

TECHNOLOGIESTRATEGIE DER DEUTSCHEN LUFTFAHRTINDUSTRIE

Erweiterte und aktualisierte Ausgabe 2018



Welten verbinden – Leben schützen

BDLI 

INHALTSVERZEICHNIS

Emissionsfrei fliegen	3
An der Spitze der Innovationspyramide	4
Executive Summary: Ein Kompass für das Forschungsnetzwerk	6
Technologiesegmente	8
Luftfahrzeug	8
Antriebe	10
Systeme	12
150 Jahre Innovationsmotor Luftfahrt	14
Kabine	16
Industrie 4.0 in Entwicklung, Produktion und Betrieb	18
Luftverkehr und Betrieb	20
Ziviles unbemanntes Fliegen	22
Hybrid-elektrisches Fliegen	24
Mehr als zwei Dekaden Investition in Forschung und Technologie	26

EMISSIONSFREI FLIEGEN



Wir werden eines Tages fliegen, ohne Klima und Umwelt zu belasten – so lautet unsere langfristige Vision. Als Industrie richten wir unsere Anstrengungen darauf, der Verwirklichung dieser Vision so nah wie möglich zu kommen. Das weitestgehend emissionsfreie Flugzeug wird nicht nur das Ergebnis einer Fortentwicklung der vorhandenen Fähigkeiten sein, sondern auch technische Quantensprünge erfordern.

Dieses Ziel teile ich mit den über 100.000 direkt in der Luft- und Raumfahrtindustrie beschäftigten Menschen in Deutschland. Unter ihnen sind tausende erstklassige Ingenieure und Forscher, die tagtäglich

daran arbeiten, Flugzeuge sicherer, sauberer und leiser, aber auch bequemer zu machen.

Die Erfüllung dieses gesellschaftlichen Auftrages wird in den kommenden Jahrzehnten erhebliche Investitionen erfordern, die auch von einer starken Luftfahrtindustrie nur in Verbindung mit einer zielgerichteten politischen Unterstützung geleistet werden können. Nachhaltige Luft- und Raumfahrt ist eine Voraussetzung für unseren Wohlstand in einer vernetzten Welt.

Angesichts des globalen Klimawandels bei steigendem weltweiten Mobilitätsbedarf müssen wir unsere Anstrengungen intensivieren. Das emissionsfreie Flugzeug kommt nicht morgen, aber bereits heute arbeiten wir mit Hochdruck an den Technologien und Ideen, die uns diesem Ziel näherbringen und gleichzeitig unsere Wettbewerbsfähigkeit stärken: Am Weltmarkt hat Erfolg, wer Produkte anbietet, die leiser, sicherer und sauberer sind als die Vorgängermodelle. Dazu gehört beispielsweise das hybrid-elektrische Fliegen, bei dem wir in den kommenden Jahren große Fortschritte verzeichnen werden.

Auch wenn wir nicht jeden Schritt präzise vorhersagen können, so verfügen wir doch

über eine recht genaue Vorstellung, welchen Weg wir in den kommenden Jahrzehnten beschreiten müssen. Unser konkretes Zwischenziel lautet, die technologischen Grundlagen zu schaffen, um die Emissionen des Luftverkehrs bis 2050 im Vergleich zum Jahr 2000 um die Hälfte zu senken. Lärm soll nochmals um etwa zwei Drittel reduziert werden. Wir konzentrieren uns dabei nicht nur auf die Eigenschaften des Flugzeugs selbst sondern z.B. auch auf Produktionsprozesse, Management des Flugbetriebs und das Luftverkehrssystem. Dabei wird die Digitalisierung in allen Bereichen eine zentrale Rolle spielen.

Auf den folgenden Seiten möchten wir Ihnen zeigen, wie wir auf Basis der neuen „Technologiestrategie der Deutschen Luftfahrtindustrie“ unsere gesellschaftlichen Ziele erreichen und gleichzeitig unternehmerisch erfolgreich sein wollen. Das wird erhebliche Anstrengungen erfordern. Machen wir uns an die Arbeit – und lassen Sie uns gemeinsam in eine erfolgreiche und nachhaltige Zukunft starten.

Ihr

Dr. Klaus Richter
Präsident BDLI e.V.

AN DER SPITZE DER INNOVATIONSPYRAMIDE

Von Volker Thum, Hauptgeschäftsführer des BDLI

Wie können wir die Emissionen des Luftverkehrs drastisch senken? Wie können wir Fliegen noch sicherer machen? Wie lässt sich Lärm deutlich reduzieren? Und nicht zuletzt: Wie können wir durch Weltklasse-Produkte „Made in Germany“ die Zukunftsfähigkeit unserer Luft- und Raumfahrtindustrie stärken und dabei ihre über 100.000 Hightech-Arbeitsplätze sichern und ausbauen?

Angesichts der erstarkenden Konkurrenz aus aller Welt sind wir in Deutschland „zur Innovation verdammt“. Die Ingenieure, Forscher und Beschäftigten in der Luft- und Raumfahrtindustrie und unserem Forschungsnetzwerk begreifen diese globale Herausforderung als Ansporn. Deutschland ist dank seines Ideenreichtums und mutiger industrieller und politischer Entscheidungen in den letzten 20 Jahren zu einem der weltweit führenden Luftfahrt-Standorte geworden. Da die in unserer strategischen Branche entwickelten Technologien häufig von anderen Schlüsselindustrien wie Energie oder Automobil übernommen werden, profitiert der Industriestandort Deutschland insgesamt.

DIGITALISIERUNG UND INDUSTRIE 4.0

Damit dieser Erfolg anhält, haben wir auf europäischer und nationaler Ebene eine Forschungs- und Innovationsagenda vereinbart. Die vorliegende Strategie für die zivile Luftfahrttechnologie in Deutschland ist ein bedeutender Bestandteil dieser Anstrengungen. Sie beruht auf einer detaillierten Roadmap, die zuletzt 2017 aktualisiert wurde und die Technologiestrategien der einzelnen Luftfahrtfirmen in Deutschland zusammenfasst. Doch es geht nicht nur darum, immer bessere Flugzeuge zu bauen. Um die Zukunftsfähigkeit unserer Branche zu sichern, müssen wir bei der Digitalisierung und der Entwicklung hin zur Industrie 4.0 agieren, statt zu reagieren. Diese bedeutenden Entwicklungen bilden das Fundament, auf

dem sämtliche hier vorgestellten Technologien aufbauen.

INNOVATION IM 21. JAHRHUNDERT BEDEUTET ÖKOEFFIZIENZ

Für mich besteht kein Widerspruch zwischen wirtschaftlichem Erfolg und sauberem Fliegen. Im Gegenteil: Am Weltmarkt hat Erfolg, wer Flugzeuge, Triebwerke, Systeme und Ausrüstungen anbietet, die leiser, sicherer, sauberer und komfortabler sind als die Vorgängermodelle. Die Kerosinkosten machen bei den Fluggesellschaften den Löwenanteil der Kosten aus. Vor allem aus diesem Grund hat es die Luftfahrt geschafft, ihre Emissionen pro Passagierkilometer seit den Siebzigerjahren um über 70% zu senken.

ALS ERSTE BRANCHE EMISSIONS-NEUTRALES WACHSTUM

Unsere Ziele sind ambitioniert. Wir wollen unseren Anteil am wachsenden Weltmarkt sichern und die Flugsicherheit weiter erhöhen. Obwohl das Fliegen nur für 2% der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen verantwortlich ist, hat sich die Luftfahrt als erste Branche überhaupt zu emissionsneutralem Wachstum verpflichtet, beginnend ab 2020. Bis 2050 will die Industrie die Fluggesellschaften in die Lage versetzen, ihre CO₂-Emissionen pro geflogenem Passagier und Kilometer um 75% gegenüber dem Jahr 2000 zu senken. Diese Maßnahmen tragen entscheidend dazu bei, dass auch ein wachsender Luftverkehr seine Emissionen bis Mitte



des Jahrhunderts unter dem Strich um die Hälfte reduzieren kann, so wie es die Airlines zugesagt haben. Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit gehen Hand in Hand und stehen deshalb in unserer Strategie gleichberechtigt nebeneinander. Dieser Ansatz wird auch von der Bundesregierung geteilt, welche die im Luftfahrtforschungsprogramm eingesetzten Mittel zu gleichen Teilen für diese übergeordneten Ziele einsetzt.

„PERFEKTER FLUG“ ZEIGT, WIE EMISSIONEN HALBIERT WERDEN KÖNNEN

Es gibt Skeptiker, die hinterfragen, ob die Luftfahrt angesichts ihres Wachstums diese Ziele erreichen kann. Sie kann, und sie wird. Eine Reihe von „perfekten Flügen“ hat seit 2011 gezeigt, wie sich die Umweltbelastung von Flugzeugen um die Hälfte reduzieren ließe, wenn die modernsten verfügbaren Verfahren flächendeckend eingesetzt würden. Dazu gehören der Einsatz der ökoeffizientesten Flugzeuge, die Nutzung nachhaltiger alternativer Kraftstoffe und die Optimierung des Flugverkehrsmanagements. Darüber hinaus stehen den Fluggesellschaften mit modernen Flugzeugen wie dem Airbus A320neo und A350 XWB nun modernste Modelle mit hocheffizienten Triebwerken zur Verfügung, die gegenüber den Vorgängern den Verbrauch um bis zu ein Viertel und die Lärmbelastung um etwa die Hälfte senken. Und es geht weiter: Zahlreiche Innovationen verwandeln moderne Triebwerke in sparsame „Flüsterdüsen“ mit erheblichem

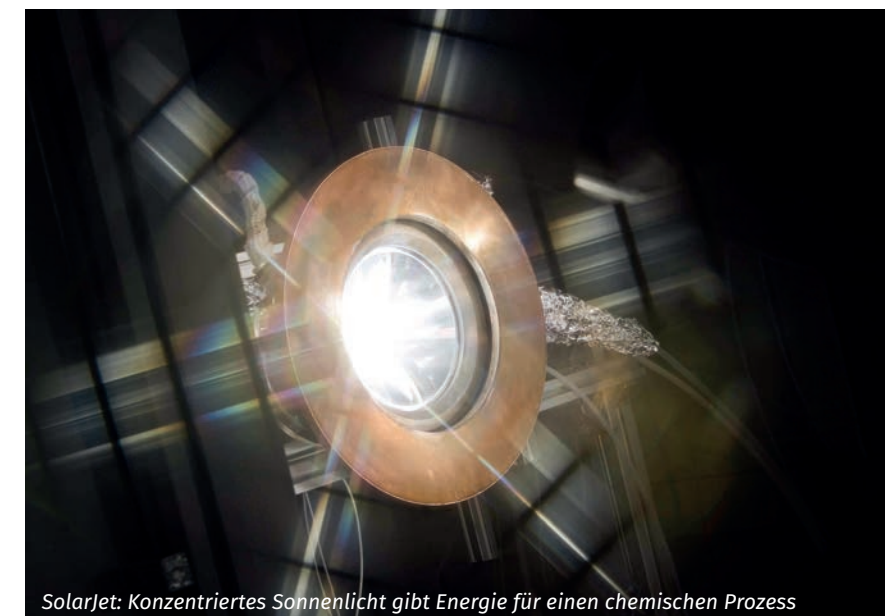


In der Forschung: Bio-Kraftstoff aus Algen

Potential für die kommenden Jahrzehnte. Elektromobilität wird auch im Luftverkehr Einzug halten und zum vermehrten Einsatz von Hybridtechnologien und Elektroantrieben führen. Der Kerosinbedarf kann zunehmend über alternative Kraftstoffe gedeckt werden, die eine wesentlich bessere Umweltbilanz als die fossilen Energieträger aufweisen.

DIE SONNE ALS TREIBSTOFFLIEFERANT

Auch in diesem Bereich setzen wir auf große Fortschritte. Im Jahr 2015 eröffneten Algentechnikum bei München wird erforscht, wie ölhaltige Algen im großen Stil zu Biokerosin verarbeitet werden können, und die Ideenschmiede Bauhaus Luftfahrt hat zusammen mit der ETH Zürich eine preisgekrönte Methode zur Herstellung von nahezu emissionsfreiem Solar-Kerosin mitentwickelt. Die Zukunft gehört der Sonne als Treibstofflieferanten – auf Pflanzenbasis durch Photosynthese oder direkt durch Solarenergie unter Entnahme von CO₂ als Rohstoff aus der Luft – und Deutschland ist bei dieser großartigen Entwicklung vorne mit dabei. Unsere Strategie enthält keine vagen Überlegungen, sondern zeigt ganz konkret auf, wie wir uns die Technologieentwicklung in den kommenden Jahrzehnten vorstellen. Für den Erfolg der Strategie wird entscheidend sein, dass wir weiter bahnbrechende Entwicklungen hervorbringen und diese so schnell wie möglich mit unseren Produkten in den Markt bringen.



SolarJet: Konzentriertes Sonnenlicht gibt Energie für einen chemischen Prozess



A320neo mit Getriebefan-Triebwerk

EXECUTIVE SUMMARY: EIN KOMPASS FÜR DAS FORSCHUNGSNETZWERK

Die vorliegende Technologiestrategie soll der deutschen Luftfahrtindustrie ermöglichen, Innovation zu fördern, Kernkompetenzen zu stärken und ihre Wertschöpfung am Industriestandort Deutschland auszubauen. Konkret bedeutet dies Zukunftssicherung sowie die Sicherung und Schaffung von Hightech-Arbeitsplätzen. Neben der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit will die Branche bedeutende Beiträge zu übergeordneten gesellschaftlichen Zielen leisten, vor allem zum Klima-, Lärm- und Umweltschutz. Damit diese großen, strategischen Zielsetzungen auch langfristig im Einklang stehen, muss stets die Wirtschaftlichkeit gewahrt bleiben.

ZIEL: CO₂-EMISSIONEN UM 75%, LÄRM UM 65% UND STICKOXIDE UM 90% SENKEN

Nachdem die Luftfahrtindustrie Schadstoffausstoß und Lärmbelastung bereits drastisch senken konnte, sind auch die Ziele für die kommenden Jahrzehnte äußerst ambitioniert. Die Branche hat im Rahmen der europäischen Flightpath 2050 Vereinbarungen zugesichert, bis 2050 die Technologieentwicklung soweit voranzutreiben, dass im Vergleich zum Jahr 2000 CO₂-Emissionen um 75% und der Ausstoß von Stickoxid um 90% pro Passagierkilometer gesunken sein werden. Die Lärmbelastung soll um 65% fallen. Neben den Umweltzielen benennt Flightpath 2050 strategische Ziele zur Sicherung von Wettbewerbsfähigkeit und Technologieführerschaft der europäischen Luftfahrtindustrie.

BDLI-TECHNOLOGIESTRATEGIE AUF BASIS DER EUROPÄISCHEN FORSCHUNGSAGENDA

Da in der Luftfahrt jede weitere Verbesserung mit viel Aufwand erarbeitet werden muss, bedarf es erheblicher Investitionen, diese ehrgeizigen Ziele umzusetzen. Politische Unterstützung auf europäischer und nationaler Ebene ist dabei unabdingbar. Ergänzend zum Flightpath 2050 hat sich daher das europäische Netzwerk der

Luftfahrtforschung auf eine strategische Agenda zur Umsetzung des Flightpath 2050 verständigt.

Die im BDLI vereinigte deutsche Luftfahrtindustrie hat Flightpath 2050 und europäische Forschungsagenda im Jahr 2015 mit einer eigenständigen Technologie-Roadmap konkretisiert. Sie bildet die Grundlage der vorliegenden Technologiestrategie und liefert einen Gesamtüberblick über sämtliche Forschungsschwerpunkte. Ziel ist es, dem Forschungsnetzwerk die notwendige Orientierung zur zeitlichen Einordnung und inhaltlichen Schwerpunktsetzung zukünftiger Technologieentwicklungen der in Deutschland ansässigen Luftfahrtindustrie zu geben.

MITTEL ZUR KOMMUNIKATION UND VERNETZUNG

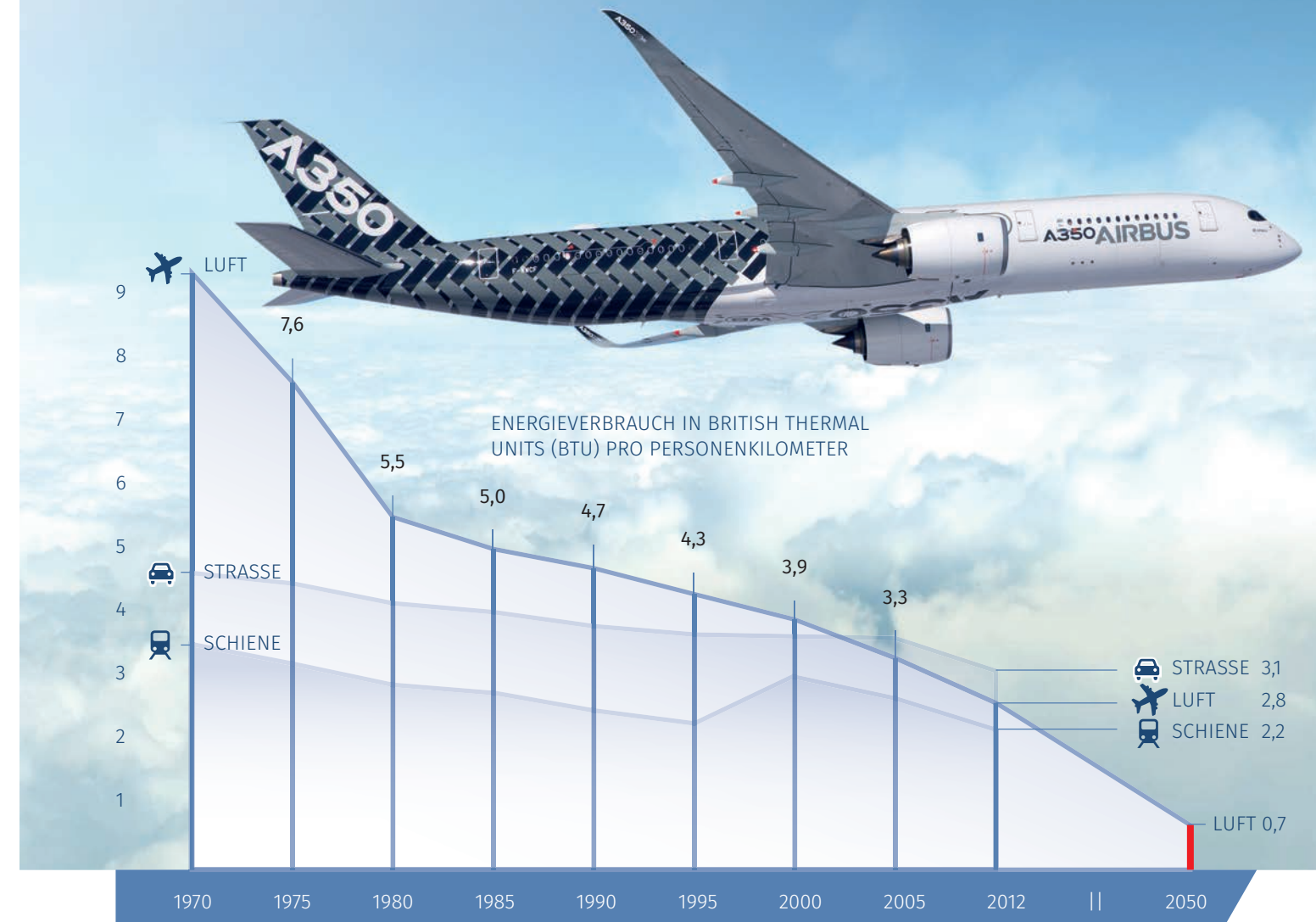
In einem gesamtheitlich abgestimmten strategischen Ansatz werden in der Roadmap alle für Deutschland relevanten Technologiebereiche des Luftverkehrssystems bis 2050 aufgeführt. Diese betreffen Luftverkehrsmanagement, Flugbetrieb und Flugführung ebenso wie das Luftfahrzeug mit all seinen Aspekten der Konfiguration, Antriebe, Systeme, Kabine und der Bauweisen, Werkstoffe und Fertigungsverfahren. Dabei sind Digitalisierung und

Industrie 4.0 die großen übergeordneten Entwicklungen, die in allen Stufen der Wertschöpfungskette sowie im Produkt selbst zunehmend Einzug halten. Auch die Bundesregierung bekennt sich in ihrer Luftfahrtstrategie zum europäischen Flightpath 2050 und richtet das nationale Luftfahrtforschungsprogramm an dessen Zielen aus. Neben langfristiger Orientierung aller Beteiligten ermöglicht dies auch mehr kurz- und mittelfristige Flexibilität in der Reaktion auf sich abzeichnende Marktveränderungen.

EVOLUTIONÄRE UND REVOLUTIONÄRE TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

Die Roadmap verdeutlicht, dass der Einsatz der einzelnen Technologien unterschiedlich schnell zu erwarten ist. So plant der Systemführer Airbus, vor 2030 kein komplett neues Flugzeug auf den Markt zu bringen, da der aktuell von der Triebwerksindustrie eingebrachte technologische Quantensprung signifikante Effizienzgewinne heutiger Flugzeugmuster ermöglicht. Vor diesem Hintergrund setzt Airbus bei der Innovation in der näheren Zukunft auf die evolutionäre Verbesserung bestehender Flugzeugmuster. Parallel zu evolutionären Innovationen werden jedoch bereits die Grundlagen für revolutionäre Technologiesprünge für zukünftige

ENERGIEVERBRAUCH IM VERGLEICH 1970 BIS 2050



Quellen: Transportation Energy Data Book 2014; für Projektion 2012-2050: Flightpath 2050

Flugzeuge und Hubschrauber gelegt. Voranschreitende Technologien im Bereich der Werkstoffe, Bauweisen, Konstruktions-, Produktions- und Instandhaltungsverfahren sowie neue Triebwerkskonzepte befähigen den klassischen Flugzeugbau, auch in Zukunft Effizienzsteigerungen einzubringen. „Enabler“ sind unter anderem virtuelle Konstruktions- und Testmethoden, neuartige Materialien wie Titan-Aluminium-Legierungen, Kunststoffsysteme und die additive Fertigung, auch 3D-Druck genannt.

Zugleich hält die Elektrifizierung und Digitalisierung erhebliche Potentiale bereit. Kurz- bis mittelfristig soll sie zu weiteren Gewichts- und Energieeinsparungen durch Synergieeffekte an Bord führen

und einen emissionsfreien Bodenbetrieb ohne laufende Triebwerke ermöglichen. Aber auch für den Antrieb selbst kommen neben der Verbesserung und Einführung neuer Triebwerkskonzepte langfristig ebenso Elektroantriebe in den Fokus der Forschung. Hybridantriebe ermöglichen langfristig revolutionäre Gesamtflugzeugentwürfe.

POLITISCHE UNTERSTÜTZUNG IST UNVERZICHTBAR

Um die ambitionierten Ziele der BDLI-Technologiestrategie in die Realität umsetzen zu können, sind maximale Anstrengungen in der Luftfahrtforschung notwendig. Nur so lässt sich eine ausrei-

chend hohe Innovationsgeschwindigkeit bei Basistechnologien wie Flugphysik, Triebwerk, Struktur, Kabine, Systeme, Materialien und im Betrieb verwirklichen. Die kontinuierliche politische Unterstützung durch die Bundesregierung ist und bleibt daher wichtige Voraussetzung für das Erreichen der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Ziele einer der bedeutendsten Branchen des Industriestandorts Deutschland. Sie ist erforderlich, um die Wertschöpfung an den deutschen Standorten dieser Schlüsseltechnologie mit ihren hochqualifizierten Arbeitsplätzen abzusichern. Die Luftfahrtforschung und -technologie muss daher mit nachhaltiger Förderung national und auf europäischer Ebene vorangetrieben werden.

TECHNOLOGIESEGMENTE

LUFTFAHRZEUG

WERKSTOFFE BEFLÜGELN DIE LUFTFAHRT

Die Entwicklung und Zulassung von neuen Werkstoffen ist von umfassender Bedeutung für die weitere Optimierung und Effizienzsteigerung von Luftfahrzeugen. Darüber hinaus sind innovative Werkstoffe in Kombination mit neuartigen Bauweisen Voraussetzung für die Entwicklung vollkommener neuer Flugzeuggenerationen. Durch fortschrittliche Faserverbundwerkstoffe, wettbewerbsfähige Keramiken und metallische Hochleistungswerkstoffe wird die Struktur von Flugzeugen leistungsfähiger, belastbarer und hitzebeständiger. Neben einer optimierten Leistung ermöglichen neuartige Werkstoffe zusätzliche Funktionalitäten. Sie eröffnen das Feld für erweiterte, fortschrittliche Leichtbaukonzepte für Flugzeuge und zukünftige Triebwerke, einhergehend mit werkstoff- und automatisierungsgerechtem Design. Ein vollständig nachhaltiger Lebenszyklus der Flugzeuge wird zunehmend auch bei der Entwicklung von Werkstoffen und Bauweisen berücksichtigt. Ziel ist, dass Flugzeuge bis 2050 vollständig recycelbar entworfen und produziert werden.

REVOLUTIONÄRE FLUGZEUGKONZEPTE WERDEN MÖGLICH

Die Entwicklung neuartiger Materialien, der Einsatz neuer Fertigungsmethoden sowie die Fortschritte in der Entwicklung einzelner Komponenten eröffnen Möglichkeiten zur Weiterentwicklung und ständigen Verbesserung der Luftfahrzeuge.

Dies führt nicht zwangsläufig zu einer komplett neuen Flugzeugkonfiguration. Langfristig zeichnet sich jedoch ab, dass auch in der zivilen Luftfahrt neuartige Konfigurationen möglich werden, die aufgrund erheblicher Effizienzsteigerungen, Kosteneinsparungen und Nachhaltigkeitseffekte auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgversprechend sind.

NEUE ANTRIEBSKONZEPTE MIT DISRUPTIVER WIRKUNG FÜR DEN FLUGZEUGENTWURF

Elektrische und hybride Antriebskonzepte könnten langfristig völlig neue Möglichkeiten für das Design von Luftfahrzeugen schaffen. Erste Entwicklungen der letzten Jahre weisen den Weg, darunter neuartige Helikopter, elektrisch angetriebene Ultraleichtflugzeuge sowie zweisitzige Flugzeuge mit elektrischen Triebwerken. Hybride oder rein elektrische Antriebskonzepte ermöglichen Konfigurationen, bei welchen sich der Antrieb in den Gesamtflugzeugentwurf integrieren lässt. In einem Konzept der verteilten Antriebe könnten diese zusätzlich zum Vortrieb auch aerodynamische Effekte erzeugen, die den Flugzeugwiderstand vermindern, Steuerflächen teilweise ersetzen sowie die Auftriebserzeugung aktiv unterstützen. In anderen Konzepten ermöglichen verteilte elektrische Antriebe neuartige kosteneffektive Hubschrauberkonfigurationen. Mittelfristig gesehen gibt es allerdings zur Fluggasturbine als Antrieb von Passagierflugzeugen keine realisierbare Alternative.

DIE NÄCHSTE STUFE DER AERODYNAMIK

Effekte der Aerodynamik können genutzt werden, um eine höhere Effizienz der Gesamtkonfiguration zu erzielen. Neben der reinen Formgebung und Oberflächengüte des Luftfahrzeuges wird insbesondere die Strömungskontrolle die Aerodynamik des Flugzeuges nochmals erheblich verbessern helfen. Erreicht werden soll dabei ein möglichst gleichmäßiger Verlauf der direkt anliegenden Umströmung des Luftfahrzeuges (Laminarität). Mit der verbesserten Aerodynamik wird durch die erzielte Reduktion des Luftwiderstandes weniger Antriebsleistung benötigt und weniger Lärm generiert. Daraus resultiert auch ein niedrigerer Kraftstoffverbrauch und daraus resultierende Gewichtseinsparung.

Ein Paradebeispiel bereits gelungener Umsetzung von Erkenntnissen aus aerodynamischer Forschung und Entwicklung in die Praxis ist die Einführung von nach oben gebogenen Flügelnenden (Sharklets) beim Bestseller Airbus A320. Die Vorteile: bis zu 4% Kerosineinsparung und eine Erhöhung der Reichweite.

FORMATIONSFLUG, NURFLÜGLER UND VIRTUELLE AUSSENSICHT

In Kombination mit weiteren Luftfahrttechnologien eröffnen diese Entwicklungen völlig neue Möglichkeiten. So könnten auf verkehrsreichen Langstrecken mehrere Flugzeuge nach dem natürlichen Vorbild der Zugvögel im Verbund fliegen. Das Einsparungspotential von Formationsflügen liegt bei geschätzten 10%. Langfristig sind auch Nurflügel-Flugzeuge, sogenannte „Flying Wings“, denkbar. Diese könnten in völlig neue Dimensionen aerodynamischer Effizienz vorstoßen, da die gesamte Flugzeugstruktur zur Erzeugung von Auftrieb und Steuerung beiträgt.

Ein weiterer grundlegender Wandel könnte sich in der Flugzeugkabine vollziehen, die z.B. wegen der grundsätzlich veränderten Flugzeuggeometrie eines hocheffizienten Flying Wing völlig neu gedacht werden müsste. Denkbar ist, dass Passagiere etwa mittels Datenbrille auch aus einem solchen Flugzeug eine umfassende künstliche Aussicht genießen könnten.

IN KÜRZE

Die Werkstoffe der Zukunft sind der Schlüssel zu neuen Bauweisen und revolutionären Flugzeugkonzepten.

Elektrische und hybride Antriebskonzepte schaffen langfristig neue Möglichkeiten für das Design von Luftfahrzeugen.

Verbesserte Aerodynamik wird Verbrauch und Lärmbelastung weiter senken.

Auf lange Sicht könnten Formationsflug, Nurflügler und Kabinen mit virtueller Außensicht Einzug halten.



Das Airbus Concept Plane vereinigt die Zukunftsvisionen der Forscher



Der Werkstoff Graphene inspiriert die Forschung



Nurflügel-Konzept des DLR

TECHNOLOGIESEGMENTE

ANTRIEBE

Seit den Sechzigerjahren konnte der Brennstoffverbrauch von Flugtriebwerken nahezu halbiert und die Lärmemission auf ein Viertel reduziert werden. Erreicht wurde dies vor allem durch höhere Nebenstromverhältnisse für einen höheren Vortriebswirkungsgrad sowie durch Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades. Einfach ausgedrückt: Die unerwünschte Erzeugung von Wärme und Lärm im Triebwerk konnte stark reduziert werden, während ein größerer Anteil der eingesetzten Energie zum Vortrieb genutzt wird. Auch in Zukunft wird das Triebwerk den wesentlichen Teil der in der Luftfahrt angestrebten Effizienzsteigerungen liefern müssen. Für die in 20 bis 30 Jahren zu erwartenden grundsätzlich neuen Antriebskonzepte ist in Deutschland bereits mit notwendigen Grundlagenforschungsarbeiten begonnen worden.

WEITERENTWICKLUNG DER TRIEBWERKE

Die Triebwerkstechnologien von heute besitzen noch erhebliches Potential zur Weiterentwicklung. Ein Quantensprung konnte mit dem Getriebefan-Triebwerk erreicht werden. Dort können mittels eines Untersetzungsgetriebes die beiden Komponenten Fan und Niederdruckturbine in ihren jeweils optimalen Drehzahlbereichen arbeiten, so dass hohe Nebenstromverhältnisse für hohen Vortriebswirkungsgrad möglich werden. Im Jahr 2016 ging mit dem PW1100G-JM für den Airbus A320neo das erste Getriebefan-Triebwerk in Serie. Ein um 16% gegenüber dem Vorgänger reduzierter Brennstoffverbrauch und die Reduzierung der Lärmemissionen um nahezu die Hälfte sind das beeindruckende Ergebnis. Der Getriebefan verkleinert den Lärmteppich um 75%.

Weiterentwicklungen des Turbofan und Getriebefan-Triebwerks werden noch für lange Zeit den Standardantrieb für die kommerzielle Luftfahrt bilden. Wesentlich für den Erfolg sind dabei auch neue Hochtemperatur-Leichtbau-Werkstoffe, innovative Verfahren wie die additive Fertigung sowie durchgängige Design- und

Simulationsverfahren für die gesamte Kette vom Entwurf über die Werkstoffherstellung und Fertigung bis zur Produktnutzung. Die nächste Triebwerksgeneration eingesetzt wird. Allerdings sind weitere Technologieentwicklungen notwendig, um die Nachteile wie hohe Lärmemission, niedrigere Fluggeschwindigkeit und schwierige Installation zu überwinden. Der thermische Wirkungsgrad wurde in der Vergangenheit durch höhere Brennkamertemperaturen und Druckverhältnisse kontinuierlich verbessert. Mit den heute verfügbaren Materialien und Kühlverfahren zeichnen sich allerdings Grenzen ab, die sich nur noch sehr schwer überwinden lassen. Neue technische Prozesse zur Energieumwandlung bieten dagegen noch ein deutliches Verbesserungspotential. Hier eröffnet sich ein weites Feld für die Grundlagenforschung an Universitäten

NEUE TRIEBWERKSKONZEPTE

Eine deutliche Verbesserung des Vortriebswirkungsgrads ermöglicht das Konzept des Open Rotors, bei dem ein großer gegenläufiger Rotor ohne Ummantelung eingesetzt wird. Allerdings sind weitere Technologieentwicklungen notwendig, um die Nachteile wie hohe Lärmemission, niedrigere Fluggeschwindigkeit und schwierige Installation zu überwinden. Der thermische Wirkungsgrad wurde in der Vergangenheit durch höhere Brennkamertemperaturen und Druckverhältnisse kontinuierlich verbessert. Mit den heute verfügbaren Materialien und Kühlverfahren zeichnen sich allerdings Grenzen ab, die sich nur noch sehr schwer überwinden lassen. Neue technische Prozesse zur Energieumwandlung bieten dagegen noch ein deutliches Verbesserungspotential. Hier eröffnet sich ein weites Feld für die Grundlagenforschung an Universitäten

und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das mit weiteren zweistelligen Effizienzsteigerungen belohnt werden könnte.

REVOLUTIONÄRE ANTRIEBSKONZEPTE

Elektrisches Fliegen mit Batterie verursacht keine Emissionen im Flug und zeichnet sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus. Allerdings sind heutige Batterien für die kommerzielle Luftfahrt aufgrund der geringen Speicherkapazität bei weitem nicht ausreichend, so liegt die nutzbare Energiespeicherkapazität etwa um den Faktor 25 unter der von Flugkraftstoff. In den nächsten Jahren wird getrieben durch Verbesserungen der Batteriekapazität das elektrische Fliegen aus dem Bereich der Motorsegler bis in den Bereich der Kleinflugzeuge vordringen. Bei Fortschreibung der bisherigen Entwicklungsfortschritte in der Batterietechnologie könnten in einigen Jahrzehnten erste rein elektrisch betriebene Regionalflugzeuge zum Einsatz kommen. Während konventionelle Elektromotoren für Kleinflugzeuge ausreichen, müssen für Passagierflugzeuge Elektromotoren mit Hochtemperatursupraleitung entwickelt werden, die nahezu verlustfrei arbeiten und die Leistungsdichte von Gasturbinen erreichen.

Langfristig vielversprechend sind hybride Antriebe, die die heutige Gasturbine mit elektrischen Antrieben kombinieren. Mittels zusätzlicher Batterien können Leistungsspitzen z.B. beim Start gepuffert werden. Da der Wirkungsgrad von Elektromotoren nicht von der Größe abhängt, können eine Vielzahl kleinerer Antriebe eingesetzt werden, die eine Reihe von Vorteilen bieten: hoher Vortriebswirkungsgrad, einfache Integration im Flugzeug, und hervorragende Aerodynamik. Somit ermöglichen hybride Antriebe neue Flugzeugkonzepte. Auch bei Helikoptern mit kurzen, spezialisierten Missionen können sich Vorteile für elektrische und hybride Antriebe in Verbindung mit neuen Architekturen einstellen.

IN KÜRZE

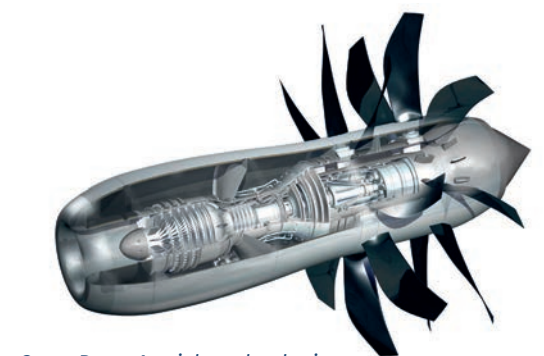
Heutige Triebwerke bieten weiterhin erhebliches Entwicklungspotential.

Die neuesten Triebwerksgenerationen sind bis zu 16% effizienter und kommen bei A350 XWB und A320neo zum Einsatz.

Mit neuen Prozessen zur Energieumwandlung werden weitere Effizienzsteigerungen möglich.

Elektrisches Fliegen mit Batterie könnte in der kommerziellen Luftfahrt langfristig im Bereich der Regionalflugzeuge möglich werden. Hybride Antriebe ermöglichen neue Flugzeugkonzepte mit deutlich verbesserter Effizienz.

Die Forschungsgrundlagen für diese neuartigen Antriebskonzepte werden bereits heute gelegt.



TECHNOLOGIESEGMENTE

SYSTEME

Sämtliche Systeme an Bord heutiger Luftfahrzeuge beziehen ihre Energieversorgung von den Triebwerken. Im zukünftigen „More Electric Aircraft“, aus dem langfristig das „All Electric Aircraft“ entstehen soll, werden alle Systeme auf eine elektrische Energieversorgung umgestellt. Der elektrische Ansatz erlaubt die Optimierung der Triebwerke in Bezug auf ihre Vortriebsleistung und hält weitere Potentiale für die Weiterentwicklung einzelner Systeme sowie des Gesamtsystems bereit, z.B. durch im Flugzeug verteilte eigenständige Energieerzeuger.

ELEKTRIFIZIERUNG HÄLT IN DER LUFTFAHRT EINZUG

Diese Entwicklung findet sich in Ansätzen bereits in Flugzeugen der jüngsten Generation, etwa im Bereich der Flugsteuerung, des Fahrwerks und der Klimatisierung. Für die vollständige Einführung des hocheffizienten „All Electric Aircraft“ muss die Energieversorgung eines Flugzeugs allerdings komplett neu gedacht werden. Dabei reicht das Spektrum der Ansätze von dezentralen, autarken Energieerzeugern für einzelne Systeme bis zum Energieverteilungsmanagement auf Flugzeugebene, auch unter Einbeziehung der Rückgewinnung von Verlustleistung.

BORDELEKTRONIK DER NÄCHSTEN GENERATION

Die Bordelektronik der nächsten Generation ebnet den Weg zum digitalen Flugzeug, das einen noch effizienteren und äußerst sicheren Flugbetrieb möglich macht, Passagieren verbesserten Komfort bietet und Verbrauch und Emissionen deutlich senkt.

Bis in die 1990er Jahre wurde jedes einzelne Flugzeugsystem einzeln überwacht und geregelt. Während in einem Airbus A340 bis zu 100 verschiedene Rechner-typen installiert waren, werden heute

hauptsächlich flexible und integrierende Computerplattformen eingesetzt. Da die Zahl der Systeme und Funktionen stetig zunimmt, wird sich dieser Trend weiter fortsetzen. Letztendlich sollen sämtliche Anwendungen auf solch generischen Plattformen implementiert werden. Neben der erhöhten Sicherheit ergeben sich durch die Einführung einer einheitlichen Rechnerplattform signifikante wirtschaftliche Vorteile, da sich Gewicht, Volumen und Energieverbrauch der Avionik trotz massivem Anstieg ihrer Funktionalität signifikant reduzieren lassen.

Ein weiterer Fokus liegt auf der Entwicklung von Technologien zur Vorhersage von Restlebensdauer und möglichen Fehlern von Geräten und Komponenten, um mit Hilfe dieser Daten präventiv eingreifen zu können, und so Störungen des Betriebsablaufs zu vermeiden.

FLUGZEUGSYSTEME WERDEN ELEKTRISCH

Die Grundlage, um den Energieerzeugungsaufwand zu minimieren und die Verteilung effizient zu steuern, bildet die Umstellung der Versorgung der Flugzeugsysteme auf nur eine Energieform – die elektrische. Bereits heute werden Komponententechnologien für elektrische Stellantriebe der Flugsteuerung und des

Fahrwerks zunehmend eingesetzt. Eine besondere Rolle spielt dabei auch die Bedruckung der Kabine und ihre Klimatisierung. Diese Funktionalitäten sind im Flugzeug lebensnotwendig und beeinflussen darüber hinaus das Wohlbefinden der Insassen. Die auf Triebwerkszapflung gestützte Klimaanlage ist ein großer Energieverbraucher. Eine Lösung zu finden, die auf Zapflung verzichtet, ist daher zur Priorität geworden. Im europäischen Forschungsprogramm Clean Sky wird dieser Ansatz unter anderem verfolgt und bereits im Flug erprobt.

VERBESSERTES ZUSAMMENSPIEL ZWISCHEN PILOTEN, FLUGZEUG UND BODEN

Die Sicherheit der Luftfahrt hängt entscheidend von den Fähigkeiten und Möglichkeiten der Piloten ab, bei stetig steigender Verkehrsdichte immer komplexeren Informationen wahrnehmen und richtig interpretieren zu können. Zukünftige Systeme und Funktionen im Cockpit können die Piloten entscheidend bei der Führung des Flugzeuges unterstützen und entlasten. Neue Cockpit-Funktionen wie eine erweiterte Außensicht, Flug- und Rollführungen und automatisierte, computergestützte Flug- und Rollfreigabenprozesse werden die Piloten signifikant entlasten und die Flugsicherheit weiter erhöhen. Die durch die neuen Cockpit-Funktionen erreichte Entlastung der Piloten könnte mittel- bis langfristig zumindest phasenweise einen „Ein-Piloten-Betrieb“ auch für Großraum-Verkehrsflugzeuge ermöglichen. Assistenzfunktionen erweitern insbesondere auch im Fall von Hubschraubern beim bodennahen Flug den Einsatzbereich. Neben der Möglichkeit des „Ein-Piloten-Betriebes“ werden höhere Automatisierungsgrade zunehmend auch einen verteilten Flugbetrieb zwischen Bodenstationen und Cockpit ermöglichen. Langfristig wird im Frachtbereich eine automatisierte, unbemannte Flugführung erwartet.



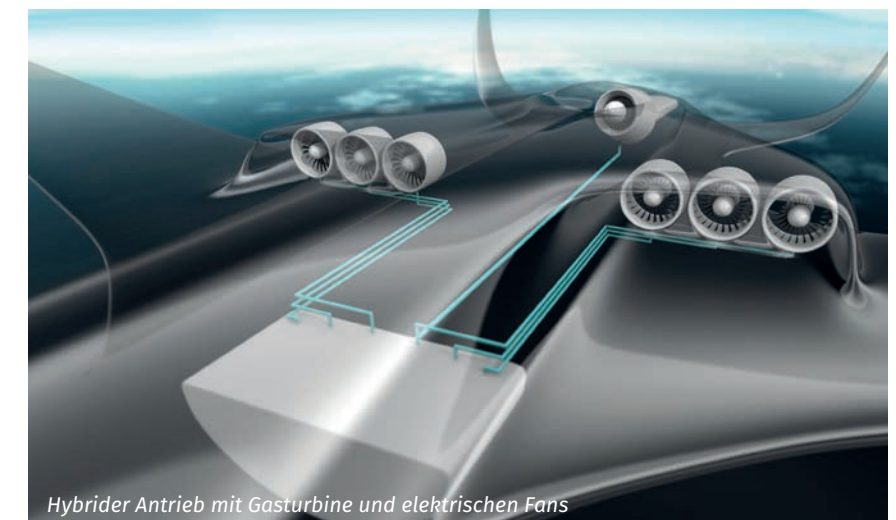
Luftfahrzeug im Service

IN KÜRZE

Elektrifizierung und Digitalisierung halten in der Luftfahrt Einzug.

Die Bordelektronik der nächsten Generation ebnet den Weg zum digitalen Flugzeug.

Das verbesserte Zusammenspiel zwischen Piloten, Flugzeug und Bodenkontrolle erhöht die Sicherheit trotz steigendem Verkehr.



Hybrider Antrieb mit Gasturbine und elektrischen Fans



Digitalisierung: Customization Center A350 XWB

150 JAHRE INNOVATIONSMOTOR LUFTFAHRT

NEUE KONZEPTE

ENTWICKLUNGS- GESCHICHTE



1895

1903

1920

1958

1988

2016

2030

2035

2040

2050

TECHNOLOGIESEGMENTE

KABINE

Deutschland ist im immer wichtiger werdenden Bereich der Kabinenausstattung international mit führend. So haben zahlreiche deutsche Unternehmen entscheidenden Anteil daran, dass der Bestseller Airbus A320neo, der im Januar 2016 mit 15% Ersparnis gegenüber bisherigen Modellen in Dienst gestellt wurde, dank zahlreicher Kabineninnovationen ab 2020 mit einer nochmaligen Ersparnis von 5% aufwarten kann. Impulse gehen dabei insbesondere von schlankeren Sitzlehnen, Gewichtsreduzierungen und einer verbesserten Ausnutzung des vorhandenen Platzes aus.

MEHR KOMFORT BEI NIEDRIGEREN KOSTEN UND EMISSIONEN

Die Ansprüche der Fluggesellschaften für die kommenden Jahrzehnte sind klar: Das Gesamtsystem Kabine muss effizienter werden, um die Beförderung von mehr Passagieren bei niedrigeren Kosten und geringeren Emissionen zu gewährleisten. Ebenfalls zu berücksichtigen sind gesellschaftliche Trends und demographische Entwicklungen, denen die unterschiedlichsten Fluggesellschaften weltweit gegenüberstehen. Diesen muss die Industrie mit entsprechenden Technologien für eine flexible Kabine begegnen.

Die Notwendigkeit der Effizienzsteigerung und der Individualisierung und Flexibilisierung des Gesamtsystems Kabine führt zu neuen Anforderungen an zukünftige Komponenten und Konzepte. Sie werden immer leichter, günstiger und platzsparender. Hohe Erwartungen gibt es speziell bei der verbesserten Gestaltung der Kommunikation an Bord und bei der weiteren Verdichtung von Sitzen ohne Komfortverlust sowie beim Anbieten flexibler Konfigurationen.

HOCHEFFIZIENTE KABINENVERSORGUNG

Das Konzept des „More Electric Aircraft“ führt zu einer Vereinheitlichung der

Energieformen im Flugzeug, wodurch der Bedarf an elektrischer Energie an Bord massiv ansteigen wird. Zudem erwächst aus neuartigen Kabinenfunktionen der Bedarf an zusätzlicher elektrischer Energie. Neben der Ausreizung aller Optimierungspotentiale in der Kabine könnten alternative Energiegeneratoren wie Brennstoffzellen in einem ersten Schritt etwa den Energiebedarf von Bordküchen decken und somit das elektrische Flugzeugnetzwerk entlasten.

Durch die Vernetzung der dezentralen, alternativen Energiegeneratoren kann ein elektrisches Netzwerk aufgebaut werden, das den gesamten Stromverbrauch zukünftiger Kabinen decken wird. Dies ermöglicht eine Entkopplung der Versorgung der für den sicheren Flugbetrieb notwendigen Aufgaben von zusätzlichen Funktionen wie Inflight-Entertainment und Bordküchen. Dadurch eröffnen sich vollkommen neue Möglichkeiten, eine leistungsfähige und flexible Energieversorgung an Bord einzuführen und Zertifizierungsprozesse im Bereich der Kabine zu vereinfachen.

PRIORITÄT: ERHÖHTE SICHERHEIT

Zukünftige Kabinenstrukturen und -elemente können die Überlebensfähigkeit der Passagiere bei einem Unfall

signifikant erhöhen. Langfristig ist das Ziel, Kabinenkonzepte und die dafür notwendigen Technologien zu entwickeln, um den Passagieren eine nahezu 100%ige Überlebenschance im Falle eines Unfalles zu ermöglichen.

Die Sicherheitssysteme an Bord eines Flugzeuges sind derzeit noch stark auf die Aufmerksamkeit des fliegenden Personals ausgelegt. Den Besatzungen und Sicherheitsverantwortlichen werden zukünftig spezielle Systeme und Funktionen zur Verfügung zu stellen sein, um noch effizienter als bisher einen sicheren Luftverkehr gewährleisten zu können. Auch die zukünftige direkte Einbindung von Smartphones und Tablets der Passagiere bergen sicherheitstechnische Risiken, die entsprechend zu berücksichtigen sind und denen bereits heute entgegengewirkt wird.

ERHÖHTER KOMFORT FÜR PASSAGIERE

Die Entwicklungen von digitalen Medien, sozialen Netzwerken, aber auch die individuelle Kontrolle der Klimaanlage oder Innenbeleuchtung in Autos erzeugen die Erwartung der Passagiere, diese Funktionen auch in einer Flugzeugkabine vorzufinden. Neue Kabinensysteme und -konzepte werden daher die individuelle Gestaltung von Kabinenbeleuchtung und Kabinenbelüftung unterstützen.

Die Weiterentwicklung von Inflight-Entertainment-Systemen und Kabinenmanagement-Systemen durch neue Netzwerk-, Datenübertragungs-, Rechner- und Displaytechnologien versprechen für den Passagier ein wesentlich verbessertes Flugerlebnis. Langfristig können diese neuen Technologien auch zu einer nahezu vollkommenen künstlichen Kabinenaußensicht führen, z.B. um revolutionäre Nurflügler zu ermöglichen.

IN KÜRZE

Flexiblere Kabinen erhöhen die Effizienz und senken Kosten – die A320neo wird bis 2020 dank Kabineninnovationen nochmals 5% sparsamer sein.

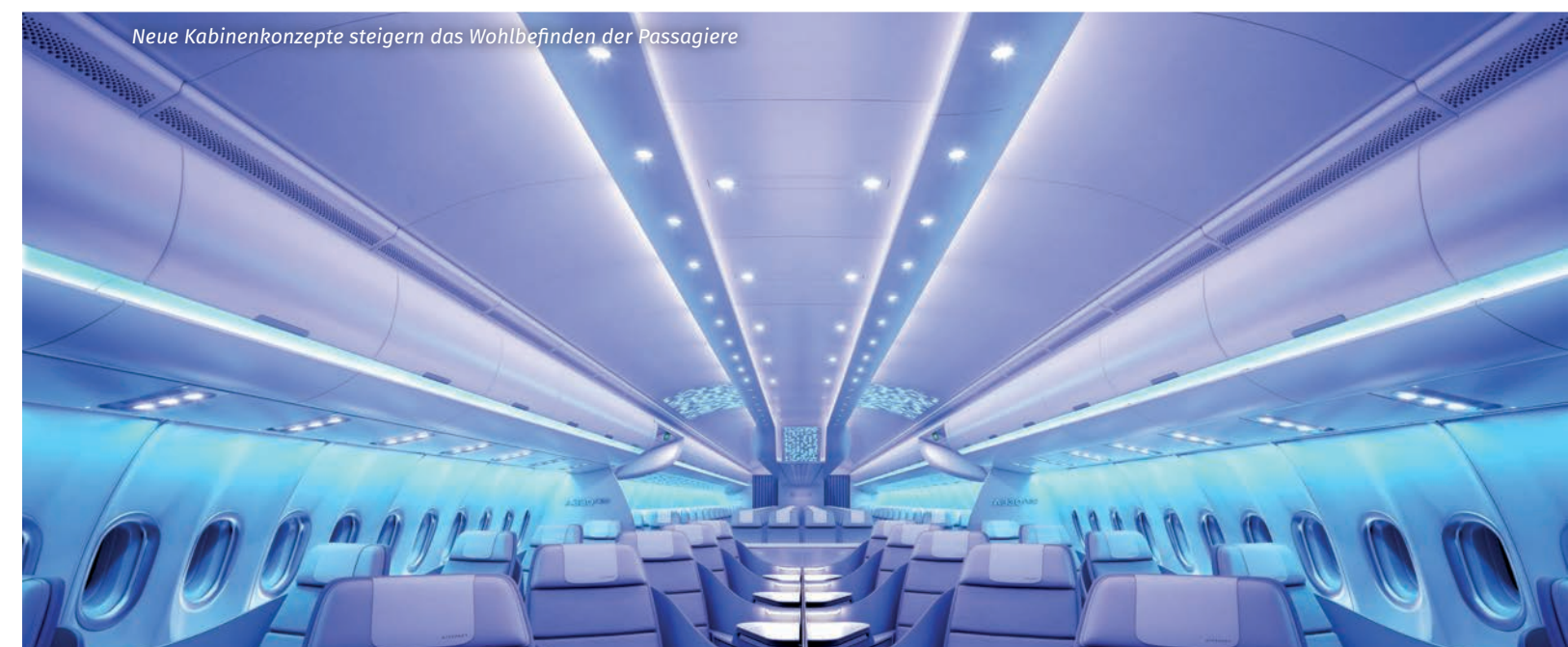
Individuelle Beleuchtung, Belüftung und Entertainment erhöhen den Komfort.

Neuartige Kabinen verbessern den Schutz der Passagiere bei Unfällen; sicherheitstechnischen Risiken wird entgegengewirkt.

Dank flexibler Kabinen können Airlines auf regionale, demographische oder saisonal sich verändernde Bedürfnisse reagieren.



Vision einer künstlichen Kabinenaußensicht



Neue Kabinenkonzepte steigern das Wohlbefinden der Passagiere

TECHNOLOGIESEGMENTE

INDUSTRIE 4.0 IN ENTWICKLUNG, PRODUKTION UND BETRIEB

Industrie 4.0 in der Luftfahrtindustrie unterscheidet sich von anderen Branchen sowohl durch ihre Komplexität als auch durch die alles überragende Bedeutung der Sicherheit. Hinzu kommt die Verteilung von Entwicklung, Produktion und Instandhaltung auf zahlreiche Standorte. Die Wertschöpfungskette ist tief gestaffelt, international aufgestellt und umfasst viele tausend Zulieferer. Der Grund für diese Komplexität: Ein Flugzeug besteht aus über einer Million Teilen und hat einen Lebenszyklus von bis zu 40 Jahren. Diese einzigartigen Ansprüche lassen der Luftfahrtindustrie eine führende Rolle bei der Zukunft des Standortes Deutschland zukommen.

DIE DIGITALE FABRIK

Erste Schritte hin zur vernetzten Fabrik sind bereits auf dem Weg. Die Ziele für die „Fabrik der Zukunft“ und „Industrie 4.0“ gehen aber weit über die heutigen Lösungen hinaus und beinhalten ein hohes Potential für weitere Kostensenkungen sowie die Steigerung der Qualität und Flexibilität in der Produktion und während des Betriebs. Zudem können die neuen Technologien nicht ohne gründliche Überprüfung übernommen werden. Deshalb benötigt die Industrie einen Demonstrator für die „Fabrik der Zukunft“ bzw. „Industrie 4.0“. Ein solcher Demonstrator wird helfen, die neuen Technologien zu erproben und zu verknüpfen und könnte somit die zentrale Herausforderung der nächsten beiden Jahrzehnte – die Einführung neuer Technologien bei gleichzeitig steil ansteigendem Ratenhochlauf – lösen. Auch bei Wartung, Reparatur und Instandhaltung könnte ein Demonstrator dazu beitragen, die vollständige Vernetzung aller Ressourcen zu testen, so dass dieser für die Luftfahrt bedeutende Bereich mit größtmöglicher Effizienz durchgeführt werden könnte. Dies umfasst sowohl Digitalisierung, Big Data Analytics, Vernetzung,

Robotik als auch Augmented Reality Techniken wie „Wearable Interfaces“, welche die Mensch-Maschine Interaktion weiter verbessern. Die Bedeutung von Cyber Security wird im Zusammenhang mit der Entwicklung dieser Technologien eine wichtige Rolle spielen.

3D-DRUCK UND BIONISCHES DESIGN

Deutschland gehört zu den Führern in einer Schlüsseltechnologie von morgen: den additiven Fertigungsverfahren (engl.: Additive Layer Manufacturing = ALM), auch 3D-Druck genannt. Die Luftfahrtindustrie steht an der Spitze dieser Entwicklung, da diverse Flugzeugteile so schneller, leichter und günstiger hergestellt werden können. ALM und bionische Optimierungsverfahren eröffnen vollkommen neue Möglichkeiten zur Herstellung kostengünstiger Leichtbaustrukturen.

Die neue Technologie wird zunächst für Optimierungen und Bauteilsubstitutionen in bestehenden Flugzeug- und Triebwerksprogrammen und geplanten Derivaten Anwendung finden und vor allem dabei helfen, Gewicht zu reduzieren. Durch jedes Kilogramm Gewichtsersparnis werden

im Laufe eines Flugzeugslebens etliche Tonnen Kerosin und somit CO2 eingespart. ALM-Verfahren werden derzeit in limitierten Anwendungsbereichen in der Kabine, den Triebwerken, der Systeminstallation und für Sekundärstrukturen angewendet. Mit den dabei gewonnenen Erkenntnissen kann der Anwendungsbereich bis hin zur Herstellung ganzer Komponenten im gesamten Flugzeug vergrößert werden. Mittel- und langfristig werden ALM und bionisches Design in komplett neue Bauweisen zukünftiger Flugzeug- und Hubschrauberprogramme einfließen.

SIMULATION FÜR SCHNELLERE ENTWICKLUNG UND BESSERE PRODUKTE

Die Fähigkeit, Flugzeuge und Triebwerke zunehmend virtuell zu entwickeln, zu testen und gegebenenfalls zu zertifizieren wird die Geschwindigkeit, mit der Innovationen vom Labor in die Luft gelangen, weiter erhöhen. Auch wenn mittelfristig herkömmliche Testmethoden wie z.B. Windkanäle weiter benötigt werden, wird es notwendig sein, das Flugzeug zunächst im Computer fliegen zu lassen und es lange vor der Verfügbarkeit von realen Bauteilen zuverlässig zu optimieren.

IN KÜRZE

Aufgrund der Komplexität ihrer Produkte und Lieferketten kommt der Luftfahrtindustrie eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung hin zur Industrie 4.0 zu.

Industrie 4.0 ist von herausragender Bedeutung, um den geplanten Ratenhochlauf in der Industrie effizient und robust zu managen und die Wettbewerbsfähigkeit der Luftfahrtindustrie auszubauen.

Die Luftfahrt ist führend bei der additiven Fertigung („3D-Druck“). Das Einsparpotential bei Gewicht, Durchlaufzeit und Kosten ist enorm.

Die Fähigkeit, Flugzeuge und Komponenten virtuell zu entwickeln, wird entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit sein.

Das „virtuelle Flugzeug“ stellt dazu alle benötigten Daten in der erforderlichen Genauigkeit zur Verfügung und ist somit ein Abbild des realen Produktes mit all seinen Eigenschaften.

Viele Grundlagen für das „virtuelle Flugzeug“ sind im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms bereits erarbeitet worden. Deutschland ist daher mit seiner breit aufgestellten Simulationskompetenz bestens geeignet, eine Führungsrolle zu übernehmen. Nur mithilfe einer digitalen Produktentwicklung werden die großen Hersteller angesichts der kurz- bis mittelfristig geplanten hohen Produktionsraten in der Lage sein, grundlegend neue Flugzeugkonzepte auf den Markt zu bringen.

Aus der Entwicklung heraus folgt dann – zusammen mit den Zulieferern – ein nahtloser Übergang in die „Fabrik der Zukunft“. Das „Virtuelle Produkt“ wird daher als Schwerpunkt für die deutsche Luftfahrtbranche angesehen. Es ist ein wichtiges Verbindungselement zur „Industrie 4.0“, die von Seiten der Politik als strategisches Thema der deutschen Industrie unterstützt wird.

Die digitale Vernetzung des Flugzeugs mit der Betriebszentrale und allen Beteiligten („Connected Fleet“) vermeidet Verspätungen sowie Ausfälle und reduziert so die Kosten. Die Sammlung von Daten während des Fluges ermöglicht außerdem die Analyse bei laufendem Betrieb zur Früherkennung und Behebung von Problemen. Von zunehmender Bedeutung ist in diesem Zusammenhang *Cybersecurity*, welche aus der Digitalisierung und Konnektivität der Abläufe erwächst. Darunter fallen Gefahren wie die Manipulation von Smart Tools und das Hacken von Robotern in der „Smart Factory“. Herkömmliche Technologien wie Firewalls sind für diese Bedrohungen nicht ausreichend, weshalb neue, integrierte Ansätze entwickelt werden. Dazu zählen die Festlegung von einheitlichen Standards, die Analyse der Gefahren für physikalische Systeme sowie Methoden und Werkzeuge für ein sicheres Design.



3D-Druck ermöglicht neue Konstruktionsprinzipien



Digitalisierte Flugzeugendmontage © AIRBUS Operations GmbH 2016 – All rights reserved

TECHNOLOGIESEGMENTE

LUFTVERKEHR UND BETRIEB

Während in den bisherigen Abschnitten das Luftfahrzeug, dessen Konfiguration und Systemkomponenten einschließlich der Entwicklung und Produktion im Mittelpunkt stand, widmet sich der folgende Teil dem Fluggerät im Einsatz. Die Bedeutung dieses Bereichs ist immens.

Durch neue Produkte und Dienstleistungen sowie optimierte Abläufe werden gleichzeitig Flug-, Warte- und Rollzeiten sowie Verspätungen als auch Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen wirksam reduziert. Das Ergebnis: Unternehmen, Umwelt und Passagiere profitieren.

OPTIMALE VERNETZUNG DER EUROPÄISCHEN FLUGHÄFEN VON „GATE ZU GATE“

Dem Luftverkehrsmanagement kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Zur Steigerung von Kapazität am Boden und in der Luft, bei mindestens gleichbleibender Sicherheit, bedarf es einer verbesserten Vernetzung aller Beteiligten, leistungsfähigerer und flexiblerer Kommunikationssysteme sowie eines systemweiten Informationsmanagements - bei fortschreitender Automatisierung der Optimierung von Flugverläufen.

Täglich finden in Europa rund 35.000 Flüge mit etwa 2,5 Millionen Fluggästen statt. Seit Mitte der Neunzigerjahre wird über eine Verkehrsmanagementzentrale in Brüssel dieser Verkehr bei Bedarf zeitlich und räumlich so verteilt, dass möglichst kein Luftraum oder Flughafen seine Kapazitätsgrenzen überschreitet. In Zukunft soll der Verkehr frühzeitiger und präziser geleitet werden, mit verstärkter Berücksichtigung der optimalen Flugwege. Zusätzliche Assistenzsysteme werden den Fluglotsen in Zukunft mögliche Annäherungen von Flugzeugen frühzeitig anzeigen und passende Lösungen vorschlagen.

Ziel ist auch, Flüge vom Flugsteig des Abflughafens bis zum Flugsteig des Zielflughafens („Gate-to-Gate“) verzögerungsfrei und planbar zu führen. Die Flughäfen werden damit integrierter Bestandteil einer gesamtheitlichen Verkehrsplanung und -steuerung.

INTEGRATION UNBEMANNTER LUFTFAHRTSYSTEME

Die Öffnung des europäischen Marktes für unbemannte Luftfahrtsysteme stellt für die Europäische Kommission einen wichtigen Schritt in Richtung Luftverkehr der Zukunft dar. Unbemannte Systeme sind ein signifikanter Wachstumsmarkt und bieten gerade im zivilen Bereich erhebliche Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle. Aufgrund der rasanten technologischen Entwicklung wird die Integration dieser Fluggeräte in den Luftraum zu einer wichtigen Aufgabe der kommenden Jahre. Die größte Herausforderung besteht darin, die Sicherheit und den reibungslosen Betrieb des übrigen Luftverkehrs nicht zu beeinträchtigen. Dazu sind neuartige technische wie betriebliche Konzepte gefragt, die entwickelt und zugelassen werden müssen.

BIG DATA UND ELEKTRISCHER BETRIEB AM FLUGHAFEN

Im Flugbetrieb gibt es weiterhin enormes Potential, Emissionen und Lärm zu senken, und Big Data ist häufig der Schlüssel zum Erfolg. Fluggesellschaften könnten beispielsweise 2-3% Treibstoff sparen, wenn sie in der Lage wären, die optimale Fluggeschwindigkeit jedes einzelnen Fluges genau zu berechnen. Darüber hinaus können an den Flughäfen standortbezogene verbesserte An- und Abflugverfahren zur Lärmentlastung beitragen.

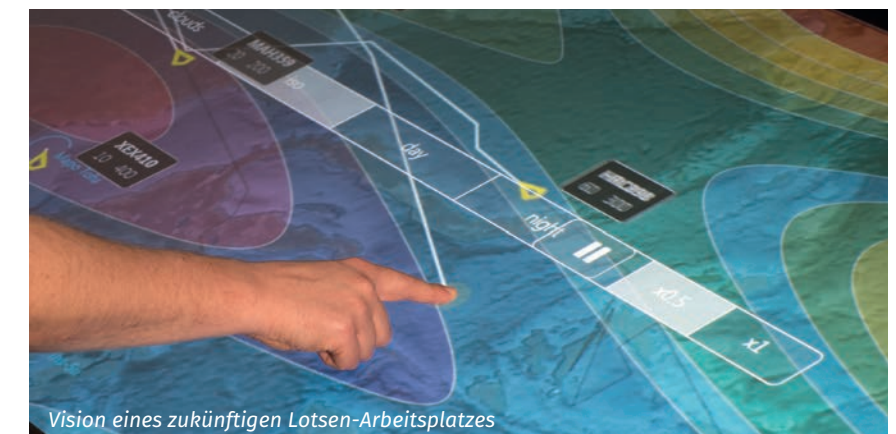
An den Flughäfen wird ein wichtiger Schritt die Einführung des triebwerkslosen Bodenbetriebs sein. Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen werden am Boden mithilfe von Elektromotoren auf der Radachse zum Terminal oder zur Startbahn rollen. Die weitere Energie am Boden wird emissionsarm oder -frei durch Brennstoffzellenaggregate oder das Flughafennetz zur Verfügung gestellt. Neben positiven Effekten für die Luftqualität wird auch die Lärmbelastung am Flughafen durch den „electric Airport“ deutlich reduziert.

IN KÜRZE

Die 25.000 Flüge in Europa pro Tag werden durch intelligentes Luftverkehrsmanagement optimiert: Mehr Sicherheit bei gleichzeitiger Senkung von Verbrauch, Emissionen und Verspätungen.

Unbemannte Luftfahrtsysteme müssen in das Luftverkehrsmanagement integriert werden.

Big Data führt zu vorausschauender Wartung und zahlreichen Optimierungen im Betrieb.



Vision eines zukünftigen Lotsen-Arbeitsplatzes



Unbemannt fliegende Systeme werden in den kontrollierten Luftraum integriert



Virtuelle Realität im Einsatz für die Flugzeugwartung

WARTUNG, REPARATUR UND INSTANDHALTUNG

Im Bereich Wartung, Reparatur und Instandhaltung werden mit Nachdruck neue Produkte, Leistungen, Reparaturtechniken und Simulations- und Prognosetools entwickelt. Dabei ist das Ziel stets, den Flugbetrieb zu optimieren und den Aufwand zu reduzieren.

Durch fortschreitende Digitalisierung und steigende Anzahl von Sensoren in Flugzeugen und Triebwerken steigt die Menge verfügbarer Daten stetig an. Um diese umfangreich nutzbar zu machen, auszuwerten und schließlich Maßnahmen abzuleiten, werden Big Data Analysen und Algorithmen zum Einsatz kommen. Dadurch wird eine dynamische Wartungssteuerung ermöglicht und die Instandhaltung optimiert. So werden schon während des Flugs zunehmend Daten an den Boden übermittelt, so dass z.B. eine Reparatur besser organisiert werden kann, bevor das Flugzeug überhaupt gelandet ist. Flugausfälle und Verspätungen werden reduziert, und Fluggesellschaften und Passagiere profitieren gleichermaßen.

TECHNOLOGIESEGMENTE

ZIVILES UNBEMANNTES FLIEGEN

Das unbemannte Fliegen hat Auftrieb. Der verbesserte rechtliche Rahmen erhöht die Sicherheit und ermöglicht nun auch den Einsatz von schwereren Luftfahrzeugen bei niedrigeren Kosten. Dadurch wird die gewerbliche Nutzung von führerlosen Personentransportdiensten im städtischen Bereich grundsätzlich möglich. Kostengünstige, flexible und effiziente Angebote entlasten bestehende Transportsysteme und schaffen eine breite Akzeptanz für innovative Ansätze. Mit der Umsetzung ist bereits in einigen Jahren zu rechnen.

URBAN AIR MOBILITY: AUFSTIEG IN DIE DRITTE DIMENSION

In den letzten Jahren hat die Entwicklung von autonom gesteuerten Personentransportdiensten große Fortschritte gemacht. Die rechtlichen Anforderungen an den Flugbetrieb und das Personal wurden deutlich vereinfacht. Das hat vor allem Auswirkungen auf höhere Gewichtsklassen in der unbemannten Luftfahrt. Durch die fortschreitende Urbanisierung weltweit sind neue Mobilitätskonzepte dringend vonnöten. Ein neuartiger innerstädtischer Lufttransport („Urban Air Mobility“) kann bestehende Transportsysteme entlasten und so beispielsweise Flughäfen mit Innenstädten verbinden. Innovative Konzepte können als Senkrechtstarter von Hochhausdächern abheben und sich effizient in bestehende Systeme einpassen. Dank eines voll-elektrischen Antriebs werden Lärmemissionen und Umweltbelastung gesenkt. Bei Geschwindigkeiten von bis zu 120 km/h und einer Flugstrecke von 30-50 km wird der Fluglärm auf ein Minimum reduziert. Geringe Ticketpreise für die Passagiere erhöhen die Wettbewerbsfähigkeit und die Akzeptanz dieser neuartigen Fluggeräte.

KOORDINIERUNG UND INFRASTRUKTUR

Ein hoher Automatisierungsgrad zur maximalen Unterstützung der Piloten gewährleistet ein Höchstmaß an Flugsicherheit. Ein nächster Schritt wäre ein vollständig autonomer Flugverkehr. In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von Operateuren am Boden denkbar, welche bis zu zehn Fluggeräte zentral steuern. Eine ausreichende Versorgung mit elektrischen Ladesäulen und Bodengeräten für mögliche Batteriewechsel ist essentiell. Um diese innovativen Flugkonzepte wettbewerbsfähig zu machen, könnten Passagiere wie bei Taxifahrten ihre Reise bequem mit dem Smartphone buchen.

SICHERHEIT WIRD ERHÖHT

Automatisierung erhöht die Sicherheit im Luftverkehr. So ist es etwa durch neue und hochintegrierte Avionik möglich, zusätzliche und komplexere Funktionen in die Flugsteuerung und die Führungssysteme zu integrieren. Ermöglicht wird dies zukünftig durch ein „Verkehrsleitsystem für den unbemannten Luftverkehr“ (Unmanned Traffic Management – UTM). Mittelfristig ist die

Integration in das bestehende Luftverkehrsmanagement unumgänglich, um einen effizienten und sicheren Verkehr bemannter und unbemannter Systeme zu garantieren. Angesichts der Verkehrssituation im Luftraum ist die Einführung eines nationalen Drohnenregisters erforderlich, um Drohnen identifizierbar zu machen. Die zentrale Anmeldung von Piloten, Betreibern und Fluggeräten ist unentbehrlich, um einen reibungslosen und sicheren Verkehr zu gewährleisten.

DROHNENABWEHR

Kritische Infrastruktur und besondere Gefährdungsstellen benötigen Systeme zur Drohnenabwehr. Dazu gehören Fußballstadien, Gefängnisse und Flughäfen. Drohnerkennungssysteme sind hier von grundlegender Bedeutung. Frequenz- oder GPS-Störung, Fangnetze, Wasser oder Projektile könnten zur Abwehr eingesetzt werden. In diesem Bereich ist auch die Weiterentwicklung von anderen Drohnen als Detektoren von großer Bedeutung.

IN KÜRZE

Die unbemannte zivile Luftfahrt entwickelt sich dank rechtlicher Vereinfachungen rasant.

Urban Air Mobility entlastet bestehende Transportsysteme bei höchster Flugsicherheit und minimalen Emissionen. Zukünftig können diese Konzepte vollkommen autonom fliegen.

Sichere Einbindung in den bestehenden Luftverkehr, effektive Drohnenabwehr sowie die Registrierung von Drohnen und Haltern sind erforderlich, um einen sicheren Flugverkehr zu gewährleisten.



Autonom und elektrisch: städtischer Luftverkehr mit dem CityAirbus



Der ESG UMAT Helikopter fliegt unbemannte Einsätze



Die zivile Hightech-Drohne AscTec Falcon 8 wird zur Inspektion eingesetzt

TECHNOLOGIESEGMENTE

HYBRID-ELEKTRISCHES FLIEGEN

Fliegen mit einem hohen Wirkungsgrad und stark reduzierten Emissionen. Was nach Utopie klingt, wird bereits entwickelt. Erste Erfolge im Bereich des elektrischen und hybrid-elektrischen Fliegens untermauern das Potenzial dieser innovativen Technologie, die derzeit besonders in kleineren Flugzeugen und Hubschraubern erprobt wird. Vor allem die Integration des Antriebs in die Flügel oder an das Rumpfende spielt dabei zukünftig eine wichtige Rolle.

VOLL-ELEKTRISCHES FLIEGEN

Fliegen mit Hilfe von Batterien – ohne Emissionen und ohne große Energieverluste. Die Entwicklung voll-elektrischer Antriebe kommt Klima, Fluggästen und Flughafenwohnern gleichermaßen zugute. Noch liegt die flächendeckende Einführung dieser Technologie in der Zukunft, da bisherige Batterien die notwendigen Speicherkapazitäten nicht erreichen. Allerdings konnten in Schlüsselbereichen wie der Energie- und Leistungsdichte sowie der Betriebskosten bereits maßgebliche Fortschritte erzielt werden. Somit schreitet die Entwicklung schnell voran, und erste Konzepte befinden sich bereits in der Umsetzung. Regionalverbindungen mit kleineren Flugzeugen sowie Anwendungen im Bereich der *Urban Air Mobility* sind hierfür prädestiniert. Insbesondere Hubschrauber mit kurzen, spezialisierten Missionen könnten von diesen neuen Konzepten profitieren.

HYBRID-ELEKTRISCHE ANTRIEBE

Große Fortschritte konnten in den vergangenen Jahren im Bereich der hybrid-elektrischen Antriebe verzeichnet werden. Hier werden Leistungserzeuger wie Kolbenmotoren, Gasturbinen, Brennstoffzellen oder Batterien im Rumpf integriert und mit elektrisch angetriebenen Gebläsen oder

Propellern kombiniert. Das ermöglicht hohe Leistungen und verbesserte Reichweiten. Durch den Einsatz zusätzlicher Batterien können besondere Belastungen, etwa beim Start, gemeistert werden. Ein Erfolgsbeispiel ist die HY4 – ein Flugzeug für vier Personen, das erfolgreich demonstriert hat, wie ein Brennstoffzellen-Hybridantrieb funktionieren kann. Als einziges Abfallprodukt entsteht dabei Wasser. Für größere Flugzeuge und den damit verbundenen Energiebedarf gewinnen andere Konzepte an Relevanz. Hier bieten sich beispielsweise Elektromotoren mit Hochtemperatursupraleitung an, die nahezu verlustfrei arbeiten und das Leistungsgewicht von Gasturbinen erreichen. Die Verlagerung des Gebläses in den Rumpf ist eine vielversprechende erste Anwendung für hybrid-elektrische Antriebe bei Großflugzeugen.

HERAUSFORDERUNGEN UND VORTEILE

Zentrale Herausforderungen dieser Systeme sind Gewicht, Kosten und Komplexität. Durch den Einsatz dieser Systeme sind außerdem elektrische und thermische Auswirkungen zu beachten. Positiv zu verzeichnen ist der kontinuierlich optimale Betrieb der Hauptenergiequelle, der für niedrigen Verbrauch im Reiseflug sorgt. Eine wesentliche

Verbesserung ergibt sich zudem aus den zusätzlich gewonnenen Freiheitsgraden im Flugzeugentwurf. Durch das Einsetzen der Antriebe in die Grenzschicht des Flugzeugs vermindert sich der Widerstand und kann der Auftrieb begünstigt werden. Prinzipiell lassen sich somit hochkomplexe Systeme wie Senkrechtstarter, schwenkbare Antriebe und seitliche Steuerungen vereinfachen. Dies hilft bei der Verringerung des Gesamtgewichts des Flugzeugs. Außerdem erhöhen dezentrale Propeller die Bodenfreiheit und damit die Sicherheit. Zudem wird der Lärm durch mehrere kleine Motoren verringert.

AUSBLICK

Hybrid-elektrische Flugzeuge sind hochkomplex und bedürfen vollkommen neuer Flugzeugsysteme. Während elektrische Antriebe bereits an kleineren Flugzeugen und Drehflüglern erprobt werden, sind für größere Flugzeuge wie den Airbus A320 hybride Konzepte vonnöten. Mittelfristig sind diese für Regionalflugzeuge zu erwarten, welche sich dann auf größere Flugzeugklassen übertragen lassen. Die Elektrifizierung des Fliegens könnte dabei zu völlig neuen Flugzeugkonzepten und -konfigurationen führen – eine einmalige Chance, das Fliegen neu zu denken.

IN KÜRZE

Voll-elektrische und hybrid-elektrische Antriebe ermöglichen in Zukunft emissionsarmes Fliegen bei hohem Wirkungsgrad.

Neuartige Antriebe werden bereits in Kleinflugzeugen und Drehflüglern erprobt.

Das Flugzeug verändert sich grundlegend. Antriebe im Flügel und am Rumpfende, dezentrale Propeller und der Einsatz von elektrischen Gebläsen sorgen für weniger Gewicht und geringere Luftwiderstände.



Airbus, Rolls-Royce und Siemens entwickeln den hybrid-elektrischen E-Fan X



Durch die Verlagerung des Gebläses in den Rumpf wird die Effizienz erhöht

MEHR ALS ZWEI DEKADEN INVESTITION IN FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE

Von 1995 bis 2016 hat die deutsche Luft- und Raumfahrtindustrie ca. 70 Milliarden Euro in Forschung und Entwicklung investiert. Der überwiegende Teil davon entfällt auf Maßnahmen, die Umwelt- und Klimaschutz zugutekommen.



Quelle: BDLI

HERAUSGEBER:

Bundesverband der Deutschen
Luft- und Raumfahrtindustrie e.V.
ATRIUM | Friedrichstraße 60
10117 Berlin
Tel.: +49 30 206140-0
Fax: +49 30 206140-90
E-Mail: kontakt@bdli.de
www.bdli.de

April 2018

BILDNACHWEIS:

Airbus
Airbus, P. Gallina
Airbus Group
Airbus Defence and Space
Airbus Deutschland
Bauhaus Luftfahrt e.V.
BDLI e.V.
DFS
DLR
ESG ELEKTRONIKSYSTEM- UND
LOGISTIK-GMBH
Liebherr-Aerospace
Lufthansa Technik
MTU Aero Engines
Premium Aerotec
Rolls-Royce

Unsere Industrie steht an der Spitze der Innovationspyramide, denn nirgendwo sind die Ansprüche an Technologie so hoch wie in der Luft und im All. Doch wie können wir die Emissionen des Luftverkehrs weiter drastisch senken? Wie können wir Fliegen noch sicherer machen? Wie lässt sich Lärm nochmals deutlich reduzieren? Und nicht zuletzt: Wie können wir durch Weltklasse-Produkte „Made in Germany“ die Zukunftsfähigkeit unserer Luft- und Raumfahrtindustrie im Zeitalter von Digitalisierung und Industrie 4.0 stärken und dabei ihre über 100.000 High-tech-Arbeitsplätze sichern und ausbauen? Mit dieser Technologiestrategie gibt die deutsche Luftfahrtindustrie Antworten auf die zentralen Fragen der kommenden Jahrzehnte.

**Bundesverband der Deutschen
Luft- und Raumfahrtindustrie e. V.**
German Aerospace Industries Association

ATRIUM
Friedrichstraße 60
10117 Berlin

Tel.: +49 30 206140-0
Fax: +49 30 206140-90
E-Mail: kontakt@bdli.de

www.bdli.de