tragen wir mit unserer unabhängigen Analyse- und Bewertungskompetenz bereits heute dazu bei, die Beurteilungsfähigkeit der öffentlichen Bedarfsträger, insbesondere des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg), im Bereich gesamtstaatlicher Sicherheitsvorsorge zu erhalten und zu stärken.

Projekt MaRPAS

Unser Motto „Wissen für morgen“ bezieht sich aber nicht nur auf das Bereitstellen von Wissen. Es steht auch für in der Praxis angewandte Systeme und Dienstleistungen, die auf der Basis des Wissens und der Expertise der DLR-Mitarbeiter heute und in Zukunft eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist das Projekt **Maritimer RPAS-Betrieb 2 (MaRPAS 2)**.

Für maritime Rettungsmissionen oder Überwachungsaufgaben könnten durch den schiffsgestützten Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen (Remotely Piloted Aircraft System, RPAS) hochautomatisiert Lagebilder erfasst und sicherheitskritische Situationen erkannt werden, um im Ernstfall schnell zu reagieren. Im Rahmen des Projekts MaRPAS 2 wird diese Einsatzmöglichkeit weiter erforscht.

Die DLR-Institute für Flugführung und Flugsystemtechnik entwickeln Verfahren und Technologien, die eine Landung eines RPAS auf einer bewegten Plattform unter erschwerten Wetterbedingungen ermöglichen sollen.

Basierend auf einem Präzisionslandeverfahren zur relativen Navigation mittels GPS-Doppeldifferenzen wird das RPAS präzise zu einem Punkt oberhalb der Schiffsplattform geführt. Ab dieser Position wird ein patentiertes Seillandeverfahren zur Landung eingesetzt. Hierfür werden automatische Start- und LandeprozEDUREN entwickelt sowie die DLR-Bodenkontrollstation U-Fly für den schiffsgestützten Einsatz weiterentwickelt. Zur Demonstration der entwickelten Verfahren und Technologien wird der unbemannte Hubschrauber superARTIS eingesetzt.

Programmkoordinator Sicherheitsforschung
Dr.-Ing. Dirk Zimmer



Querschnittsprojekt Hochfliegende unbemannte Plattform (HAP – High-Altitude Plattform)

Das DLR hat sich zum Ziel gesetzt umfassendes Know-how für die Realisierung leistungsfähiger, zulassbarer, hochfliegender Solarflugzeuge aufzubauen und bereitzustellen. Unter der Führung des Instituts für Flugsystemtechnik (FT) verfolgt das DLR einen ganzheitlichen Ansatz und entwickelt nicht nur eine Plattform, sondern auch die notwendige Bodenstation, auf der Plattform tragbare Nutzlasten zur Erdbeobachtung sowie zur Durchführung entsprechender Missionen essentielle operationelle Prozeduren. Hierfür bündelt das DLR eine Vielzahl von Kompetenzen aus den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt und Sicherheit mit insgesamt 17 beteiligten Instituten. Ziel ist die Erprobung vielversprechender Technologien und Bauweisenkonzepte sowie die Demonstration unterschiedlicher Anwendungspotentiale.

Entwicklung, Bau und Erprobung eines solarbetriebenen, unbemannten Stratosphärenflugzeugs

Die Plattform weist eine konventionelle Konfiguration auf, wird jedoch mit einem Gesamtgewicht von 138 Kilogramm bei einer Spannweite von 27 Metern in extremer Leichtbauweise ausgeführt. Die Sensorsysteme, darunter ein hochauflösendes Kamera- und ein Radarsystem mit synthetischer Apertur werden jeweils 5 Kilogramm Gewicht nicht überschreiten. Mit diesen Sensorsystemen können zahlreiche Aufgaben im Bereich der Erdbeobachtung verwirklicht werden. Dazu zählen beispielsweise die Überwachung von Schifffahrtswegen, Aufklärung bei Flutkatastrophen und Waldbränden sowie das Monitoring von Eisflächen. Ein in 20 Kilometern stationierbares Flugzeug muss

Flächenlasten von deutlich unter 5 kg/m² erreichen, daher sind bereits hinsichtlich der Planung und Auslegung des Flugzeugs und seiner Systeme bereits Unterschiede weniger Gramm von entscheidender Bedeutung.

Sowohl das Projekt selbst als auch die bisherigen Bemühungen der Industrie zeigen, dass solche hochfliegenden, lange stationierbaren Plattformen und ihre leichtgewichtigen Sensorsysteme daher am Rande des technisch Machbaren entwickelt und gebaut werden müssen. So besteht seitens der Industrie ein reges Interesse an den Fortschritten im Projekt.

Das in 2018 gestartete Projekt steht nun unmittelbar vor dem sogenannten Preliminary Design Review. In einem solchen Review werden allgemein die technische Machbarkeit und Angemessenheit des vorläufigen Designs überprüft. Wie schon das System Requirements Review im April 2019 wird auch dieses wieder von externen Fachexperten begleitet.

Für das Jahr 2022 sind erste Versuchsflüge mit dem HAP alpha genannten Technologiedemonstrator geplant, wobei die ersten Flüge zunächst in niedriger Höhe am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt geplant sind. Wenn das Flugzeug ausreichend erprobt und die Abläufe des Bodenpersonals entsprechend eingespielt sind, wird HAP alpha sukzessive eine Höhe von bis zu 20 Kilometern erfliegen. Anschließend werden umfassende Demonstrationsflüge mit den Nutzlastsystemen in großen Höhen durchgeführt. Zur Realisierung der Höhenflüge ist das Team weltweit in Gesprächen mit geeigneten Flugtesteinrichtungen, die über ein dafür notwendiges weiträumiges Boden- sowie Luftsperrgebiet bis in große Höhen verfügen.

Beteiligte DLR Institute: FT, AE, AS, DFD, FA, FL, HR, KN, MF, OS, PA, RB, RM, SC, SHT, SR, UX, VE

Koordinator Unbemanntes Fliegen
Dr.-Ing. Christian Eschmann

Projektleiter
Andreas Bierig

Co-Projektleitung
Florian Nikodem

Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme

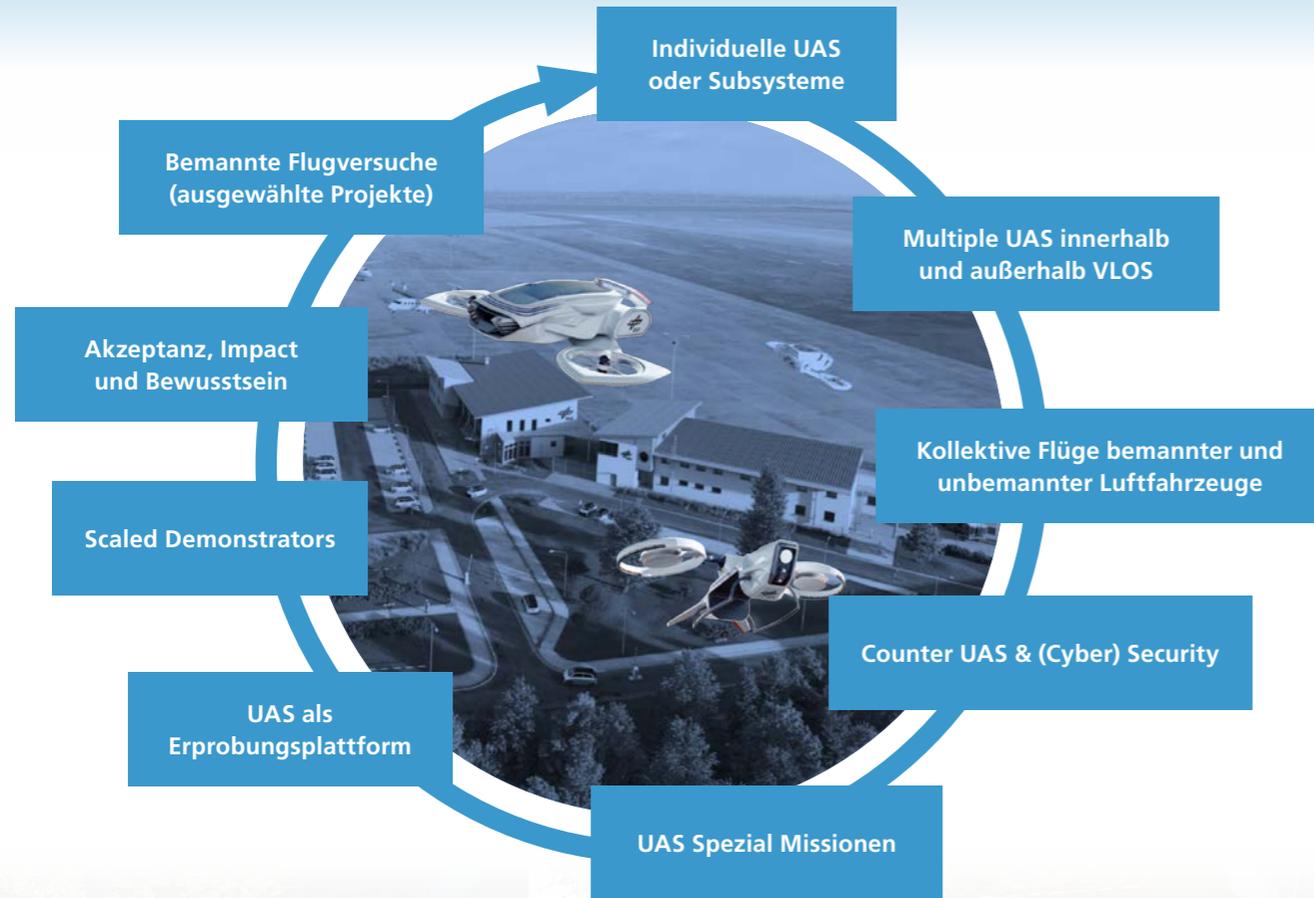
Mit dem Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme wird ein Testzentrum geschaffen, in dem Fähigkeiten und Kompetenzen der Entwicklung unbemannter Luftfahrtsysteme gebündelt werden können. Das Erprobungszentrum ermöglicht die Vernetzung von Wissenschaft und Industrie zur Weiterentwicklung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

Da weder Hersteller oder Anwender noch der Gesetzgeber alle Fragestellungen mit Blick auf UAS alleine 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 übt das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme eine zentrale Rolle als Wegbereiter für die zukünftige Forschung und Entwicklung hinsichtlich neuer UAS-Technologien aus. Hier soll ein für alle Entitäten nutzbarer Testraum entstehen, der die Erprobungsgrundlage für zukünftige, technologisch und regulatorisch richtungweisende Entscheidungen schafft. Aus Zulassungsgründen wird es erforderlich sein, dass neue unbemannte Luftfahrtsysteme und deren Missionen unter realen Bedingungen in einer kontrollierten Umgebung umfassend erprobt und qualifiziert werden, wofür der Flughafen Cochstedt aufgrund seiner Lage und Infrastruktur ideal geeignet ist. Das Testgelände wird dabei über die DLR-interne Forschung hinaus Universitäten und anderen wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen sowie auch der Indus-

trie zur Forschung und Erprobung zugänglich sein. Besonders interessant ist das Erprobungszentrum dabei auch für Startups und KMUs, die hier die Möglichkeit haben, ohne große eigene Investitionen ein hochmodernes Testzentrum zu nutzen und ein Netzwerk mit anderen Akteuren aufzubauen.

Infrastrukturen und Testdienstleistungen sowie eigene flankierende Forschung

Das Erprobungszentrum stellt für seine Nutzer die nötigen Erprobungsinfrastrukturen bereit (zur Übersicht siehe Aufklappgrafik am Ende) und unterstützt Nutzer bei Bedarf auch bei der Planung, Beantragung und Durchführung von Tests. Die möglichen Testscenarien reichen dabei von System- oder Subsystemtests einzelner UAS über die Erprobung des Schwarmverhaltens und die Luftraumintegration bis hin zur Abwehr von UAS (inklusive Cybersicherheit) oder Untersuchungen zu Akzeptanz und Auswirkungen von UAS. Darüber hinaus werden in Cochstedt in Kooperation mit der Universität in Magdeburg und den DLR-Instituten in einem in 2020 als Teil des nationalen Erprobungszentrums neu gegründeten UAS-Kompetenzzentrum eigene Forschungsthemen aufgebaut, welche die bereits bestehende Forschung flankieren sollen. (Diese sind aktuell noch in Abstimmung)



Skalierte Technologiedemonstratoren

Die Entwicklung und Nutzung skalierten Demonstratoren (engl. Scaled Demonstrators) hat sich im DLR in der Vergangenheit als effektives Mittel herausgestellt und wird insbesondere durch die Herausforderungen und Erwartungen im Bereich UAM um ein Vielfaches wachsen; hinzu kommen die Realtests, die sich aus der Modernisierung und Automatisierung in der Luftfahrt allgemein ergeben werden. Im Bereich der skalierten Demonstratoren werden neben der Forschung am Vehikel selbst auch die Erforschung und Erprobung neuer Verfahren und Prozesse, die für eine erfolgreiche Etablierung neuer UAS-Technologien erforderlich sein werden, Berücksichtigung finden. In diesem Fall werden Realprozesse und -verfahren in einem herunterskalierten Umfeld abgebildet und erforscht, um eine schnelle und wirtschaftliche Aussage über deren Umsetzbarkeit treffen zu können.

Interdisziplinäre Kooperation, Skalierung und ein Ort zur Vernetzung

Ein Beispiel hierfür wäre beispielsweise die (Vor-)Erprobung von UAM-Szenarien und damit verbundener Technologien für die UAS-Integration in einer „Miniaturstadt“, bevor diese dann kostenintensiv in voller Skalierung als Realprozess ausgerollt werden.

UAS-Forschungsplateau

Die UAS-Forschung im DLR findet aktuell vor allem dezentral an den jeweiligen Standorten statt (zur Übersicht siehe Grafik im Einschlag hinten). Daher soll der DLR-Standort Cochstedt mit dem Nationalen UAS-Erprobungszentrum 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. Das Konzept folgt dabei dem Ansatz, dass die disziplinären Themen an den bisherigen Standorten verbleiben, während integrative Anteile in Cochstedt erfolgen. Dies wird

zukünftig insbesondere für größere DLR-(Querschnitts-) Projekte und externe Forschungsvorhaben von Interesse sein, deren Verlagerung in das UAS-Forschungsplateau den Instituten und Projektpartnern mehr Flexibilität erlaubt. Somit soll über die dedizierte Forschung in Cochstedt hinaus auch die gesamte UAS-Forschung des DLR einen Ort zur Vernetzung in Cochstedt finden.

Horizon UAM

Im neuen „Flaggschiffprojekt“ des DLR zum Thema UAS bringt sich das Nationale Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme unter der Projektleitung des Instituts für Flugführung in Zusammenarbeit mit acht weiteren DLR-Instituten ein. Neben der Nutzung der bestehenden Kontakte mit der Industrie zum „Benchmarking“ der dem Projekt zugrundeliegenden Annahmen, werden hier vor allem die Kompetenzen in der Sicherheitsbewertung für die Planung der Flugversuche und Demonstrationen zum Projekterfolg beitragen. Darüber hinaus soll im Rahmen des Projekts eine UAM-Testinfrastruktur in Form einer „Modellstadt“ inkl. eines Vertiport-Demonstrators zur Validierung von Prozessen und Technologiekonzepten entwickelt werden. Die Konzeption und der anschließende Aufbau werden dabei maßgeblich durch das Institut für Flugführung und das nationale Erprobungszentrum getrieben.

Skalierte Vehikel



Skalierte Testinfrastrukturen



Skalierte Prozesse und Operationsmodelle



Anwendungen für skalierte Demonstratoren

“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 Konzept für das Erprobungszentrum)

Kontakt
Einrichtungsleitung: Jean Daniel Sülberg
Nationales Erprobungszentrum für
Unbemannte Luftfahrtsysteme:

Harzstr. 1
39444 Hecklingen
OT Cochstedt

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



Übersicht Standort und Infrastruktur am Erprobungszentrum



Bürogebäude

- Büros und Besprechungsräume für wissenschaftliche Mitarbeiter
- Arbeitsbereiche des UAS Forschungsplateaus
- Ruheräume (Schlafmöglichkeiten) für die Projektnutzung



Tower

- Flexible Projektarbeitsplätze
- Besprechungsräume für die Projektnutzung (inkl. Video-konferenzmöglichkeiten)

Urbane Testinfrastruktur (in Planung)

- Modellstadt mit verschiedenen Maßstäben
- Flexible Gebäudekonfigurationen
- Vorbereitung für Messtechnik



Hauptgebäude

- Konferenzzentrum
- Labore
- Missionskontrollzentrum



Betriebsgebäude

- Feuerwehr
- Sicherheitstechnik
- Sitz der Betriebsgesellschaft



Kommunikations-/Navigationssysteme und Datenlinks:

- S-Band-Datenlink
- Telemetrie-Datenlinks (433Mhz / 2,4GHz)
- First-Person-View Anlage
- Experimentelle GBAS-Bodenstation
- LTE, 5G (in Planung)

Tracking

- MLAT-System
- FLARM
- Visuelle Flugbahnvermessung (Kinetheodoliten)

Kalibrier- und Testsysteme

- GPS-Repeater und -Simulator in jeweiligen Testvorbereitungsbereichen
- Mobiles Hardware-In-The-Loop-System
- Kalibriersysteme (für luftfahrttechnische Komponenten, Kamerasysteme, GPS etc.)

Bodenstations- und Missionskontrollzentren

- Stationär: im Hauptgebäude mit bis zu 8 Arbeitsplätzen
- Mobil: im Schutzcontainer und Van mit bis zu 4 Arbeitsplätzen
- Dokumentationssysteme (Video- und Kameratechnik, Chase-Plattform)
- Flight-Termination-Data-Link
- Funknetzwerk für Testbetrieb
- Sicherheitseinrichtungen für Bodenstations-Teams

Flughafenspezifische Infrastrukturen

- Start- und Landebahn 2,5km Asphalt, 800m Gras
- ATC Infrastrukturen (Tower)
- Wettersystem Kat MET 2/3



UAS-Werkstatt

- Stell- und Hangarflächen
- Individuelle Projektbereiche
- Metall-, Kunststoffverarbeitung
- Elektronik-Werkstatt
- Besprechungsraum



DLR Mitarbeiter



Flughafenbetrieb



UAS Erprobung



Service



Projekte und Forschung

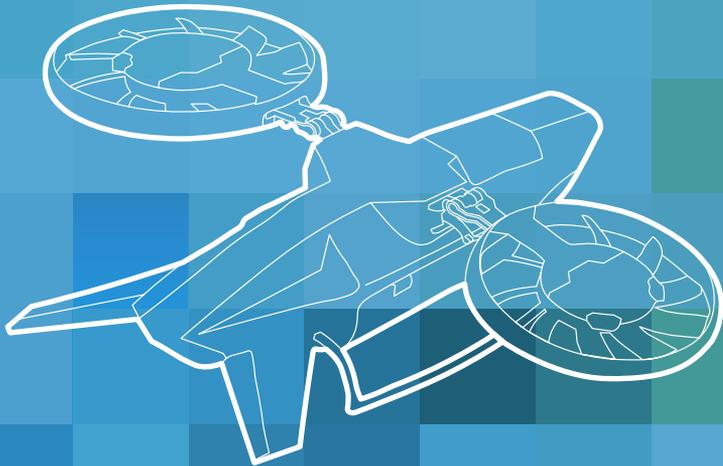


Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Wir betreiben Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 54 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 10.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir 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

CD Werbeagentur GmbH
53842 Troisdorf
www.CDonline.de

Druck

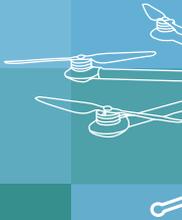
Kern GmbH
66450 Bexbach
www.kerndruck.de

Drucklegung

März 2021

Fotos

DLR (CC-BY 3.0) soweit nicht anders angegeben



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages