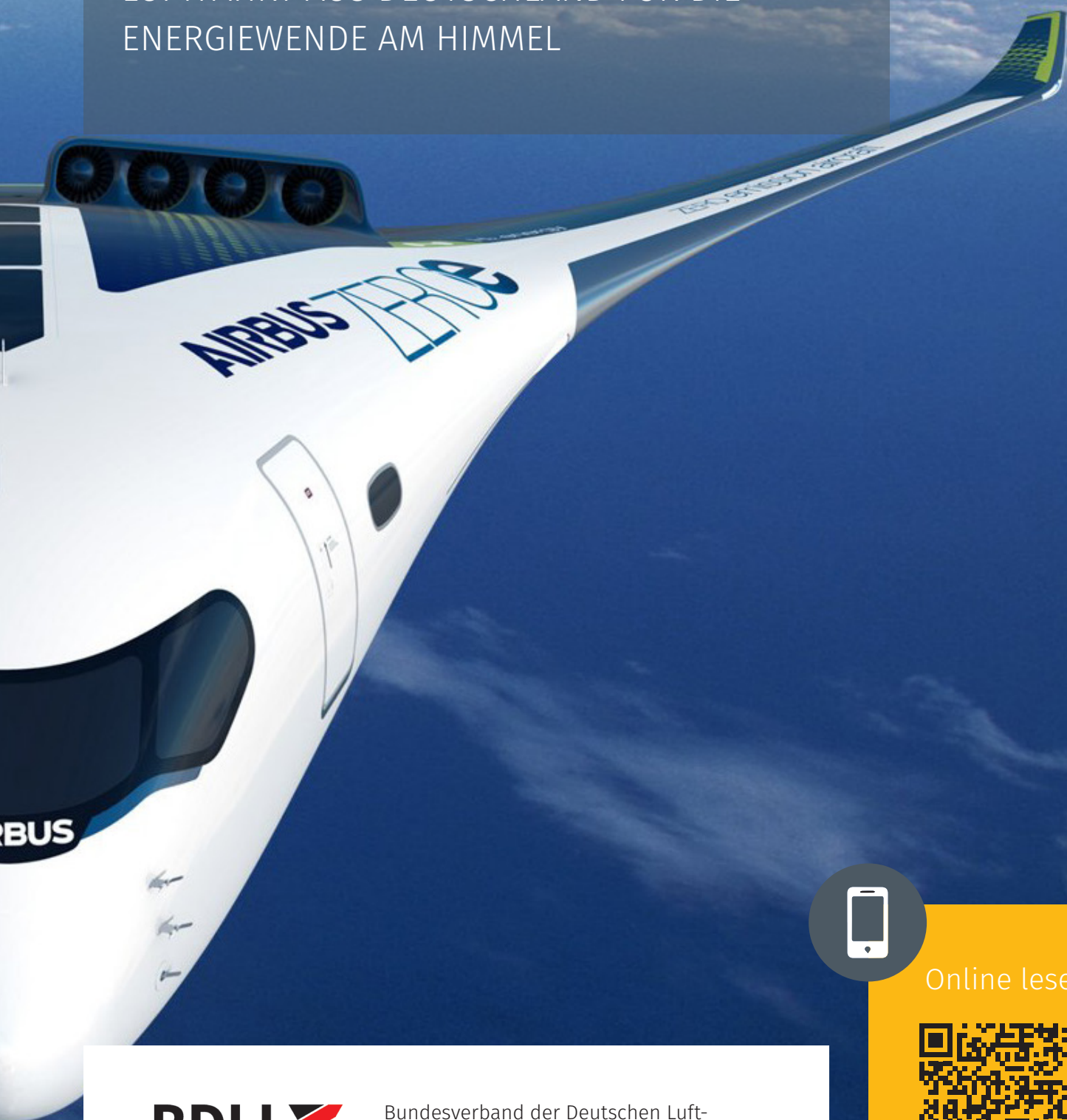


TECHNOLOGIESTRATEGIE DER DEUTSCHEN LUFTFAHRTINDUSTRIE
(AKTUALISIERTE UND ERWEITERTE AUSGABE 2020)

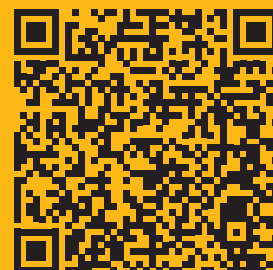
NACHHALTIGE UND KLIMANEUTRALE LUFTFAHRT AUS DEUTSCHLAND FÜR DIE ENERGIEWENDE AM HIMMEL



Online lesen



Bundesverband der Deutschen Luft-
und Raumfahrtindustrie e. V. (BDLI)



INHALTSVERZEICHNIS

Change is Now: Auf dem Weg zum klimaneutralen Fliegen	3
Executive Summary: Hochtechnologie aus Deutschland für das Flugzeug der Zukunft	4
Klimaneutraler und effizienter Flug	6
Luftfahrzeug & Energieträger	6
Antriebe	8
Systeme	10
Kabine und Fracht	12
Der Weg zum klimaneutralen Fliegen	14
Klimaneutraler und effizienter Flug – Flugführung	16
Unbemanntes Fliegen	18
Produktion – vernetzt und digital	20
Betrieb – operationelle Effizienz in der Luft und am Boden	22
Cybersicherheit	24
Digitalisierung und Querschnittstechnologien	26

CHANGE IS NOW: AUF DEM WEG ZUM KLIMANEUTRALEN FLIEGEN



Die zivile Luftfahrtindustrie steht vor zwei nie dagewesenen Herausforderungen.

Erstens hat die Corona-Pandemie die wirtschaftlich schwerste Krise unserer Branche ausgelöst. Der Zusammenbruch des weltweiten Luftverkehrs bedingt auch eine dramatische Situation für die Zulieferkette, die in der gesamten Bundesrepublik beheimatet ist. Wir müssen diese strategische Industrie retten und unsere Schlüsselindustrie stärken.

Zweitens steht die Luftfahrt an der Schwelle zum klimaneutralen Fliegen.

Wir haben uns ambitionierte Ziele gesetzt: Ab diesem Jahr soll der internationale Luftverkehr unter dem CORSIA-System der UN nur noch klimaneutral wachsen. Bis 2050 werden wir klimaneutral fliegen. Darum zielen seit langem bis zu 90% unserer Investitionen in Forschung und Entwicklung unmittelbar auf die Senkung von Emissionen ab. Seit dem Beginn des Jet-Zeitalters wurden die CO2- und Lärmemissionen pro Passagierkilometer bereits um 80% gesenkt.

Fliegen verbindet Menschen, Kulturen und Länder. Gerade für Exportnationen wie Deutschland sind Verbindungen in alle Welt kein Luxus, sondern überlebenswichtig. Nicht das Fliegen ist also das Problem – im Gegenteil: Unsere Welt und wir alle wären ärmer ohne die Möglichkeiten, die es bietet. Das Problem sind die Emissionen, die der zukünftig wieder wachsende Luftverkehr trotz hocheffizienter 2-Liter-Flugzeuge verursacht.

Wir stehen nun am Beginn einer Transformation des Luftfahrtsystems. Wir brauchen alle Beteiligten, die Hersteller, Fluggesellschaften, Flughäfen,

Behörden und ganz besonders die Forschung und die Politik, um diese Jahrhundertaufgabe zu stemmen. Das klimaneutrale Fliegen ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe.

Auf den folgenden Seiten möchten wir Ihnen zeigen, wie wir auf Basis dieser neuen „Technologiestrategie der Deutschen Luftfahrtindustrie“ diese gesellschaftlichen Ziele erreichen und gleichzeitig unternehmerisch erfolgreich sein wollen – von disruptiven Antriebskonzepten über Quantentechnologien und Cybersicherheit: All dies macht das Fliegen noch effizienter, sicherer und nachhaltiger, wird jedoch erhebliche Anstrengungen erfordern. Machen wir uns gemeinsam an die Arbeit und lassen Sie uns in eine erfolgreiche und nachhaltige Zukunft starten.

Ihr

Dirk Hoke
Präsident BDLI e.V.

EXECUTIVE SUMMARY:
HOCHTECHNOLOGIE AUS DEUTSCHLAND
FÜR DAS FLUGZEUG DER ZUKUNFT

DER NÄCHSTE SINGLE-AISLE SOLL
KLIMA-NEUTRAL SEIN

Unser Ziel ist klar: Wir wollen bis 2035 ein emissionsfreies Verkehrsflugzeug auf den Markt bringen. Regenerativer Wasserstoff für den Antrieb gilt hierbei als einer der vielversprechendsten Wege. Wasserstoff, der aus Wind- und Sonnenenergie hergestellt wird, hat die besten Aussichten für den Antrieb von Flugzeugen mit bis zu 200 Passagieren. Dies betrifft insbesondere die Anwendung in Turbofan-Triebwerken oder in Brennstoffzellen, die elektrischen Strom erzeugen.

Die Luftfahrtindustrie steht in den 2020er Jahren vor weitreichenden Technologie-Entscheidungen. Trotz erheblicher kommerzieller Herausforderungen durch die Covid-19-Pandemie investiert die deutsche Industrie nach wie vor massiv in die Energiewende in der Luftfahrt. Nur so wird Luftfahrt-Hochtechnologie aus Deutschland auch zukünftig die Erfolgsserie des Airbus-Single-Aisle anführen können und maßgeblich für Zulieferungen in anderen marktrelevanten Flugzeugprogrammen gefragt sein. Insbesondere das Luftfahrtforschungsprogramm (Lufo) der Bundesregierung leistet auf diesem Weg einen unverzichtbaren Beitrag.

KLIMA-NEUTRALITÄT WIRD ZUR
PRIORITÄT

Seit 2020 wächst die Luftfahrt als erste Branche überhaupt CO2-neutral. Dieser Erfolg beruht auf internationalem Emissionshandel,

CO2-Kompensationsmaßnahmen und kontinuierlicher Flottenerneuerung mit modernen, öko-effizienten Flugzeugen. Die Luftfahrt hat sich selbst ein weitreichendes und ambitioniertes Ziel gesetzt: Den komplett klimaneutralen Luftverkehr bis 2050 zu ermöglichen.

Der Schlüssel hierzu liegt in der Umstellung der Antriebsenergie von fossilen auf erneuerbare Energieträger – einer Energiewende in der Luftfahrt.

DER ENERGIETRÄGER PRÄGT DAS
LUFTFAHRZEUG

Dem Energieträger kommt in der Luftfahrt eine außerordentliche Bedeutung zu. Der Energiebedarf ist im Luftverkehr extrem hoch. Zugleich steht die mitzuführende Antriebsenergie wegen ihres eigenen Volumens und Gewichts mit der Nutzlast des Flugzeugs in Konkurrenz. Aufgrund des hohen Energiegehaltes bezogen auf sein Transportgewicht und -volumen hat sich fossiles Kerosin als hochspezialisierter, sicherer und günstiger Energieträger weltweit in der kommerziellen Luftfahrt etabliert. Heute treibt Kerosin alle relevanten Flugzeugkonfigurationen im Kurz-, Mittel- und Langstreckenverkehr an.

Für den Weg in die klimaneutrale Luftfahrt stehen heute nachhaltig synthetisch-erzeugtes Kerosin (SAF), in Batterien gespeicherte Energie und grüner Wasserstoff in flüssiger oder gasförmiger Form in der Diskussion. Unter heutigen Bedingungen ist jeder dieser Energieträger im Vergleich zu fossilem Kerosin im wirtschaftlichen Nachteil.

Nur die intelligente Kombination der jeweiligen Eigenschaften des nachhaltigen Energieträgers mit allen Disziplinen des Flugzeugentwurfs und der Antriebstechnologien eröffnet den Weg zu machbaren Flugzeugkonfigurationen, die zukünftig klimaneutral und wirtschaftlich sind. Dies erfordert komplett neue Ansätze, ein verändertes Design der Luftfahrzeuge und beeinflusst alle Komponenten des Luftverkehrssystems, inklusive der Infrastruktur.

FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE
ERMÖGLICHEN KLIMANEUTRALE
FLUGZEUGE

Die Umstellung von fossilen auf regenerative Energieträger führt bei den Fluggesellschaften zu einem Anstieg der Betriebskosten, wenn man die heute entstehenden Umweltkosten in der Gesamtsicht nicht berücksichtigt. Das liegt am hohen Preis der nachhaltigen Luftfahrtbrennstoffe oder am erhöhten Flugzeuggewicht oder am Volumen des Energieträgers. Daher sind massive Investitionen in Forschung und Technologie erforderlich. Dies betrifft nicht nur das Antriebssystem inklusive Energiespeicher. Auch klassische Technologien des Flugzeugbaus wie die Aerodynamik, Flugzeugsysteme, Kabine und Fracht, Flugführung und Flugregelung müssen weiter vorangetrieben werden. Insbesondere dem radikalen Systemleichtbau kommt eine zentrale Rolle zu. Außerdem werden Digitalisierung und Querschnittstechnologien wie Quantentechnologien und Künstliche Intelligenz wichtige Wegbereiter für das klimaneutrale Fliegen sein.

INNOVATION IM 21. JAHRHUNDERT
BEDEUTET ÖKO-EFFIZIENZ UND
ZUKUNFTSSICHERUNG

Zwischen wirtschaftlichem Erfolg und sauberem Fliegen besteht kein Widerspruch. Im Gegenteil: Auf dem Weltmarkt hat Erfolg, wer Flugzeuge, Triebwerke, Systeme und Ausrüstungen anbietet, die leiser, sicherer, sauberer und komfortabler sind als die Vorgängermodelle. Mit dem Ziel des klimaneutralen Fliegens wird die deutsche Luftfahrtindustrie ihre Forschungsanstrengungen radikaler voranbringen als je zuvor. Die Corona-Krise und ihre extremen Auswirkungen auf die Luftfahrtindustrie bieten eine Chance, die Modernisierung der Flotten voranzutreiben und der Transformation zur Energiewende in der Luftfahrt den Weg zu bereiten.

Es kommt heute darauf an, die klimaschonenden Technologien vorzubereiten, die ein zukünftiges Wachstum im Luftverkehr ohne Schädigung der Umwelt ermöglichen.

VIER MASSNAHMEN ZUR
KLIMANEUTRALITÄT

1. Kontinuierliche Flottenerneuerung mit öko-effizienten Flugzeugen und Optimierung des Luftverkehrsmanagements für minimale Emissionen.
2. Stärkung und Industrialisierung vorhandener Technologien zur Herstellung von *Sustainable Aviation Fuels (SAF)* und schrittweise Erhöhung der Beimischung zu fossilem Kerosin sowie Erhöhung der Investitionen in Forschung und Entwicklung (F&E), vor allem für synthetisches Kerosin.
3. F&E-Investition in neue Flugzeugkonfigurationen und -antriebe
 - a. Regionalflugzeug – vollelektrisches Fliegen
 - b. Mittelstrecke – neuartige Triebwerke oder hybrid-elektrisches Fliegen mit SAF, Wasserstoff-Brennstoffzelle oder mittels direkter Wasserstoff-

- Verbrennung
- c. Langstrecke – Turbofan oder neuartige Triebwerke mit SAF oder Wasserstoff
 4. Kompensation verbleibender Emissionen



ZEROe – die Nullemissionen-Konzeptflugzeuge von Airbus werden mit Wasserstoff angetrieben

KLIMANEUTRALER UND EFFIZIENTER FLUG – LUFTFAHRZEUG & ENERGIETRÄGER

NACHHALTIGE BRENNSTOFFE HEBEN AB

Sogenannte *Sustainable Aviation Fuels (SAF)* können die Emissionen der Luftfahrt erheblich senken. Es gibt drei Varianten dieser Brennstoffe, die gemeinsam das höchste Potential zur Reduktion der Klimawirkung des Luftverkehrs haben.

Erstens: *alternative Drop-in-Brennstoffe*, die fossilem Kerosin beigemischt werden und schon heute ohne technischen Umbau eingesetzt werden können.

Zweitens: *Near-Drop-In-Brennstoffe*, wie Synthetisches Paraffinisches Kerosin, das weitere Klimaeffekte reduzieren kann, allerdings technische Modifikationen an Flugzeug und Infrastruktur notwendig macht.

Drittens: *Non-Drop-In-Brennstoffe*, wie kryogener oder gasförmiger Wasserstoff, die allerdings erhebliche Weiterentwicklungen von Flugzeug, Antrieb und Infrastruktur erfordern. Wasserstoff hat ein vielversprechendes Potential für den Einsatz in Brennstoffzellen, Gasturbinen oder hybriden Lösungen. Aufgrund des vergleichsweise hohen Preises dieser drei SAF ist die Nutzung in der nahen Zukunft nur durch politische Unterstützung ihrer Industrialisierung und durch feste Regularien, also gesetzliche Mindestvorgaben, erreichbar.

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 vollkommen neuer Flugzeuggenerationen, insbesondere mit Blick auf die bevorstehende Energiewende in der Luftfahrt. 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

Elektrische und hybride Antriebskonzepte sowie Antriebe basierend auf Wasserstoff als Energieträger definieren neue Anforderungen für das Design von Luftfahrzeugen. 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 erfordern Konfigurationen, bei welchen sich der Antrieb in den Gesamtflugzeugentwurf integriert. In einem Konzept der verteilten Antriebe könnten diese zusätzlich zum Vortrieb auch aerodynamische Effekte erzeugen, die den Luftwiderstand des Flugzeuges mindern, Steuerflächen teilweise ersetzen sowie die Auftriebserzeugung aktiv unterstützen. In anderen Konzepten ermöglichen verteilte elektrische Antriebe neuartige kosteneffektive Hubschrauberkonfigurationen. Mittelfristig gesehen gibt es allerdings zur Gasturbine als primärem Antrieb von großen 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 Oberflächenbeschaffenheit des Luftfahrzeuges wird insbesondere die Strömungskontrolle die Aerodynamik des Flugzeuges nochmals erheblich verbessern. Erreicht werden soll ein möglichst gleichmäßiger Verlauf der direkt anliegenden Umströmung des Luftfahrzeuges (Laminarität). Mit der verbesserten Aerodynamik wird durch die erzielte Senkung des Luftwiderstandes weniger Antriebsleistung benötigt und gleichzeitig weniger Lärm generiert. Daraus resultiert auch ein niedrigerer Brennstoffverbrauch sowie eine Gewichtseinsparung. Ein Paradebeispiel bereits gelungener Umsetzung von Erkenntnissen aus aerodynamischer Forschung und

Entwicklung in die Praxis ist die Einführung von nach oben gebogenen Flügeln (Sharklets) beim Bestseller Airbus A320. Die Vorteile: bis zu 4% Kerosineinsparung und eine Erhöhung der Reichweite.

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.

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

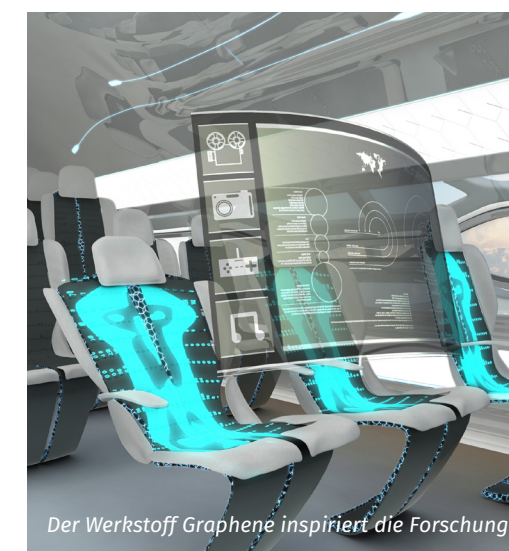
IN KÜRZE

Nachhaltige alternative Brennstoffe können bereits heute die Flugzeug-Emissionen wirksam reduzieren und bilden die entscheidende Grundlage für zukünftige Klimaneutralität in der Luftfahrt.

Elektrische und hybride Antriebskonzepte definieren neue Anforderungen für das Design von Luftfahrzeugen.

High-Tech-Werkstoffe der Zukunft sind der Schlüssel zu neuen Bauweisen, revolutionären Flugzeugkonzepten und Kreislaufwirtschaft in der Luftfahrt.

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



KLIMANEUTRALER UND EFFIZIENTER FLUG – ANTRIEBE

Seit Beginn des Jet-Zeitalters konnte der Brennstoffverbrauch pro Passagierkilometer um 80% und die Lärmemissionen um 75% reduziert werden. Die unerwünschte Erzeugung von Wärme und Lärm im Triebwerk konnte stark gesenkt 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, wobei die zukünftige Umstellung des Energieträgers auf regenerative Quellen besondere Herausforderungen für die Integration des Antriebs in den gesamten Flugzeugentwurf hervorruft.

WEITERENTWICKLUNG DER TRIEBWERKE

Die Triebwerkstechnologien von heute besitzen noch erhebliches Potential zur Weiterentwicklung. Ein großer Fortschritt konnte mit dem Getriebefan-Triebwerk erreicht werden. Die Neuerung besteht darin, dass die beiden Komponenten Fan und Niederdruckturbine durch ein Getriebe miteinander verbunden sind und sich so der große Fan langsamer und die Niederdruckturbine schneller drehen kann. Dies kann den Brennstoffverbrauch um bis zu 36% gegenüber einem Triebwerk aus dem Jahr 2000 reduzieren. Mit dem Ultrafan wird der Generationswechsel zum Getriebefan auch bei Langstreckenflugzeugen eingeleitet. Wesentlich für den Erfolg sind neue Hochtemperatur-Leichtbau-Werkstoffe, innovative Verfahren wie die additive Fertigung sowie durchgängige Design- und Simulationsverfahren für die gesamte Kette vom Entwurf über die Werkstoffher-

stellung und Fertigung bis zur Produktnutzung. Das Getriebefan-Triebwerk wird für die nächsten Jahrzehnte den Standardantrieb für die kommerzielle Luftfahrt bilden und in Kombination mit nachhaltigen Brennstoffen (SAF) die Energiewende in der Luftfahrt einleiten.

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 Temperaturen in der Brennkammer und Druckverhältnisse kontinuierlich verbessert. Mit den heute verfügbaren Materialien und Kühlverfahren zeichnen sich allerdings Grenzen ab, die sich nur sehr schwer überwinden lassen. Neue Arbeitsprozesse in Triebwerken bieten dagegen ein deutliches Verbesserungspotential. Hier eröffnet sich ein weites Feld für die Grundlagenforschung an Universitäten und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), deren Ergebnisse zweistellige Effizienzsteigerungen bedeuten könnten. Besonders vielversprechend ist der Water-Enhanced Turbofan (WET), der höchste thermische Wirkungsgrade erreicht. Durch eine deutliche Reduktion der Stickoxidemissionen und von Kondensstreifen-Bildung ermöglicht er einen großen Schritt in Richtung klimaneutralen Fliegens.

REVOLUTIONÄRE ANTRIEBSKONZEPTE

Elektrisches Fliegen mit Batterie verursacht keine Emissionen im Flug, zeichnet sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus und ermöglicht es, viel Energie in kurzer Zeit abzugeben. Jedoch steht die Luftfahrtindustrie bei der Elektrifizierung des Antriebs vor deutlich größeren Herausforderungen als der bodengebundene Verkehr. Insbesondere die Anforderungen an Leistungsgewicht des Antriebs und Energiedichte des Energieträgers sind um ein Vielfaches größer. Heutige Batterien sind 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 herkömmlichen Brennstoffen. In den nächsten Jahren wird – getrieben durch Verbesserungen der Batteriekapazität – das elektrische Fliegen aus dem Bereich der Motorsegler, Flugtaxi und Kleinflugzeuge bis in den Bereich kleiner Regionalflugzeuge vordringen. Während konventionelle Elektromotoren für Kleinflugzeuge ausreichen, müssen für größere Passagierflugzeuge Elektromotoren mit Hochtemperatur-Supraleitung 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, einfachere Integration in das 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.

Für die Umwandlung chemischer in elektrische Energie an Bord von Flugzeugen kommt der Brennstoffzelle eine hervorzuhebende Bedeutung zu. Die jüngsten Fortschritte bei Leistungsgewicht und Lebensdauer machen sie auch für Luftfahrtantriebe interessant. Vor allem die sogenannte Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEMFC) mit Wasserstoff als Brennstoff hat langfristig das Potential, ausreichende Leistung und Reichweite für die kommerzielle Luftfahrt bereitzustellen. Dies befindet sich aktuell noch im Forschungsstadium.

IN KÜRZE

Heutige Triebwerke bieten weiterhin erhebliches Entwicklungspotential und leiten in Kombination mit nachhaltigen Brennstoffen (SAF) die Energiewende in der Luftfahrt ein.

Die neuesten Triebwerksgenerationen können den Brennstoffverbrauch um bis zu 36% gegenüber einem Triebwerk aus dem Jahr 2000 reduzieren.

Mit neuen Arbeitsprozessen in Triebwerken werden weitere Effizienzsteigerungen und klimaschonendes Fliegen möglich.

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

Die Wasserstoff-Brennstoffzelle hat besonderes Potenzial für den Einsatz im hybrid-elektrischen Flugzeug und trägt langfristig zum klimaneutralen Fliegen bei.



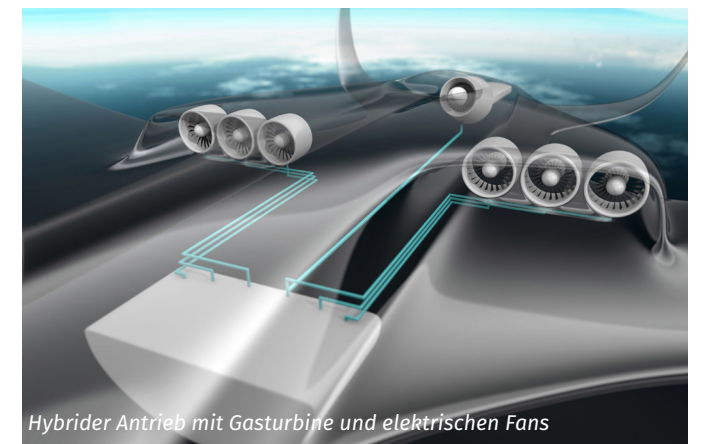
Der Elektro-Flieger HY4 mit hybriden Antrieb



Triebwerksbauteile sind das Ergebnis mathematisch hochkomplexer 3D-Geometrien



Treibstoffeffizienz mit dem Triebwerk Trent XWB



Hybrider Antrieb mit Gasturbine und elektrischen Fans

KLIMANEUTRALER UND EFFIZIENTER FLUG – SYSTEME

Sämtliche Systeme an Bord heutiger Luftfahrzeuge beziehen ihre Energieversorgung von den Triebwerken. Bei der Entwicklung vom „More Electric Aircraft“ zum „All Electric Aircraft“ werden langfristig 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.

„ALL ELECTRIC“ 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. Dies erfordert zudem die Integration von bordseitigen Lösungen in das Fahrwerk.

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 sowie Brennstoffverbrauch und Emissionen deutlich senkt.

Bis in die 1990er Jahre wurde jedes einzelne Flugzeugsystem einzeln überwacht und geregelt. Heute werden hauptsächlich flexible und integrierende Computerplattformen eingesetzt. Da die Zahl der Systeme und Funktionen stetig zunimmt, wird sich dieser Trend weiter fortsetzen. Ziel ist, sämtliche Anwendungen auf solch generischen Plattformen zu implementieren. 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 Erzeugung des Luftdrucks in der Kabine sowie deren Klimatisierung. Diese Funktionalitäten sind im Flugzeug lebensnotwendig und beeinflussen darüber hinaus das Wohlbefinden der Passagiere.

Die auf Triebwerkszapfluft gestützte Klimaanlage ist ein großer Energieverbraucher. Eine Lösung zu finden, die Zapfluft als Energiequelle durch Elektrizität ersetzt, ohne dabei das Systemgewicht signifikant zu erhöhen, ist zur Priorität geworden.

VERBESSERTES ZUSAMMENSPIEL ZWISCHEN PILOTEN, FLUGZEUG UND BODEN

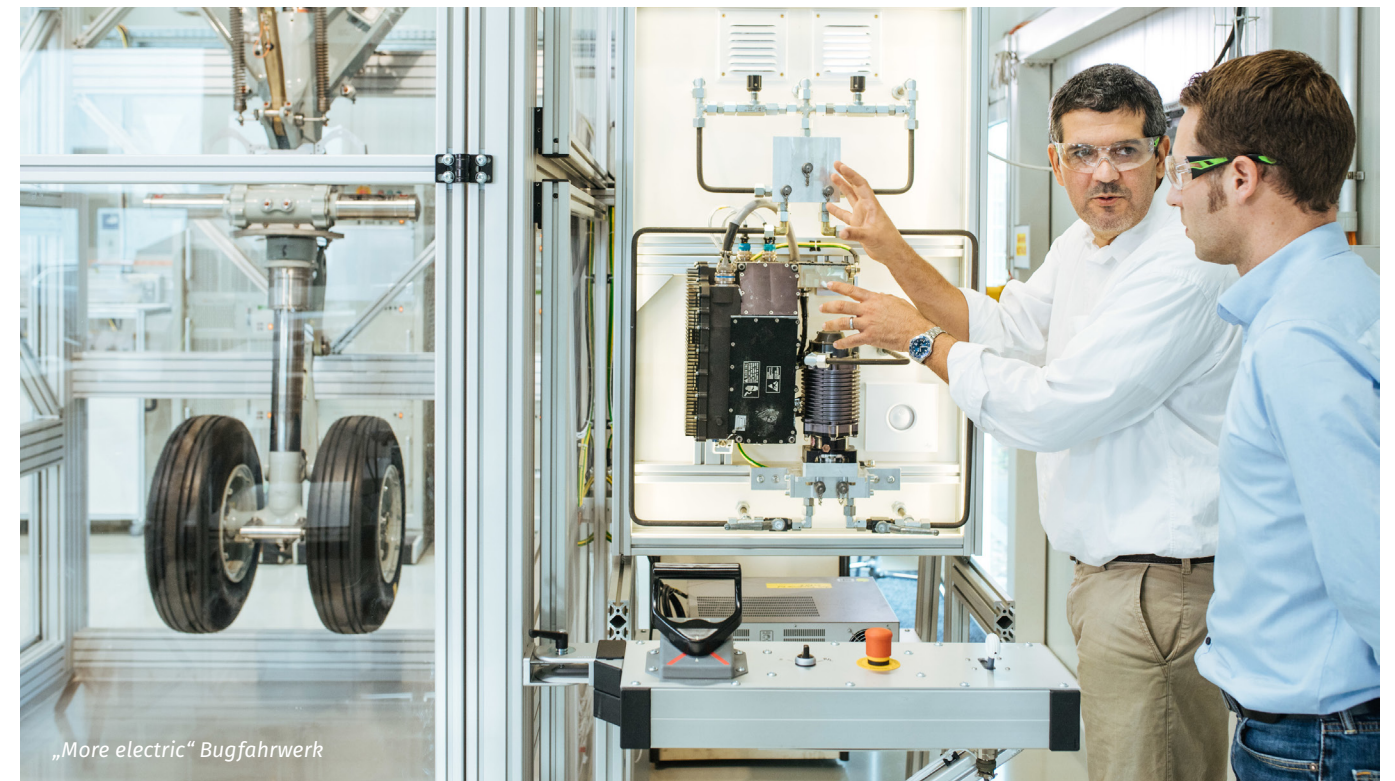
Die Sicherheit der Luftfahrt hängt entscheidend von den Fähigkeiten und Möglichkeiten der Piloten ab, bei steigender Verkehrsdichte immer komplexere Informationen wahrnehmen und richtig interpretieren zu können. Zukünftige Systeme und Funktionen im Cockpit können die Piloten entscheidend bei der Führung des Flugzeuges unterstützen und entlasten. Neue Cockpit-Funktionen wie erweiterte Außensicht, Flug- und Rollführungen und automatisierte, computergestützte Flug- und Rollfreigabenprozesse werden die Piloten signifikant entlasten, die Flugsicherheit weiter erhöhen und Emissionen senken.

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.



IN KÜRZE

Elektrifizierung, 3D-Druck und Digitalisierung halten in der Luftfahrt Einzug.

Die Luftfahrtelektronik der nächsten Generation ebnet den Weg zum hochgradig digitalen und vernetzten Flugzeug.

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



KLIMANEUTRALER UND EFFIZIENTER FLUG – KABINE UND FRACHT

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 16% Ersparnis gegenüber bisherigen Modellen in Dienst gestellt wurde, dank zahlreicher Kabineninnovationen 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. Fluggesellschaften weltweit haben gesellschaftliche Trends und demographische Entwicklungen sowie die Weiterentwicklung der Hygienekonzepte und den Wunsch der Passagiere nach mehr Reisekomfort an Bord zu berücksichtigen: hierzu zählen die verbesserte Gestaltung der Kommunikation an Bord wie auch die Verdichtung von Sitzen ohne Komfortverlust. Dies umfasst unter anderem kabellose Datentransfers und Internet-of-Things (IoT)-Lösungen. Die Individualisierung und Flexibilisierung des Gesamtsystems Kabine führt zu gesteigerten Anforderungen an Funktionalität, Gewichts- und

Platzeinsparung zukünftiger Konzepte und Komponenten. Die Industrie wird hierfür mit entsprechenden Technologien für eine flexible Kabine Lösungen bereitstellen.

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.

„SAFETY FIRST“

„Safety First“ ist das Primat der Luftfahrtindustrie. Zukünftige Kabinenstrukturen und -elemente werden die Sicherheit der Passagiere nochmals erhöhen. Langfristig ist das Ziel, Kabinenkonzepte und die dafür notwendigen Technologien zu entwickeln, um den Passagieren eine nahezu 100%ige Überlebenschance im unwahrscheinlichen 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 birgt sicherheitstechnische Risiken, die entsprechend zu berücksichtigen sind und denen bereits heute aktiv entgegengewirkt wird.

VERBESSERTER 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.

IN KÜRZE

Individuelle Beleuchtung, Belüftung und Entertainment verbessern den Komfort der Passagiere.

Neuartige Kabinen erhöhen nochmals die Sicherheit der Passagiere.

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

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.

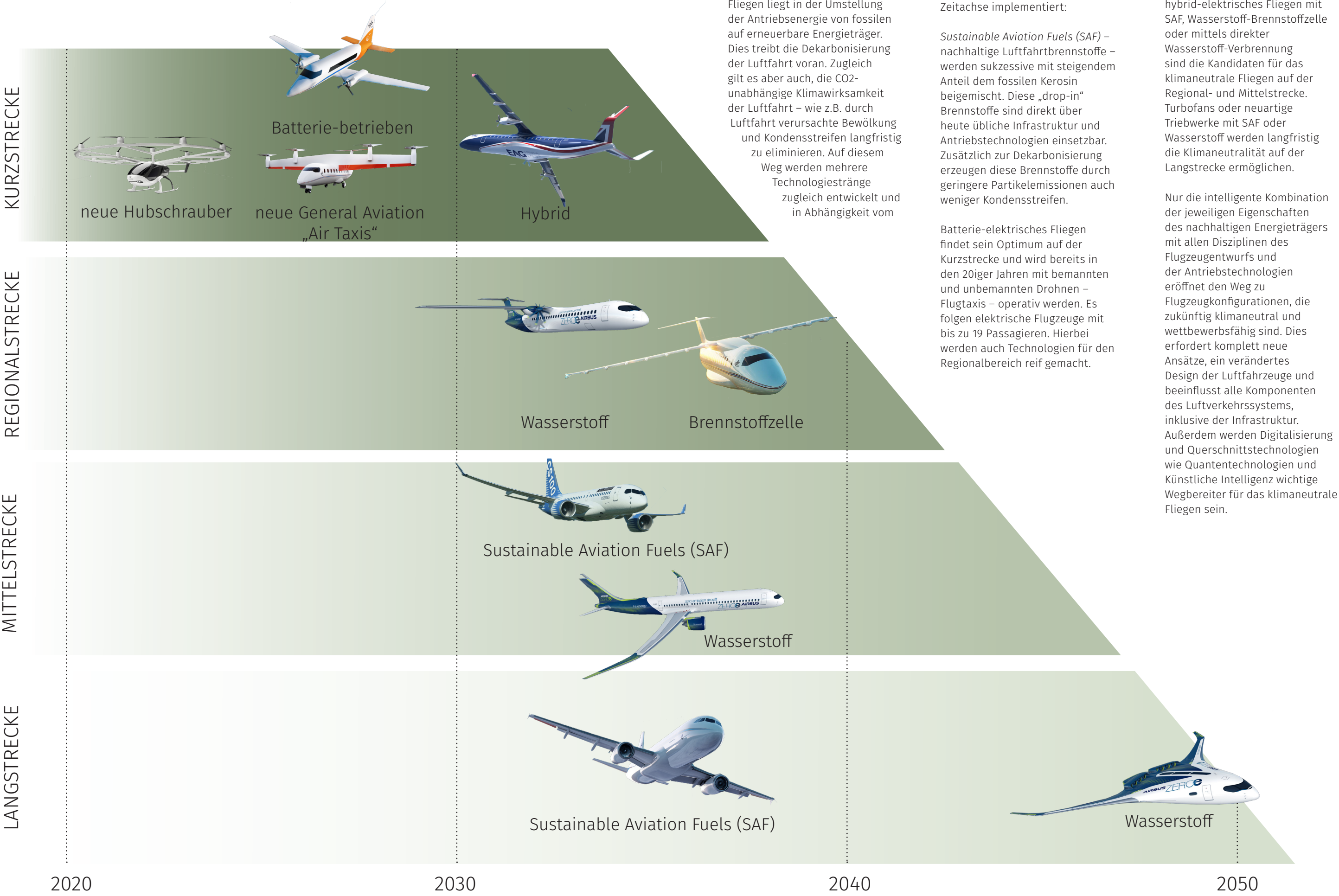


Vision einer künstlichen Kabinenaußensicht



Das Kabinendesign des Nurflüglers ermöglicht ein neues Reiseerlebnis für die Passagiere

DER WEG ZUM KLIMANEUTRALEN FLIEGEN



KLIMANEUTRALER UND EFFIZIENTER FLUG – FLUGFÜHRUNG

Trotz der im Zuge der Corona-Krise massiv eingebrochenen Verkehrszahlen im Luftverkehr wird erwartet, dass sich langfristig erneut ein stabiles Wachstum der Nachfrage einstellen wird. Die Automatisierung des Luftverkehrsmanagements (ATM, Air Traffic Management) ermöglicht die Bewältigung dieser steigenden Nachfrage. Vor allem die Produktivitätssteigerung der Flugsicherung und neue Konzepte wie Künstliche Intelligenz tragen zur Erhöhung der Kapazität bei.

Der Übergang zu einem digitalen ATM wird durch schnelle Modernisierung der Flugzeugflotten unterstützt. Eine zusätzliche Anforderung für ein modernes ATM besteht in der Integration neuer autonomer und unbemannter Flugsysteme. So kann der Luftraum sicher bleiben und das Mehraufkommen im Flugverkehr effektiv gemanagt werden.

VIRTUELLE CO-PILOTEN AM BODEN UND IN DER LUFT

Neue Unterstützungssysteme und moderne Technologie verändern das Cockpit grundlegend. Die wichtigste Entwicklung wird hierbei der flächendeckende Einsatz von virtuellen Konzepten sein. Schrittweise wird der „Zwei-Pilotenbetrieb“ weiterentwickelt, vor allem durch einen virtuellen Co-Piloten, der wichtige Funktionen übernehmen kann. Dazu kommt ein „Remote Co-Pilot“, der aus der Ferne den Flugverlauf überwachen und im Einzelfall auch das Flugzeug vom Boden aus übernehmen kann.

Die Automatisierung des Flugverkehrs in der Luft und vom Boden

ermöglicht auch die Prognose von Klimawirkungen und die direkte klimaschonende Anpassung im Flugverlauf. Dies hilft dabei, den Flug so zu optimieren, dass Klimaeffekte vermieden werden können. Mit aktuellen Atmosphärendaten ausgestattet können diese virtuellen Systeme dazu beitragen, den Flugverlauf neu zu berechnen und zu verändern. So können Flugzeuge noch sicherer und umweltfreundlicher fliegen.

AUTOMATISIERUNG MACHT FLIEGEN NOCH SICHERER

Wichtige Automatisierungsschritte sind im Luftverkehrsmanagement (ATM) zu erwarten. Dabei können vor allem neue Assistenzsysteme die Produktivität der Lotsen erhöhen und die Luftraumkapazität effizienter nutzen. Zudem hilft die Fusion von Planungs- und Radarlotsen, Kompetenzen zu bündeln. Dies wird durch den Einsatz von virtuellen Co-Lotsen ermöglicht.

Lufträume mit geringer Komplexität eignen sich zuerst für einen Automatisierungsschub. Die strategische Überwachung dieser Bereiche durch automatisierte Systeme entlastet den Fluglotsen und ermöglicht die klimaoptimierte Führung von Einzelflügen. Besonders klimarelevante oder hochfrequentierte Verkehrslufträume werden so entlastet, ohne andere Gebiete zu überlasten – und so Klimaauswirkungen reduziert. Die Automatisierung ermöglicht zudem eine genauere und schnellere Reaktion auf gravierende Wetterereignisse und Turbulenzonen – je früher diese erkannt werden,

desto besser können diese umflogen werden.

Bis 2030 wird außerdem eine effiziente und sichere digitale Bord-Boden-Kommunikation eingeführt. Spracherkennung und Datenanalyse ermöglichen dem Cockpit dann einen einfacheren und direkteren Austausch mit den relevanten Lotsen und somit neue Flugwege in kürzerer Zeit. Zudem helfen digitale Systeme, kleine Flugplätze zentral über Virtual-Reality-Lösungen zu überwachen und so noch effizienter zu arbeiten. Außerdem hilft Künstliche Intelligenz, Konflikte im Luftraum noch früher zu erkennen und so bessere Planungsdaten vorzulegen. Damit wird das Fliegen noch sicherer – bei steigendem Flugaufkommen.

MEHR TEILNEHMER IM LUFTVERKEHR

Der Luftraum erlebt nicht nur durch zusätzliche Passagierflugzeuge einen Anstieg des Verkehrs. Auch neue Mobilitätskonzepte – teil- und vollautonom, unbemannt und bemannt – kommen hinzu und sorgen so für ein komplexeres Zusammenspiel der Luftverkehrsteilnehmer. Dafür braucht es einen stabilen Rechtsrahmen und eine etablierte Infrastruktur. Mit dem europäischen U-Space ist dafür ein wichtiger erster Schritt getan. Die Regulierung des Drohnen-Luftraums muss jetzt noch weiter ausgebaut werden.

Auch die Zunahme der kommerziellen Raumfahrten im erdnahen Raum sorgt für einen Anstieg der Luftraumnutzer. Dank reduzierter Einführungskosten und neuer raumgestützter Geschäftsmodelle

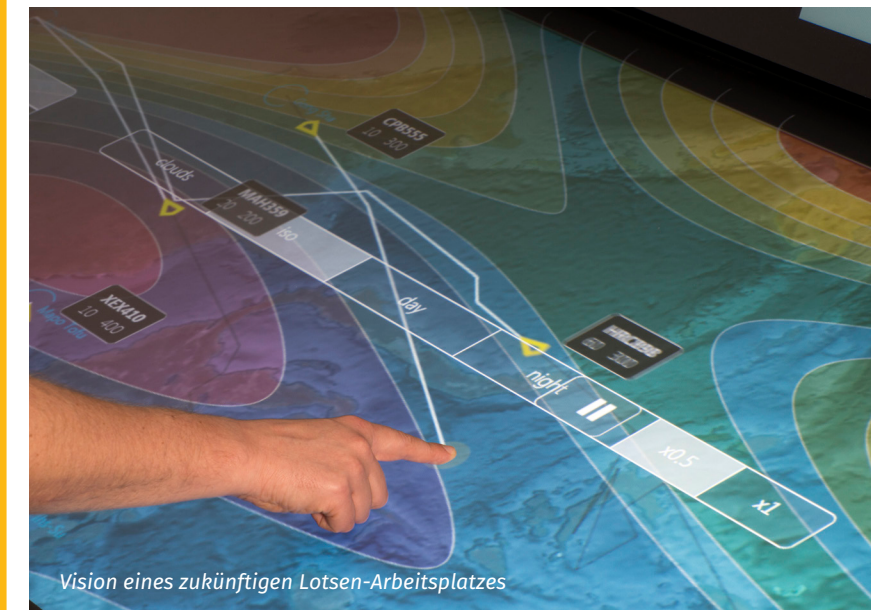
wächst der Raumfahrtmarkt stark an. Digitale Dienste und Automatisierungsfunktionen machen die Planung und Überwachung des Luftraums aber einfacher und besser. So wird auch in Zukunft ein sicherer Luftverkehr trotz der Zunahme an Verkehrsteilnehmern sichergestellt.

IN KÜRZE

Virtuelle Co-Piloten am Boden und in der Luft machen die Arbeit von Lotsen einfacher und den Flugverkehr sicherer.

Die Automatisierung des Luftverkehrsmanagements führt zu effizienteren und klimafreundlicheren Flügen.

Automatisierung und Digitalisierung ermöglichen die Integration von Drohnen, Raumfahrzeugen und neuer Mobilitätsformen in den Luftraum.



Vision eines zukünftigen Lotsen-Arbeitsplatzes



Die Automatisierung des ATM macht Fliegen noch effizienter und sicherer

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. Auf lange Sicht wird dadurch die kommerzielle Nutzung von führerlosen Personentransportdiensten in vielen Anwendungsbereichen vorbereitet. Kostengünstige, flexible und effiziente Angebote entlasten bestehende Transportsysteme, ergänzen den Mobilitätsmix der Zukunft und schaffen eine breite Akzeptanz für innovative Ansätze. Mit der Umsetzung erster Implementierungsstufen ist bereits in einigen Jahren zu rechnen.

MEHR MÖGLICHKEITEN IN DER LUFT

Unbemannte Luftfahrtsysteme (Unmanned Aircraft Systems, UAS) werden zukünftig einen erheblichen Beitrag für die Versorgung urbaner und infrastrukturell schwacher Gebiete leisten. Im medizinischen Bereich können Organtransporte zwischen Krankenhäusern, eilige Medikamentenlieferungen und der Primär-Rettungsdienst durch Drohnen gewährleistet werden. In der Landwirtschaft können Smart-Farming-Anwendungen zu einem großen Fortschritt hinsichtlich Kosteneffizienz und gezieltem Ressourceneinsatz führen. Und in der zivilen Sicherheit können luftgestützte Überwachungsanwendungen kritische Infrastrukturen und Objekte wie Grenzen oder Kraftwerke sichern. Zudem können sogenannte Cargo-UAS mit hohen Nutzlastkapazitäten die Logistik grundlegend ändern und Straße und Schiene entlasten. Außerdem können so genannte „Hochfliegende Plattformen“ (High Altitude Pseudo Satellites, HAPS) in vielen Ländern die Kommunikationsanbindung sicherstellen und

Beobachtungs- und Überwachungsaufgaben wahrnehmen.

URBAN & REGIONAL AIR MOBILITY: AUFSTIEG IN DIE DRITTE DIMENSION

Durch die fortschreitende Urbanisierung weltweit sind neue Mobilitätskonzepte dringend erforderlich. Ein neuartiger innerstädtischer und regionaler Lufttransport („Urban & Regional Air Mobility“) kann bestehende Transportsysteme entlasten und so beispielsweise Flughäfen mit Innenstädten oder Regionen ohne größere Verkehrsflughäfen verbinden. Innovative Transportkonzepte lassen z.B. Senkrechtstarter von Hochhäusern abheben und sich effizient in bestehende Systeme einpassen. Dank eines vollelektrischen Antriebs werden Lärmemissionen und die Umweltbelastung massiv gesenkt. Die typische Flugstrecke im urbanen Lufttransport liegt zwischen 30 und 50 km; auch größere Reichweiten im regionalen Einsatz sind möglich. Die Reisegeschwindigkeit soll dabei im Bereich von 100 bis 300 km/h liegen. Geringe Ticketpreise für die Passagiere erhöhen die Wettbewerbsfähigkeit und die Akzeptanz dieser neuartigen Fluggeräte.

KOORDINIERUNG UND INFRASTRUKTUR

Ein hoher Automatisierungsgrad in der Flugführung 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 mehrere Fluggeräte zentral steuern.

Eine ausreichende Versorgung mit

elektrischen Ladesäulen und Boden-geräten für mögliche Batteriewechsel ist essentiell. Um diese innovativen Flugkonzepte wettbewerbsfähig zu machen, könnten Passagiere wie bei Taxifahrten ihre Reise bequem mit dem Smartphone buchen – On-Demand und ohne Zeitverzögerung.

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“ (UAS Traffic Management, UTM), auf europäischer Ebene unter dem Namen U-Space. 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. Für einen reibungslosen und sicheren Verkehr ist die zentrale Anmeldung von Piloten, Betreibern und Fluggeräten unentbehrlich. Die Anmeldung von genehmigungspflichtigen Flügen muss von vornherein digital gestaltet werden.

DROHNENDETEKTION UND -ABWEHR

Kritische Infrastrukturen und besondere Gefährdungsstellen benötigen Systeme zur Drohnenabwehr; dazu gehören Kraftwerke, Gefängnisse und

Flughäfen. Drohnen-Detektionssysteme sind hier von grundlegender Bedeutung. Frequenz- oder GPS-Störung (sog. Jammer oder Spoofer), 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 Festlegungen und neuer technischer Möglichkeiten rasant.

Unbemannte Systeme können in zahlreichen Anwendungsformen positive volkswirtschaftliche Effekte erzielen und Wohlstand sichern.

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



DLR Cochstedt - nationales Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme

PRODUKTION – VERNETZT UND DIGITAL

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 UND GRÜNE FABRIK

Erste Erfolge auf dem Weg zur vernetzten Fabrik sind bereits vorzuweisen. 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 Prüfung übernommen werden. Weitere intensive Forschungstätigkeit der Luftfahrtindustrie im Bereich „nachhaltige Fabrik der Zukunft“ und digitale Transformation sowohl für bestehende als auch für zukünftige Produktlinien ist zwingend erforderlich. Wichtige Einzelkomponenten sind die transparente Verfolgung und der Transport von Werkzeugen und Bauteilen, modulare Robotersysteme und dynamisch kontrollierte Prozessbegleitung und -steuerung. Des Weiteren muss der Energiebedarf der Produktion mittel- und langfristig deutlich optimiert und

reduziert werden. Digitalisierung und Automatisierung müssen dabei an die neue Arbeitswelt und die daran angelehnte Mensch-Roboter-Zusammenarbeit angepasst werden. Die Aufgaben des Menschen werden sich aufgrund der digitalen Transformation und den neuen Anforderungen an eine vernetzte und agile Produktion wandeln. Produktionsabläufe müssen in der gesamten Prozesskette den Kriterien einer nachhaltigen und ganzheitlich klimafreundlichen Produktion entsprechen. Die industrielle Fertigung der Zukunft ist grün und digital.

LEICHTBAU UND NACHHALTIGE WERKSTOFFE FÜR DIE LUFTFAHRT VON MORGEN

Neue Werkstoffkonzepte revolutionieren den Flugzeugbau. Die Strukturen von morgen sind nicht mehr nur lastentragend, sondern werden multifunktional betrachtet. Neue Werkstoffe ermöglichen zudem ganz neue Produktionsmöglichkeiten, seien es Infusionstechnologien, Versteifungselemente, CFK-Komponenten, Titanlegierungen oder innovative Schweißverfahren. Dies ermöglicht erhebliche Gewichtsreduktionen durch konsequenten Leichtbau und wirkt sich unmittelbar positiv auf das Klima aus: Eine Gewichtsersparnis von 100 kg bei einer Airbus A320 führt zur Reduktion von 10.000 Litern Kerosin pro Jahr und Flugzeug. Zudem helfen biobasierte Materialien, geschlossene Materialkreisläufe und eine Life-Cycle-Analysis die Umwelt- und Klimawirkungen deutlich zu verbessern. So gestalten diese Technologien die Luftfahrt der Zukunft.

Deutschland gehört zu den Trendsettern in einer Schlüsseltechnologie von

morgen: den additiven Fertigungsverfahren (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 findet zunächst für Optimierungen und Bauteilsubstitutionen in bestehenden Flugzeug- und Triebwerksprogrammen und geplanten Derivaten Anwendung und hilft vor allem dabei, 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. 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 auch bei einem erneuten Anstieg der 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 Cybersicherheit, welche aus der Digitalisierung und Konnektivität der Abläufe erwächst. Darunter fallen Gefahren wie die illegale Manipulation von „Smart Tools“ und 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.

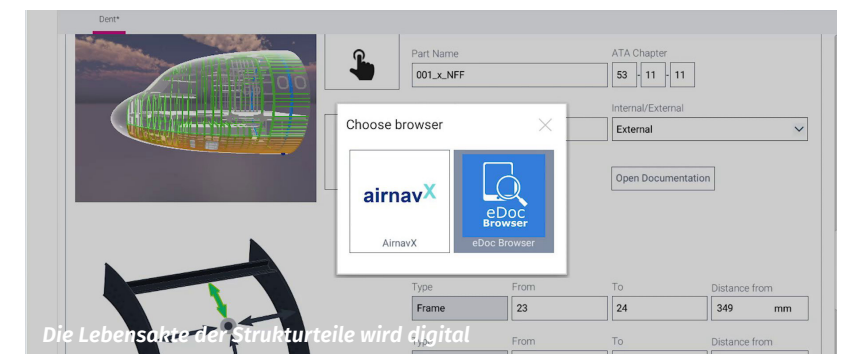
IN KÜRZE

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 agile Produktion in der Industrie effizient und robust zu managen und die Wettbewerbsfähigkeit der Luftfahrtindustrie auszubauen.

Neue Werkstoffe und konsequenter Leichtbau unterstützen das Design wettbewerbsfähiger und klimaneutraler Luftfahrzeuge der Zukunft.

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



Die Lebensakte der Strukturteile wird digital



Der digitale Zwilling hilft, notwendige Standzeiten zu minimieren



Robotergestützte und vollvernetzte Metallbearbeitung

BETRIEB – OPERATIONELLE EFFIZIENZ IN DER LUFT UND AM BODEN

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 Brennstoffverbrauch 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. Vor dem Corona-bedingten Einbruch des Luftverkehrs fanden in Europa täglich rund 35.000 Flüge mit etwa 2,5 Millionen Fluggästen statt. Seit Mitte der Neunzigerjahre wird über eine Verkehrsmanagementzentrale in Brüssel der Luftverkehr 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 frühzeitiger 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. 80% der Wertschöpfung eines Flugzeuges findet im Laufe des Betriebs über den gesamten Lebenszyklus statt. Big Data spielt häufig eine tragende Rolle, um die Emissionen im Betrieb zu senken. 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 Mittelstreckenflugzeuge könnten 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 Flughafenetz zur Verfügung gestellt. Neben positiven Effekten für die Luftqualität wird auch die Lärmbelastung am Flughafen durch den „Electric Airport“ deutlich reduziert.

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.

IN KÜRZE

Die rund 35.000 Flüge in Europa pro Tag (Stand 2019) werden durch intelligentes Luftverkehrsmanagement optimiert: Mehr Sicherheit bei gleichzeitiger Senkung von Verbrauch, Emissionen und Verspätungen.

Unbemannte Luftfahrtsysteme müssen durch das Luftverkehrsmanagement in den Luftraum integriert werden.

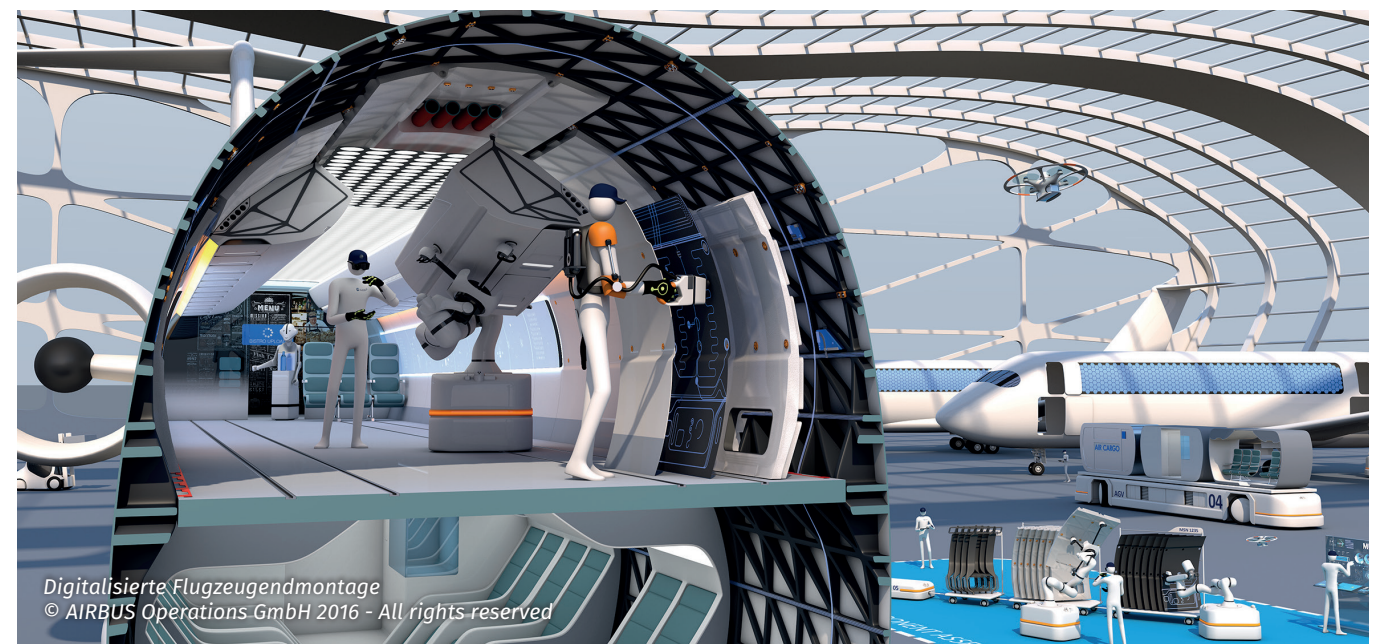
Big Data führt zu vorausschauender Wartung und zahlreichen Optimierungen im Betrieb.



3D-Druck ermöglicht neue Konstruktionsprinzipien



Luftfahrzeug im Service



Digitalisierte Flugzeugendmontage
© AIRBUS Operations GmbH 2016 - All rights reserved

CYBERSICHERHEIT

Die Digitalisierung verändert das Fluggerät, die Infrastruktur und den Betrieb in der Luftfahrt grundlegend. Das zeigt sich am deutlichsten in der gestiegenen Vernetzung und der Erzeugung und Nutzung von Daten im Betrieb und in der Produktion. Die Digitalisierung führt zu ganz neuen Sicherheits Herausforderungen. Daher kommt der Cybersicherheit in der Luftfahrt von morgen eine außerordentlich wichtige Rolle zu.

SICHERHEIT FÜR DEN GESAMTEN LEBENSZYKLUS

Moderne Luftfahrzeuge werden mehr und mehr zu sogenannten System-of-Systems, also stark vernetzten Systemen, bei denen die fliegende Plattform nicht mehr alleine im Vordergrund steht. Deshalb muss eine digitale Sicherheitsarchitektur essentieller Teil der Systemauslegung und -entwicklung sein (Security-by-Design). Vor allem Sensoren der Navigation und der Überwachung müssen Teil einer umfassenden Cybersicherheit sein. Dabei geht es letztlich um die Minderung der Risiken, die durch den Einsatz von Informationstechnologien entstehen.

Solch ein System-of-Systems wird ein Gesamtsystem extrem leistungsfähiger Sensorik sein, das kontinuierlich Massendaten produziert und liefert. Diese sind schon heute für Unternehmen von äußerst hohem Wert – und gleichzeitig auch sensitiv und enthalten kritische Informationen. Dies bietet sich für digitale Attacken an. Daher muss die Kryptosicherheit über den gesamten Lebenszyklus gewährleistet werden. Ebenso muss sichergestellt werden, dass trotz der

großen Datenmengen durchgehend konsistente und annotierte Daten zur Verfügung stehen.

AUCH ZUKÜNFTIG SICHER FLIEGEN

Das Luftverkehrsmanagement wird moderner, die Kommunikation, Navigation und Überwachung werden digital und unbemannte Luftfahrzeuge treten in größerer Zahl in den Luftraum ein. Dies erfordert notwendigerweise eine stärkere Automatisierung und Autonomie in der Luftfahrt. Somit kommt auch einer effektiven und effizienten Cybersicherheit eine zentrale Rolle zu, um die gesellschaftliche Zustimmung zu diesen Prozessen zu gewährleisten.

Das digitale Kommunikationssystem der zivilen Luftfahrt LDACS (L-Band Digital Aeronautical Communications System) nimmt als Zukunftsträger der sicheren Datenkommunikation eine bestimmende Rolle ein. Das langfristige Ziel besteht darin,

dieses System als breitbandigen, cybersicheren und hochverfügbaren Kommunikationsstandard weltweit zu etablieren. Denn nur mit robuster Cybersicherheit kann auch langfristig ein sicherer Flugbetrieb garantiert werden.

IN KÜRZE

Cybersicherheit spielt in der modernen Luftfahrt eine essenzielle Rolle und trägt maßgeblich zu einem sicheren Betrieb und einer sicheren Produktion bei.

Moderne Luftfahrzeuge fungieren als System-of-Systems und benötigen daher einen deutlich höheren Grad an digitalem Schutz.

Das sichere digitale Kommunikationssystem der Zukunft steht mit dem digitalen Kommunikationssystem für zivile Luftfahrt LDACS bereits in den Startlöchern.



In der digitalen Luftfahrt ist Cybersicherheit von herausragender Bedeutung



Cyberbedrohungen sind heute allgegenwärtig



Neue digitale Technologien haben das Potential, Fliegen noch sicherer zu machen

DIGITALISIERUNG & QUERSCHNITTSTECHNOLOGIEN

Neue Querschnittstechnologien und die Digitalisierung in der Luftfahrt ermöglichen große Verbesserungen in der Produktion und dem Betrieb von Fluggeräten. Dabei kommen vor allem Anwendungen der Künstlichen Intelligenz und der Quantentechnologie wichtige Rollen zu. Neue digitale Konzepte wie der digitale Zwilling, der digitale Faden und digitale Assistenzsysteme helfen schon heute, die Produktion noch effizienter und sicherer zu machen.

SIGNIFIKANTE FORTSCHRITTE DANK QUANTENTECHNOLOGIE

Quanten-Anwendungen haben das Potential, die Luftfahrt zu revolutionieren. So lassen sich neue Flugzeugkonfigurationen auch ohne empirische Erfahrungswerte auslegen – wie beispielsweise Nurflügler oder verteilte Antriebssysteme. Zudem werden Software-Anwendungen durch neue Verschlüsselungssysteme deutlich sicherer. Außerdem kann der Luftverkehr durch die Nutzung der Quantentechnologie weiter optimiert und auch hochkomplexe Herstellungsprozesse effizienter simuliert werden.

Zukünftig kann die Quantentechnologie auch in anderen Bereichen genutzt werden. In der Flugphysik könnten Strömungen numerisch abgebildet werden, in der Materialforschung und der Quantenchemie-Simulation ergeben sich ganz neue Optionen, und die Verkehrsführung kann trotz gestiegenem Verkehrsaufkommen noch besser gemanagt werden.

Quantensensoren haben zudem das Potential, für die hochpräzise

Zeitgebung, Positionsbestimmung und Lage-Sensorik eine Schlüsseltechnologie zu werden. Kompakte und integrierbare Quantensensoren können das bestehende Set an Sensoren mittelfristig ersetzen und damit noch effizienter und besser machen.

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UNTERSTÜTZT DEN SICHEREN FLUG

In der gesamten Luftfahrt können persönliche Assistenz- und Unterstützungssysteme mit Künstlicher Intelligenz zum Einsatz kommen. Diese KI-Technologie hilft, neue, umweltfreundlichere und sicherere Flugzeuge zu entwickeln und dank hochgenauer Simulation auszuarbeiten. Robotersysteme und -anwendungen ermöglichen zudem flexible und vernetzte Fertigungsprozesse und machen die Produktion damit sicherer, effizienter und nachhaltiger. In der Vorhersage helfen KI-Methoden, Flugrouten hinsichtlich Brennstoffverbrauch, Emissionsauswirkungen und Wetterbedingungen zu optimieren. So tragen Anwendungen der künstlichen Intelligenz erheblich zum sicheren und klimafreundlichen Fliegen bei.

DIGITALER ZWILLING, DIGITALER FADEN UND ASSISTENZSYSTEME

Die Digitalisierung ist der Schlüssel zu weiteren Effizienzsteigerungen in der Luftfahrt. Durch die Erstellung digitaler Zwillinge können Flugzeuge und Triebwerke virtuell zugelassen und weiterentwickelt werden. Neben den Soll-Zuständen erkennt jeder Zwilling auch das so genannte Konfigurationsmanagement des Produkts. Algorithmen und

Datenprozesse können dann auf diese Weise eine Vorhersage auf zukünftige Verhaltensweisen und Zustände treffen. So können auch Fertigungsabläufe simuliert und optimiert werden.

Der digitale Faden ist die durchgängige Ablage und Verfügbarkeit von digitalen Daten, Informationen und Modellen über den gesamten Lebenszyklus des Flugzeuges. Dies ermöglicht ein effizienteres Gesamtsystem und die Zusammenarbeit über räumliche Grenzen hinweg an einem Produkt. Eine digitale Kontinuität wird erlaubt, die analog nur schwer herzustellen ist. Zudem helfen digitale Assistenzsysteme standortunabhängig, neue Produkte zu entwickeln und herzustellen. Die Digitalisierung vereinfacht somit Produktionsprozesse und führt zu erheblichen Kosteneinsparungen und Zugewinnen in der Nachhaltigkeit.

IN KÜRZE

Die Quantentechnologie ist ein wesentlicher Baustein der Luftfahrt der Zukunft.

Künstliche Intelligenz ermöglicht es, den Flugverkehr noch sicherer, nachhaltiger und effizienter zu machen.

Neue digitale Systeme und Anwendungen optimieren die Produktion und ermöglichen Kooperationen über Grenzen hinweg.



IMPRESSUM:

HERAUSGEBER:
Bundesverband der Deutschen
Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI)

ATRIUM I Friedrichstr. 60
10117 Berlin
+49 (0)30 206140-0
kontakt@bdli.de
www.bdli.de

Verantwortlich V.i.S.d.P.: Cornelia von Ammon
Layout: Katja Zehe

BILDNACHWEIS:
ADOBE STOCK
AIRBUS
BOMBARDIER
DFS
DLR
ELECTRIC AVIATION GROUP
LIEBHERR AEROSPACE
MTU AERO ENGINES
PREMIUM AEROTEC
ROLLS-ROYCE
SHUTTERSTOCK
VOLOCOPTER

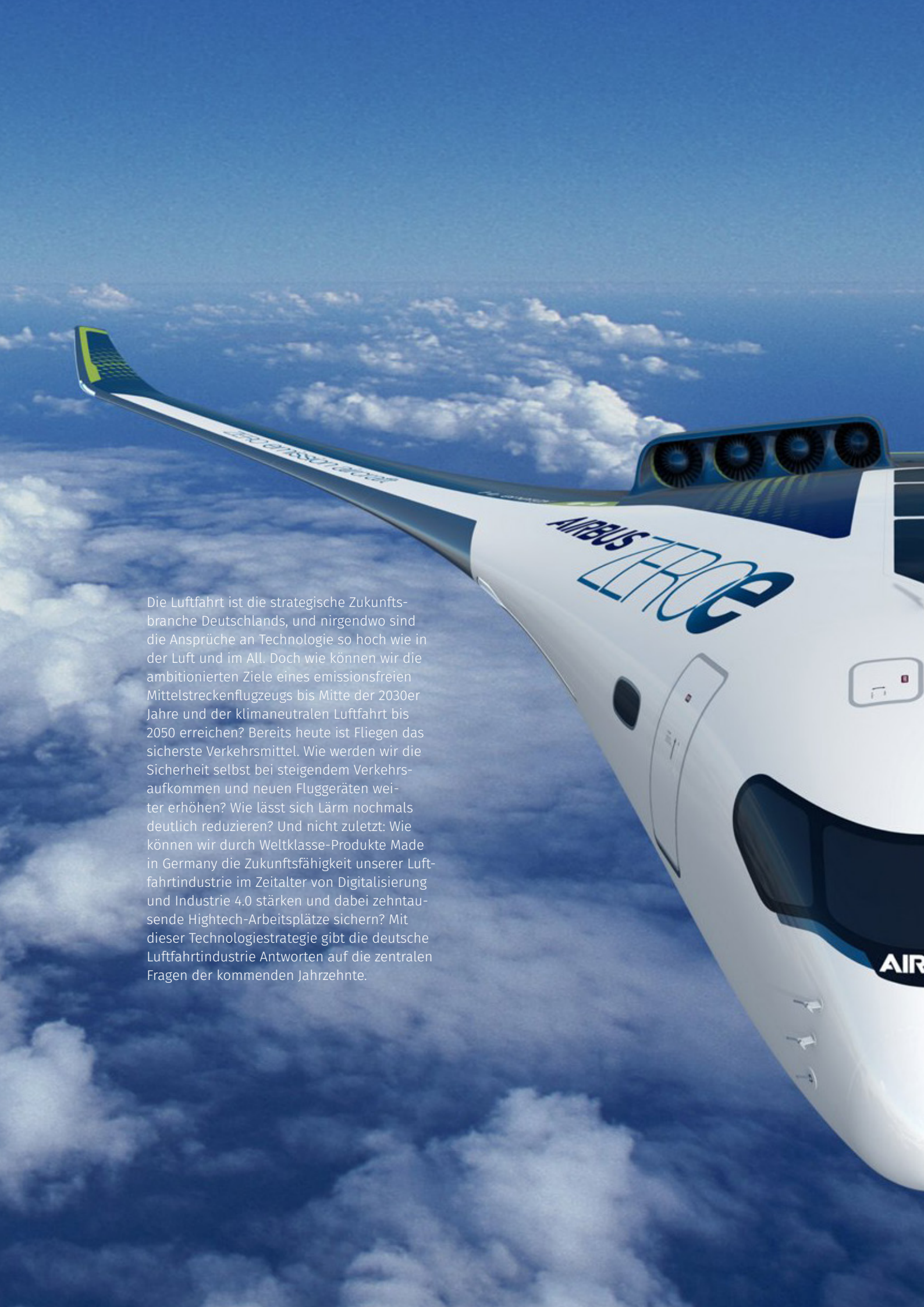
September 2020

IHR ANSPRECHPARTNER IM BDLI



Thomas Belitz

Referent Luftfahrt, Ausrüstung und Werkstoffe
belitz@bdli.de

A high-angle, low-perspective shot of a futuristic Airbus ZEROe aircraft in flight. The aircraft is white with blue and green accents. The word "AIRBUS ZEROe" is prominently displayed on the side of the fuselage. The aircraft is flying above a thick layer of white clouds, with a clear blue sky above. The wing is visible, showing a green and white checkered pattern on the leading edge. The aircraft's engines are visible on the upper part of the fuselage.

Die Luftfahrt ist die strategische Zukunftsbranche Deutschlands, und nirgendwo sind die Ansprüche an Technologie so hoch wie in der Luft und im All. Doch wie können wir die ambitionierten Ziele eines emissionsfreien Mittelstreckenflugzeugs bis Mitte der 2030er Jahre und der klimaneutralen Luftfahrt bis 2050 erreichen? Bereits heute ist Fliegen das sicherste Verkehrsmittel. Wie werden wir die Sicherheit selbst bei steigendem Verkehrsaufkommen und neuen Fluggeräten weiter erhöhen? Wie lässt sich Lärm nochmals deutlich reduzieren? Und nicht zuletzt: Wie können wir durch Weltklasse-Produkte Made in Germany die Zukunftsfähigkeit unserer Luftfahrtindustrie im Zeitalter von Digitalisierung und Industrie 4.0 stärken und dabei zehntausende Hightech-Arbeitsplätze sichern? Mit dieser Technologiestrategie gibt die deutsche Luftfahrtindustrie Antworten auf die zentralen Fragen der kommenden Jahrzehnte.