

AEROREPORT

02|23

Das Luftfahrtmagazin der MTU Aero Engines | www.aeroreport.de



*Neue Ära in der Luft:
Europa forscht für
klimaneutralen Luftverkehr*

INNOVATION

Die X-Planes:
Aufbruch der NASA
zu neuen Ufern

AVIATION

40 Jahre und kein Ende:
Das V2500-Triebwerk
feiert Jubiläum

GOOD TO KNOW

Auf einen Blick:
Die Kernkompetenzen
der MTU



**STECKT IN 30 % ALLER
FLUGZEUGE UND SIE HABEN
100 % DAFÜR GEGEBEN.**

**DER MOMENT,
WENN ES ABHEBT:
UNVERGLEICHLICH.**

**Gesucht: Teamplayer (all genders)
mit Hochgefühlen**

Dagegen ist jeder Schreibtischjob nur eine Landebahn. Machen Sie eine Startbahn daraus und lassen Sie wirklich große Projekte fliegen. Bei uns. Bei der MTU.

Wir sind über 11.000. An 18 Standorten weltweit. Jedes dritte Flugzeug fliegt mit unserer Technologie. Was wir noch brauchen? **Sie.**

www.mtu.de/karriere

#UPLIFTYOURFUTURE

Hier geht es zu
unserer Jobbörse:



Liebe Leserinnen und Leser,

es ist mir eine Freude, mich erstmals als Vorständin OEM Operations der MTU Aero Engines bei Ihnen vorstellen zu dürfen. Anfang des Jahres bin ich Teil der MTU-Familie geworden und seitdem fasziniert mich vor allem die Begeisterung für das Produkt, die ich in zahlreichen Begegnungen erlebt habe. Bei der MTU arbeiten täglich kreative Köpfe an bahnbrechenden Technologien, die die nächsten 20 bis 30 Jahre der Luftfahrt prägen werden.

Diese Begeisterung und Innovationskraft sind unerlässlich, um den Weg zu einer klimaneutralen Luftfahrt ebnen zu können. Denn wir bei der MTU sind überzeugt: Klimaneutrales Fliegen ist machbar – doch es wird eine Herausforderung. Umso wichtiger ist es, dass wir uns in der Luftfahrtbranche zusammenschließen und jeder seinen Beitrag zu Innovationen und neuen Technologien leistet. Wir brauchen revolutionäre Ansätze in allen Bereichen, um das Ziel gemeinsam erreichen zu können.

Das 2021 ins Leben gerufene EU-Projekt „Clean Aviation“ spielt eine zentrale Rolle bei diesen Bemühungen. Hier stehen neuartige Konzepte im Mittelpunkt, die im Hinblick auf Klimaneutralität einen Quantensprung versprechen. Heute fliegt jedes Flugzeug mit Kerosin, doch die Zukunft wird deutlich differenzierter sein. Wir sehen bei kleineren Maschinen mit bis zu 20 Sitzen einen batterie-elektrischen Antrieb, für die Kurz- und Mittelstrecke entwickeln wir

bei der MTU einen Brennstoffzellen-Antrieb, die Flying Fuel Cell™ (FFC). In diesem Jahr haben wir unser Know-how im Bereich der Elektrifizierung des Antriebsstrangs konsequent ausgebaut, indem wir den Starnberger Elektromotorenhersteller eMoSys GmbH erworben haben.

Das von der MTU entwickelte gasturbinenbasierte Antriebskonzept Water-Enhanced Turbofan (WET) kann in allen Schub- und Leistungsklassen eingesetzt werden. Gemeinsam mit internationalen Partnern wollen wir das Potenzial des WET-Konzepts im von Clean Aviation unterstütztem SWITCH-Projekt ausloten.

In dieser Ausgabe des **AEROREPORT** erklären wir Ihnen im Detail das Vorhaben von Clean Aviation und werfen einen Blick in den Himmel der Zukunft. Urban Air Mobility-Experte Dr. Kay Plötner vom Think Tank Bauhaus Luftfahrt analysiert für uns Potenziale und Herausforderungen für den nachhaltigen Einsatz von Lufttaxis, insbesondere elektrischen Senkrechtstartern. Zudem sehen wir uns die Entwicklungen nachhaltiger Lastenluftschiffe an, wo sich immer mehr Akteure mit unterschiedlichen Ansätzen auf den Markt drängen. Darüber hinaus erhalten Sie auch wieder spannende Einblicke in das Unternehmen, wie etwa die galvanische Beschichtung von Triebwerksbauteilen.

Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen



Ihre

Silke Maurer
Vorständin OEM Operations

**COVERSTORY**

Neue Ära in der Luft

Das EU-Forschungsprogramm Clean Aviation soll bahnbrechende Technologien für den Luftverkehr der Zukunft vorantreiben. Die Herausforderungen sind vielfältig.

Seite 8

**INNOVATION**

Mit Sonnenenergie bis in die Stratosphäre

Um in Atmosphärenschichten vorzudringen, die jenseits des zivilen Luftraums liegen, entwickeln Forscher:innen ferngesteuerte Fluggeräte, die nicht nur besonders leicht sind, sondern auch eine enorme Spannweite haben: hochfliegende Plattformen.

Seite 14

**INNOVATION**

X-Planes: Türöffner in die Zukunft

Die seit 1946 insgesamt 72 X-Plane-Projekte der NASA haben die Grenzen der Luft- und Raumfahrt durch immer neue Innovationen stark vorangetrieben. Viele Konzepte daraus finden sich heute in Zivil- und Militärjets oder Weltraumsystemen.

Seite 18

CONTENTS

FACTS

Ein gelungenes Jahr für die MTU Maintenance

- 6 Shop Visits
- 6 Triebwerke
- 7 Jubiläen

COVERSTORY

- 8 **Neue Ära in der Luft** Sauberer Fliegen: Europa forscht für klimaneutralen Luftverkehr

INNOVATION

- 14 **Mit Sonnenenergie bis in die Stratosphäre** High Altitude Platform: Fliegen jenseits der Tropopause
- 18 **X-Planes: Türöffner in die Zukunft** Mit der X-1 und dem ersten Überschallflug begann 1947 die stolze Serie der NASA X-Planes.

- 24 **Peeling- und Fitnessbäder für Triebwerksbauteile**

Beschichtungen am Triebwerk: Galvanische Verfahren

- 30 **Belastungsprobe fürs Triebwerk** So verläuft die Zertifizierung und Validierung von Triebwerken

AVIATION

- 34 **Luftfracht ans Ende der Welt** Arktische Frachtflieger: Waschmaschinen für die Wildnis
- 38 **Der Club der Hundertjährigen** Immer mehr Airlines feiern ein Jahrhundert am Himmel
- 42 **Es fliegt und fliegt und fliegt** 40 Jahre und kein Ende: Das V2500-Triebwerk feiert Jubiläum

PEOPLE

- 46 **Fliegen in der Stadt** Experteninterview mit Dr. Kay Plötner, Leiter Ökonomie und Verkehr beim Think Tank Bauhaus Luftfahrt

**AVIATION**

Luftfracht ans Ende der Welt

Das Leben in Alaska und anderswo in der Arktis ist harsch. Frachtflugzeuge sind oft die einzige Lebensader für Bewohner abgelegener Dörfer. Egal ob Lebensmittel, Baustoffe oder Online-Bestellungen, alles wird per Luftfracht geliefert.

Seite 34

**AVIATION**

Es fliegt und fliegt und fliegt

Das IAE-Konsortium feiert in diesem Jahr sein 40-jähriges Jubiläum – und mit dem V2500-Triebwerk eines der erfolgreichsten Triebwerksprogramme der zivilen Luftfahrtgeschichte. Dabei hat es erst ungefähr die Mitte seiner Laufzeit erreicht.

Seite 42

**GOOD TO KNOW**

Rückkehr der fliegenden Riesenzigarren

Am Anfang stand der Zeppelin, später kam die Idee des Cargolifters. Jetzt starten Airlander, Pathfinder und Flying Whales die Renaissance der nachhaltigen Luftschiffe. Sie wollen die Lösung für Logistik und humanitäre Hilfe sein.

Seite 56

GOOD TO KNOW

- 52 **Auf einen Blick** Die Kernkompetenzen der MTU
- 54 **Tanksysteme in Flugzeugen: Mehr als nur Behälter**
Der Kraftstoffvorrat im Flugzeug ist entscheidend für die Reichweite, aber auch für die Flugleistung
- 56 **Rückkehr der fliegenden Riesenzigarren** Grün und günstig – das Versprechen der neuen Luftschiffe
- 57 **Impressum und Bildnachweis**



www.aeroreport.de

Newsletter abonnieren:
Unser Newsletter informiert Sie
monatlich per Mail über Themen
aus der Welt der Luftfahrt.



Ein gelungenes Jahr für die MTU Maintenance

Ob klassischer Shop Visit, Bauteilreparaturen oder der Einsatz direkt unter dem Flügel: Die MTU Maintenance erweitert stetig ihr globales Netzwerk an Kompetenzen und spezialisierten Standorten. Dieses Jahr brachte eine Fülle an Meilensteinen mit sich, die gefeiert werden konnten.

SHOP VISITS

4.000



Antrieb für den A320neo — Mit 35.000 Pfund Schub bringt das LEAP-1A-Triebwerk den Narrowbody in die Luft.

MTU Maintenance Zhuhai hat die 4.000ste Triebwerksinstandhaltung abgeschlossen. Ein LEAP-1A Triebwerk wurde erfolgreich gewartet und an Peach Aviation Ltd. übergeben, einer Tochter von All Nippon Airways. Der Standort betreut Triebwerke wie die CFM56, LEAP, PW1100G-JM und V2500 für mehr als 90 Kunden weltweit. Ein zweiter Standort in Zhuhai soll 2025 eröffnet werden, außerdem wurde im Sommer ein Triebwerksprüfstand

mit 65.000 Pfund Schubleistung eingeweiht und ein Training Center im September eröffnet – der Standort feiert damit gleich drei Meilensteine in diesem Jahr.

1.500

Die **MTU Maintenance Berlin-Brandenburg** feiert in diesem Jahr 1.500 Shop Visits an der CF34-Familie. Mit einer Verlängerung des GE Branded Service Agreements bis 2037 sichert sich das Unternehmen seine Rolle als wichtiger Akteur in der CF34-Arena.



Mehr als 140 Millionen Flugstunden

— Die CF34-Familie ist die weltweit verbreitetste Triebwerksfamilie ihrer Klasse.

10.000



Eines der größten zivilen Triebwerke

— Die Fan-Schaufeln des GE90 messen 1,25 Meter.

Die **MTU Maintenance Hannover** feiert in diesem Jahr ihren 10.000sten Shop Visit. Der Meilenstein wurde mit einem Triebwerk vom Typ GE90-110/115B erreicht, das an die DHL Network Operations Ltd. ausgeliefert wurde. Es treibt die Boeing 777 an und ist eines der leistungsstärksten Triebwerke der Welt. Der Standort in Hannover ist das Herzstück der MTU Maintenance und der erfahrenste Standort im Netzwerk.

TRIEBWERKE

Neues Familienmitglied

Bei EME Aero, einem 50/50 Joint Venture der MTU Aero Engines und Lufthansa Technik ist in diesem Jahr das dritte Mitglied aus der GTF™ Triebwerksfamilie von Pratt & Whitney dazugestoßen. Das PW1900G, Antrieb für den modernen Regional Jet Embraer E-Jet Gen2, wird ab sofort im Shop von EME instandgehalten werden. Damit erweitert EME Aero ihr Portfolio um den dritten GTF-Triebwerkstyp – das PW1100G-JM wird seit Eröffnung 2020 und das PW1500G seit 2021 im polnischen Jasionka instandgehalten.

Erstes On-Wing-Projekt

Das MTU Maintenance Service Centre Australia in Perth hat erfolgreich das erste On-Wing-Projekt abgeschlossen. In Adelaide ersetzen drei Triebwerksexperten die Hauptdichtung zweier CF34-10E Triebwerke. Diese innovative On-Wing-Ersatzmethode, ursprünglich 2020 von MTU-Ingenieur:innen entwickelt, überwand bisherige Beschränkungen. Früher erforderte die Dichtungsersetzung eine kostenintensive Triebwerksdemontage. Das Team wurde unterstützt durch Expert:innen der MTU Maintenance Berlin-Brandenburg und der MTU Maintenance Dallas.

JUBILÄUM

10 Jahre Maintenance Lease Services



Zehn Jahre ist es jetzt her, dass die MTU Maintenance in das Leasing- und Asset-Management-Geschäft eingestiegen ist. Im Jahr 2013 startete die MTU Maintenance Lease Services B.V. als Joint Venture der MTU Aero Engines und der Sumitomo Corp. mit drei Mitarbeitern und einer Handvoll Triebwerken. Seit 2021 ist das Unternehmen eine vollständige Tochter der MTU und verfügt inzwischen über einen Leasing-Pool von mehr als 100 Triebwerken und hat eigene Büros in Dublin und Singapur. Die MTU Maintenance Lease Services unterstützt Eigentümer, Leasinggeber und Betreiber über den gesamten Lebenszyklus eines Triebwerks hinweg.

JUBILÄUM

25 Jahre MTU Maintenance Canada



Die MTU Maintenance Canada wird in diesem Jahr 25 Jahre alt. Der Standort hat seit Bestehen die Industrialisierung der Triebwerksprogramme V2500 und CF6-80 gemeistert und ist auch der militärische Instandhaltungsexperte der MTU Maintenance. Heute wird die Triebwerksflotte des F138 und F108 betreut. Außerdem ist es das Kompetenzzentrum für Line Replaceable Units (LRU) und Accessories der MTU und verwaltet ein Volumen von über 12.000 Accessories pro Jahr. Zudem eröffnete der Standort in diesem Jahr auch ein Trainingscenter.

JUBILÄUM

20 Jahre ASSB

Airfoil Services Sdn. Bhd. (kurz: ASSB), ein Joint Venture der MTU Aero Engines und Lufthansa Technik feiert in diesem Jahr sein 20-jähriges Bestehen.

Das Unternehmen ist MTU's Kompetenzzentrum für die Reparatur von Triebwerksprofilen in Malaysia.

**Erfolgreiches Joint Venture**

Der Standort ist auf die Reparatur von Schaufeln für Hochdruckverdichter und Niederdruckturbinen spezialisiert.

**Spatenstich für Erweiterungsbau**

Seit dem Standortausbau 2020 können nun 900.000 Teile pro Jahr repariert werden.

Rund 7.000.000 Teile hat ASSB seit 2003 für eine Vielzahl von Triebwerken instandgesetzt, darunter die CFM56-Familie, das V2500, das CF6 und das GP7000. Kürzlich hat das Unternehmen sein Portfolio um das PW1100G-JM von Pratt & Whitney erweitert und baut seine Kapazitäten aus, um den Anforderungen künftiger Triebwerksgenerationen gerecht zu werden.



F

U

T

Neue Ära in der Luft

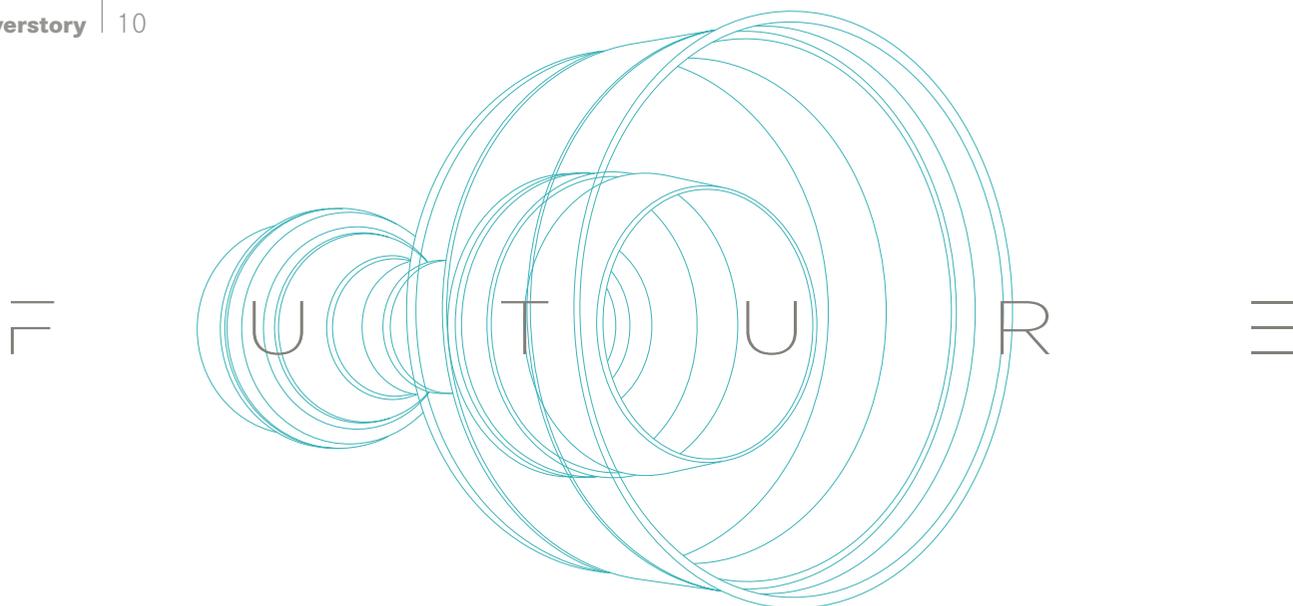
Weiterhin mit gutem Gewissen ins Flugzeug steigen, das soll dank der angestrebten Klimaneutralität des Luftverkehrs bis 2050 Routine werden. Die Forschungen laufen auf Hochtouren.

Autor: Patrick Hoeverler

U

R

III



CLEAN AVIATION

Bahnbrechende Technologien — *Clean Aviation ist das führende Forschungs- und Innovationsprogramm der Europäischen Union zur Umgestaltung der Luftfahrt in Richtung einer nachhaltigen und klimaneutralen Zukunft. Es wird bahnbrechende neue Flugzeugtechnologien entwickeln, um den europäischen Green Deal und die Klimaneutralität bis 2050 zu unterstützen. Diese Technologien werden zu einer Netto-Treibhausgasreduzierung von mindestens 30 Prozent gegenüber dem Stand von 2020 führen. Das Programm stützt sich auf drei Schwerpunkte, wobei jeder Schwerpunkt auf der Demonstration der Energieeffizienz und der Emissionsreduzierung liegt. Clean Aviation soll mit 1,7 Milliarden Euro gefördert werden. Es ist eingebettet in das EU-Rahmenprogramm Horizon Europe.*



Emissionsfreies Fliegen im Blick: — *SWITCH (Sustainable Water-Injecting Turbofan Comprising Hybrid-Electrics) entwickelt Technologien für den hybrid-elektrischen Water-Enhanced Turbofan. Das Projekt hat zwei revolutionäre Technologien im Fokus, die kombiniert werden: das Water-Enhanced Turbofan-Konzept der MTU, kurz: WET, und hybrid-elektrische Antriebs Elemente. Ziel ist es, eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und damit auch der CO₂-Emissionen um jeweils 25 Prozent zu demonstrieren (im Vergleich zu derzeitigen Triebwerken für Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge). Die neuen Technologien sind auch für den Betrieb mit Sustainable Aviation Fuels (SAF) geeignet. Bewertet wird weiterhin die zukünftige Verwendung von Wasserstoff als Energieträger.*

Die Betankung ist abgeschlossen, die Crew des Mittelstrecken-Jets kann mit den Startvorbereitungen beginnen. Währenddessen rollt ein Turboprop-Airliner nach der Landung zu seinem Standplatz, ganz ohne das typisch laute Geräusch. Schließlich wird er von aus Brennstoffzellen gespeisten Elektromotoren angetrieben. Alltag auf einem Verkehrsflughafen im Jahr 2050, und ganz ohne den Ausstoß klimaschädlicher Emissionen. Geht es nach der Europäischen Union könnte dies in den nächsten Jahrzehnten zur Realität werden, schließlich will man im Europäischen Green Deal bis 2050 keine Netto-Treibhausgase mehr emittieren und so den ersten klimaneutralen Kontinent schaffen.

„Dies ist das ambitionierteste Gesetz überhaupt, das beschlossen wurde, um Klimaneutralität zu verankern. Hier sind die Europäische Kommission und die Europäische Union Vorreiter“, sagt Gunnar Klaus, Repräsentant Internationale Technologiekooperationen und Demonstratorprogramme bei der MTU Aero Engines. Doch bis zum Erreichen der ehrgeizigen Ziele ist es noch ein gutes Stück. Im Luftfahrtsektor soll das EU-Forschungsprogramm Clean Aviation die Entwicklung deutlich beschleunigen. Das Programm bringt 27 Gründungsmitglieder sowie weitere Partner aus Industrie, Wissenschaft und Forschung in einem Joint Undertaking zusammen und wird mit einer Summe von 1,7 Milliarden Euro gefördert.

Das 2021 ins Leben gerufene Vorhaben verfolgt im Wesentlichen das Ziel, Technologien bereitzustellen, damit ab 2035 Flugzeuge auf den Markt kommen können, deren Netto-Treibhausgas-Ausstoß mehr als 30 Prozent unter der der jüngsten Flugzeuggeneration mit State-of-the Art Technologie Stand 2020 liegt. Im Unterschied zum Vorgänger-Programm Clean Sky 2 ist Clean Aviation nicht darauf ausgerichtet, primär evolutionäre Technologien voranzutreiben, sondern hier stehen neuartige Konzepte im Mittelpunkt, die im Hinblick auf Klimaneutralität einen Quantensprung versprechen.

Drei Bereiche für grünes Fliegen

In seiner strategischen Forschungsagenda (Strategic Research and Innovation Agenda, SRIA) hat das Clean Aviation Joint Undertaking dazu drei Hauptsäulen definiert: Der erste Bereich konzentriert sich auf Regionalflugzeuge mit hybrid-elektrischen und komplett elektrischen Antrieben. Die zweite Säule bezieht sich auf die Auslegung von höchsteffizienten Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen im Segment bis zu 200 Sitzplätzen. Die Kombination von innovativen Designs mit extrem sparsamen und maximal integrierten Triebwerken soll hier zu drastischen Einsparungen beim Treibstoffverbrauch auf Gesamtsystemebene führen. Das dritte Segment umfasst so genannte „disruptive“ Technologien, die schwerpunktmäßig die Potenziale von flüssigem Wasserstoff als möglichen Energieträger in zukünftigen Luftfahrzeugen heben. „Dies geht klar in die Richtung von Zero-Emission-Antrieben“, erklärt Klaus. „Wir behandeln in Clean Aviation zum Teil Technologien, die wir ursprünglich in unserer Technologie-Roadmap 2040 oder für die Jahre danach geplant hatten.“ Die Europäische Kommission will aber diese Technologien mindestens eine Entwicklungsdekade vorziehen, so dass sie möglichst früh bewertet und zum Einsatz kommen können.

In zwei der drei Bereiche ist die MTU mit von der Partie. Das SWITCH-Projekt (Sustainable Water-Injecting Turbofan Comprising Hybrid-Electrics) in der zweiten Säule kombiniert unter der Konsortiumsführung des deutschen Unternehmens bewährte

Technologie mit neuen Ansätzen. Als Basis dient der Getriebefan einschließlich der in Clean Sky 2 gewonnenen Erkenntnisse, die in die Optimierung von Verdichter und Turbine miteingeflossen sind. Er erhält gleich zwei Neuerungen: Das Water-Enhanced-Turbofan-Konzept der MTU (WET) sieht die Nutzung der Restwärme aus dem Abgasstrahl des Triebwerks vor, um sowohl den Treibstoffverbrauch als auch die CO₂- und Stickoxid-Emissionen sowie das Entstehen von Kondensstreifen deutlich zu reduzieren. Gleichzeitig erweitern die Konsortialpartner das Triebwerk um einen elektro-hybriden Anteil, der zu mehr Effizienz führt.

„Wir sehen die Möglichkeit, mit diesem Konzept in Kombination mit einer entsprechend verbesserten Flugzeugzelle die angepeilte Marke von 30 Prozent Kraftstoffeinsparung zu erreichen. Darüber hinaus können wir die Klimawirkung deutlich reduzieren“, meint Klaus. „Diese Technologien sind definitiv disruptiv. Wenn man unsere bisherige Produktgeneration evolutionär weiterentwickelt, dann gehen wir davon aus, dass wir damit maximal zehn Prozent Kraftstoffeinsparung realisieren könnten“, ergänzt Christoph Niebling, Programmleiter Clean Aviation / SWITCH bei der MTU. Die Integration von WET und Hybrid-Elektrik in ein Antriebskonzept sei sehr viel komplexer. „Die große Herausforderung liegt im Timing. Clean Aviation hat den Anspruch, bis 2030 Technologiereife aufzuzeigen, um damit neue Produkte ab 2035 zu ermöglichen. Das ist ein hoher Anspruch, da wir mit der Technologie noch an der Basis unterwegs sind. Aber dafür ist das Potenzial sehr viel höher.“

Hybrid-elektrischer Water-Enhanced Turbofan — Bei SWITCH werden zwei Technologien miteinander kombiniert: Das Water-Enhanced Turbofan-Konzept der MTU, kurz: WET, und hybrid-elektrische Antriebsselemente. Basis ist der Getriebefan von Pratt & Whitney.





Flying Fuel Cell™ (FFC) — Bei der FFC reagieren Wasserstoff und Sauerstoff in einer Brennstoffzelle unter Abgabe von elektrischer Energie zu Wasser.

Regionalflugzeug mit Brennstoffzelle

Im Bereich der dritten Clean-Aviation-Säule konzentriert sich die MTU auf die Verwendung einer Brennstoffzelle für den elektrischen Antrieb eines Regionalverkehrsflugzeugs im Bereich von 50 bis 70 Sitzen. Das Vorhaben profitiert dabei von einem gemeinsamen Projekt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der MTU, ein entsprechendes Antriebssystem im Flug an einer Dornier 228 zu erproben. Im Rahmen von Clean Aviation soll das HEROPS genannte Projekt (Hydrogen-Electric Zero Emission Propulsion System) dann unter Beweis stellen, dass sich das bisher angestrebte 600-kW-System der Flying Fuel Cell™ (FFC) auch für eine Anwendung im Multi-Megawatt-Bereich skalieren lässt. „Die Erprobung an der Dornier 228 läuft komplett parallel, wird aber in der Vorbereitung gute Erkenntnisse im Hinblick auf System- und Linienentwicklung liefern. Das Antriebssystem kann dann skaliert werden“, erklärt Klaus.

Der Zeitplan verläuft nahezu parallel zum SWITCH-Projekt. Die technologievorbereitende Phase 1 in Clean Aviation dauert bis 2025 und endet mit einer Bewertung durch ein Gutachtergremium, das die vielversprechendsten Technologien auswählt. Diese münden dann in die Demonstratorphase 2, um idealerweise bis 2030 als Gesamtsystem getestet zu werden. „Hier kommt man nur zum Zug, wenn nachgewiesen wird, dass die entwickelten Technologien reif sind und eine Chance zur Umsetzung haben“, so Klaus.

„Mit Clean Aviation brauchen wir uns auch international nicht zu verstecken“, betont der MTU-Technologe. Auf der anderen Seite des Atlantiks sucht die US-Industrie unter anderem im von der amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA im Jahr 2010 ins Leben gerufenen CLEEN-Programm (Continuous Lower Energy, Emissions and Noise) weiter nach Wegen zu einem klimafreundlicheren Luftverkehr. Die ersten beiden Phasen beinhalteten 225 Millio-

nen Dollar an Fördergeldern der Regierung für einen Zeitraum von zehn Jahren. Derzeit laufen die Vorbereitungen zur vierten Phase, die 2025 beginnen soll, und ebenfalls stark auf Produktanwendungen abzielt.

Weltweite Herausforderungen

Doch die weltweiten Herausforderungen sind nicht nur rein technologischer Natur. Die Nachfrage nach Flugreisen geht ja nicht zurück, ganz im Gegenteil: „Bis 2050 ist eine Verdreifachung des Luftverkehrsaufkommens gegenüber heute tatsächlich nicht unwahrscheinlich“, erklärt Dr.-Ing. Florian Linke, kommissarischer Direktor des Instituts für Luftverkehr beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Außerdem benötigen die neuen Technologien auch eine umfangreiche Infrastruktur. Allein Wasserstoff würde ganz neue Tanksysteme erfordern, da er auf rund minus 250 Grad Celsius herunter gekühlt werden muss. „Zurzeit gibt es überall Kerosinanlagen, und man muss an allen Flughäfen diese Wasserstoffinfrastruktur komplett neu aufbauen. Der Luftverkehr ist ein globales Phänomen. Selbst wenn ich hier in Deutschland eine Infrastruktur hätte, dann bräuchte ich am Zielflughafen für den Rückflug ebenfalls entsprechende Möglichkeiten, Wasserstoff zu vertanken. Das heißt, es muss weltweit ausgerollt werden, damit das Ganze funktioniert.“

Außerdem muss die Produktion des Wasserstoffs auf nachhaltige Weise erfolgen. Hier konkurriert der Luftverkehr mit anderen Verkehrszweigen und der Industrie. Nicht zu vergessen sind laut Linke auch die Nicht-CO₂-Effekte des Flugverkehrs, wie das Entstehen von Kondensstreifen und weitere Emissionen: „Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht kein Kohlendioxid, sondern Wasserdampf, und je nach eingesetzter Brennkammer weiterhin auch Stickoxid-Emissionen. Wasserstoff als Energieträger ist zwar CO₂-neutral, aber klimaneutral ist er nur dann, wenn dieser Wasserdampf nicht in der unteren Stratosphäre freigesetzt



„Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht kein Kohlendioxid, sondern Wasserdampf, und je nach eingesetzter Brennkammer auch Stickoxid-Emissionen. Wasserstoff als Energieträger ist zwar CO₂-neutral, aber klimaneutral ist er nur dann, wenn dieser Wasserdampf nicht in der unteren Stratosphäre freigesetzt wird und die Stickoxid-Emissionen dann tatsächlich auf null heruntergebracht werden.“

Dr.-Ing. Florian Linke, kommissarischer Direktor des Instituts für Luftverkehr beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt

wird und die Stickoxid-Emissionen dann tatsächlich auf null heruntergebracht werden. Und bei der Herstellung des Wasserstoffs muss natürlich grüner Strom eingesetzt werden.“ Letzterer ist eine wichtige Komponente für die Zukunft der Luftfahrt.

Neue Fluggeräte am Himmel

Auch elektrisch betriebene Unmanned Air Systems (UAS) bieten eine Vielzahl von Verwendungsmöglichkeiten, sie sollen in Zukunft den Straßenverkehr entlasten. Die Palette reicht vom schnellen Transport wichtiger Güter, etwa Blutkonserven und Medikamente, bis hin zu Paketen oder Lebensmitteln. Gemäß des DLR-Experten dürften diese neuen Player trotz ihrer womöglich rasant steigenden Verwendung dem Luftverkehr nicht in die Quere kommen: „Die Integration dieser Vehikel in den Luftraum wird sehr stark vorangetrieben und man ist hier auf einem guten Weg. Die Frage ist eher, gibt es wirklich einen Markt für alle diskutierten Anwendungsfälle.“ Außerdem muss speziell für Flugtaxi eine entsprechende Infrastruktur geschaffen werden. Aus energetischer Sicht ist diese Mission mit einem höheren Energieaufwand verbunden, was unter Umständen eine positive Auswirkung auf das Klima in Frage stellt. Hinzu kommen die hohen Sicherheitsstandards in der Luftfahrt, deren Einhaltung auch im autonomen Betrieb sichergestellt sein muss. „In diesen Bereichen gibt es noch Forschungsbedarf. Die Integration in den Luftraum ist da eher das kleinere Problem.“

Es gibt also viel zu tun; das Paket der Herausforderungen beim Luftverkehr ist immens, aber laut Linke nicht unlösbar. Nicht zuletzt dank Clean Aviation könnte also der Luftverkehr in einem

Vierteljahrhundert ganz anders aussehen als heute. Rasante Entwicklungen sind in der Luftfahrt nicht unüblich: Wer hätte schließlich 1927, als Charles Lindbergh spektakulär den Atlantik überquerte, gedacht, dass keine 25 Jahre später Jet-Flugzeuge in einem Bruchteil der Zeit regelmäßig Tausende Reisende über den Ozean bringen? 

WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA:

Kurz erklärt:
So funktioniert
die Flying Fuel Cell™
www.aeroreport.de



Kurz erklärt:
So funktioniert
das WET-Konzept
www.aeroreport.de



AUTOR:



Patrick Hoeverler ist freiberuflicher Luftfahrtjournalist und unter anderem für die FLUG REVUE tätig.

Mit Sonnenenergie bis in die Stratosphäre



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) — *Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Die 55 Institute und Einrichtungen betreiben Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung.*

Fluggeräte, die nicht nur besonders leicht sind, sondern auch eine enorme Spannweite haben, sollen eines Tages Veränderungen auf der Erdoberfläche dokumentieren und die Telekommunikation verbessern.

Autorin: *Monika Weiner*

Zum Testen des Flügels benötigt das Team am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) viel Platz: Die Leichtbaukonstruktion ist 27 Meter lang – das entspricht ungefähr der Spannweite eines Airbus A320. Die Prüfung der Biegefestigkeit wird daher in der riesigen Halle am DLR-Standort Stade durchgeführt: Mit Hilfe eines eigens konstruierten Gestells können die Ingenieur:innen den 35 Kilogramm leichten Flügel auf eine Höhe von mehreren Metern anheben, um die Kräfte zu simulieren, die während eines Fluges auftreten.

Tatsächlich werden die Flügel im Gleitflug nach oben gedrückt. Weil sich diese nach oben gerichteten Auftriebskräfte am Boden nur schwer simulieren lassen, wird der Flügel für die Bestimmung der Biegefestigkeit kopfüber – Oberseite nach unten – im Gestell befestigt und mit Gewichten belastet. Die nach unten gerichtete Gravitationskraft simuliert so die Auftriebskräfte. Etwa zwei Meter biegen sich die Flügelspitzen unter der Last nach unten. Die Ingenieur:innen bestimmen den genauen Wert mit Hilfe eines Lasers und prüfen anschließend, ob die Belastung möglicherweise Mikrorisse verursacht hat, die während eines Fluges fatale Folgen hätten.

Der Flügel soll in zwei Jahren die erste HAP des DLR in die Lüfte heben – die Abkürzung HAP steht für High Altitude Plattform. Die Konstruktionsskizze, die das Design-Team erstellt hat, erinnert auf den ersten Blick an einen Segelflieger. Diese Ähnlichkeit ist kein Zufall, denn die hochfliegende Plattform soll ein extrem energieeffizienter Super-Segler werden, der selbst in einer Höhe von 20 Kilometern noch Auftrieb erzeugen kann. Angetrieben wird die HAP übrigens von zwei Elektromotoren mit je 2,5 Kilowatt Spitzenleistung. Den Strom, den sie benötigen, liefern Solarzellen auf der Oberseite des Flügels.





Prototyp „Helios“ — Die solarenergie-betriebene HAP wurde von der NASA entwickelt und erreichte 2001 mit 29.413 Metern den Weltrekord für maximale Höhe. Für 40 Minuten hielt sich die Plattform in der Luft.

Spannweite eines Narrowbodys — Erst mit dem darunter stehenden Konstruktionsteam werden die gewaltigen Dimensionen deutlich: Die Leichtbaukonstruktion ist 27 Meter lang – das entspricht ungefähr der Spannweite eines Airbus A320.

„Erst durch die Fortschritte in der Solar- und Batterietechnik ist es möglich geworden, solar-elektrische Fluggeräte zu konzipieren, die genügend Energie generieren und auch speichern können, um in sehr hohe Schichten der Atmosphäre aufzusteigen und dort auch mehrere Tage und Nächte zu fliegen“, erklärt Florian Nikodem, Leiter des Projekts HAP-alpha beim DLR. „Die Stratosphäre, die in ungefähr 18 Kilometern Höhe, jenseits des zivilen Luftraums, beginnt, ist in vielerlei Hinsicht ungewöhnlich: Es gibt keine Wolken und kein Wetter, die Luft ist meist ruhig, klar und dünn – hier herrschen ideale Bedingungen für die Erdbeobachtung. Allerdings ist der Bau einer hochfliegenden Plattform, die dorthin aufsteigen und auch sicher zum Boden zurückkehren kann, eine enorme technische Herausforderung.“

Das Erfolgsgeheimnis: hohe Stabilität

Bevor die HAP-alpha an den Start gehen kann, muss sie eine Vielzahl von Tests durchlaufen. Die Prüfung der Biegefestigkeit, die beim DLR in Stade durchgeführt wird, ist nur einer davon. Im nächsten Jahr steht ein Standschwingversuch mit dem gesamten Flugzeug auf dem Programm. Mit Hilfe der Messungen wollen die Ingenieur:innen die analytischen Modelle, die für das Design genutzt wurden, absichern.

Die größte Gefahr für die ultraleichte Konstruktion – die HAP-alpha soll nur 136 Kilogramm auf die Waage bringen – sind starke Böen oder gar Stürme. In erster Linie ist die Plattform darauf ausgelegt, durch die dünne Luft der Stratosphäre zu gleiten, wo es kaum Turbulenzen gibt. „Gefährlich ist jedoch der Flug dorthin und der Rückweg zur Erdoberfläche“, erklärt Nikodem. „Auf- und Abstieg dauern viele Stunden, während derer die Plattform dem Wettergeschehen ausgeliefert ist. Obwohl man selbstverständlich alle verfügbaren Vorhersagen einholt und nur fliegt, wenn die Bedingungen optimal sind, müssen wir damit rechnen, dass sich die Wetterverhältnisse während des Fluges ändern.“ Die Stabilität der Konstruktion sei daher entscheidend für den Erfolg einer Mission.

Das Rennen der Stratosphären-Gleiter: immer länger, immer höher

Mehr als ein Dutzend Mal sind hochfliegende Plattformen bereits in die Stratosphäre vorgedrungen. Den Langzeitrekord für eine erfolgreiche Mission hält bisher Airbus: 26 Tage dauerte der Flug der Zephyr-S. Das unbemannte solarelektrisch getriebene Flugzeug war am 6. August 2018 in Arizona gestartet und kehrte am Ende der Mission sicher zur Erde zurück. Der Rekord wurde 2022 durch eines der Nachfolgemodelle, die Zephyr-8, zwar gebrochen – die Plattform kreiste volle 64 Tage in der Stratosphäre –, sie stürzte am Ende aber ab. Den Weltrekord für maximale Höhe erreichte die NASA 2001 mit der solarenergiebetriebenen HAP Helios. Der riesige mit Solarzellen bestückte Flügel, der 580 Kilogramm wog und von 14 Elektromotoren angetrieben wurde, stieg bis auf 29.413 Meter.

Angetrieben wird das Rennen um immer längere und höhere Flüge von der Vision, eines Tages mit einem Netzwerk hochfliegender Plattformen die Erdbeobachtung zu revolutionieren. Bisher sind Geodäten, Glaziologen, Klimaforscher und Katastrophenschützer auf Flugzeug- oder satellitengestützte Messungen angewiesen, wenn sie beispielsweise nach Lecks in Pipelines suchen, wenn sie herausfinden wollen, wie sich Wetterfronten oder Waldbrände ausbreiten, wie dick das Eis auf Schifffahrtswegen ist, wie schnell Gletscher kalben, wie sich die Luftqualität in bestimmten Regionen der Erde verändert oder wohin Tierherden ziehen.

Doch die Beobachtungszeit ist begrenzt: Flugzeuge können nicht länger als ein paar Stunden über einem Ort kreisen und die meisten Satelliten, die in der Fernerkundung eingesetzt werden, sind nicht geostationär, das heißt, sie bewegen sich relativ zur Erde und können daher ihren Fokus nur begrenzte Zeit auf einen bestimmten Ort richten. Detaillierte Langzeitmessungen sind daher schwer zu bekommen. Unbemannte solarelektrische Flugzeuge könnten diese Lücke füllen: Sie sind in der Lage, tage- und wo-

chenlang über einer Region zu kreisen, Daten zu sammeln und zur Erde zu schicken.

Auch für die Telekommunikation eröffnen High Altitude Plattformen neue Möglichkeiten. Durch ihre enorme Flughöhe sind HAPs in der Lage, Funkkontakt zu großen Gebieten herzustellen. Der NASA SunGlider beispielsweise, ein von zehn Elektromotoren angetriebenes Solarflugzeug, das einem gigantischen Flügel gleicht, kann eine Fläche von 200 Quadratkilometer abdecken. Damit sind HAPs eine interessante Alternative zur satellitengestützten Telekommunikation.

Hoch fliegen im Dienst der Forschung

Mittlerweile gibt es eine ganze Reihe unterschiedlicher High Altitude Plattformen, die von verschiedenen Forschungs- und Industrieunternehmen entwickelt wurden. „Diese sehen wir allerdings nicht als Konkurrenz“, erläutert Nikodem. „Unser Ziel ist es, Wissen zu generieren. Als deutsche Forschungseinrichtung ist es unsere Aufgabe, die Industrie zu unterstützen. Daher steht für uns die Entwicklung einer Versuchsplattform im Vordergrund, mit deren Hilfe das DLR, aber auch Unternehmen neue Technologien erarbeiten und erproben können – beispielsweise neue Antriebstechniken, Sensoren oder Messelektronik sowie Telekommunikation.“

Tatsächlich muss für die HAP-Mission des DLR noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden: Es gilt, Werkstoffe zu finden, die ultraleicht und doch stabil sind: kohlefaserverstärkte Verbundwerkstoffe beispielsweise für die Rippen und Holme beziehungsweise Folien zum Bespannen der Flügel, die starker UV-Strahlung standhalten. Um auf 20 Kilometer aufzusteigen und mehrere Tage in der Luft bleiben zu können, braucht man außerdem extrem leistungsfähige Akkus. Diese müssen nicht nur ausreichend Strom für den Start bereitstellen, sondern auch während der Sonnenstunden, wenn Licht auf die Solarzellen fällt, genügend Strom für den Nachtflug speichern. Wegen der extremen Temperaturschwankungen in der Stratosphäre müssen die Batterien außerdem gut isoliert werden: Bei Tagestemperaturen von bis zu 50 Grad Celsius im Flugzeug droht während der Sonnenstunden Überhitzung und nachts, bei bis zu minus 90 Grad Umgebungstemperatur, der Kältetod.

Ab 2024 startet die Integration zu einem fertigen Flugzeug, anschließend soll die HAP-alpha vom Testgelände des DLR in Cochstedt aus zu ihrem Jungfernflug starten. Da das Flugzeug aus Gewichtsgründen kein Fahrwerk, sondern nur Landekufen bekommt, wollen es die Ingenieur:innen mit Hilfe eines Zugfahrzeugs auf Startgeschwindigkeit beschleunigen. Die Plattform soll dabei auf einem eigens konstruierten Anhängergestell liegen. Die Steuerung übernimmt ein erfahrener Pilot in der Bodenstation, seine Befehle werden per Funk an die Plattform übermittelt. Maximal 500 Meter Flughöhe sind bei diesem ersten Flug geplant.

Für die Landung müssen die Propeller angehalten und quer gestellt werden. Ein besonders heikler Moment, da der Pilot ab diesem Zeitpunkt nicht mehr durchstarten kann. „Unser Ziel ist es nicht, Rekorde zu brechen, sondern Daten zu sammeln und die Technik zu erproben“, betont der Projektleiter. Die Informationen, die ein Flugschreiber vom Start bis zur Landung aufzeichnet, will das Team anschließend auswerten und nutzen, um Details zu optimieren.

In den darauffolgenden Jahren sind weitere Erprobungsflüge geplant, bevor die HAP-alpha 2027 erstmals in die Stratosphäre aufsteigen soll. Für diesen Flug wird die Plattform mit zusätzlichen Solarzellen bestückt: Während der Prototyp nur mit einem Quadratmeter Photovoltaik ausgerüstet ist, soll die „zweite Ausbaustufe“ bereits 12 Quadratmeter Gallium-Arsenid-Zellen auf die Flügel bekommen. Mit der Energie, die so erzeugt wird, soll die Plattform eine Nutzlast von fünf Kilogramm bis auf 20 Kilometer Höhe transportieren können. „Das klingt nach wenig, reicht aber, um ein miniaturisiertes Radar oder ein hochauflösendes Kamerasystem an Bord unterzubringen. Beide Systeme werden ebenfalls im Projekt entwickelt“, erklärt Nikodem: „Für zukünftige Industriepartner ist das Projekt eine einzigartige Chance, Sensoren und Technologien für die Erdbeobachtung und Telekommunikation unter Realbedingungen zu testen.“ 



Langzeitrekord des Airbus-Modells — Bisher ist Zephyr die einzige HAP mit festem Flügel, die nachweislich Tag und Nacht in der Stratosphäre überleben kann. Ihr Rekord liegt bei 64 Tagen.

AUTORIN:



Monika Weiner arbeitet seit 1985 als Wissenschaftsjournalistin. Die Diplomegeologin interessiert sich vor allem für neue Entwicklungen in Forschung und Technik sowie deren gesellschaftliche Auswirkungen.



Das jüngste X-Plane Projekt — Im Rahmen ihres Programms für nachhaltige Flugdemonstration hat die NASA Boeings Konzept des Transonic Truss-Braced Wing (TTBW) ausgewählt.

X-Planes: Türöffner in die Zukunft

Mit der X-1 und dem ersten Überschallflug begann die stolze Serie der NASA X-Planes 1947. Über 70 Jahre später soll der neue Experimentaljet X-66A die Zukunft des Verkehrsflugs sein.

Autor: Andreas Spaeth

X-2 (Erstflug 1952) —

Die Bell X-2 war ein Raketenflugzeug, das ebenso wie ihre Vorgängerin X-1 von einem Boeing B-50 Bomber auf Reiseflughöhe abgeworfen wurde und der Erweiterung des Überschall-Flugbereichs dienen sollte. Am 27. September 1956 erreichte Testpilot Mel Apt als erster Mensch mit der X-2 dreifache Schallgeschwindigkeit auf Mach 3,2. Kurz darauf geriet die Maschine außer Kontrolle und stürzte ab, der Pilot kam ums Leben.



Sie haben mit der X-1 als erste die Schallmauer durchbrochen, sie sind mit der X-5 als erste mit Schwenkflügeln geflogen, haben dann mit der X-15 immer größere Flughöhen von bis über 100.000 Meter erreicht und die X-15 hält bis heute den Rekord des schnellsten bemannten Fluges – Mach 6,7 (7.274 km/h) im Jahr 1967. Andere Maschinen testeten exotische Metalllegierungen oder ungewöhnliche Aerodynamik- und Antriebskonzepte.

Alle diese Pionierflugzeuge waren sogenannte X-Planes. Dieser Begriff für Experimentalflugzeuge und Flugversuchsvehikel der NASA hat für viele in der Branche einen fast magischen Klang, ruft er doch sofort glorreiche Erinnerungen wach. Der Zweite Weltkrieg war gerade vorbei, die NASA als nationale Luft- und Raumfahrtorganisation der USA gab es noch nicht, aber schon 1946 führten zwei Versuchsflugzeuge des Typs XS-1 (später umbenannt in X-1) über dem Muroc Army Airfield (heute Edwards Air Force Base) in Kalifornien Testflüge durch.

Chuck Yeager legte den Grundstein für Amerikas Vormachtstellung

Unter der Regie der NASA-Vorgängerin NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) fanden hier fliegerische Pioniertaten statt, die bisherige Grenzen überschreiten sollten. Das geschah am 14. Oktober 1947, als Testpilot Chuck Yeager im X-1-Raketenflugzeug erstmals die Schallmauer durchbrach. Aus der X-1 wurde über Jahrzehnte eine höchst illustre Ahnengalerie aus bis dato 72 X-Planes, die oft allerdings gar keine Flugzeuge waren und manchmal nicht einmal abhoben.

Die Forschungstechniken aus dem X-1-Programm stecken bis heute tief in der DNA aller X-Plane-Projekte, die damals angewandten Verfahren und auch das Personal bildeten die Grundlage für Amerikas Weltraumprogramm der 1960er Jahre. Schon in den 1940er Jahren entstand in den USA ein Programm für Experimentalflüge, eingerichtet von der NACA zusammen mit der US Air Force und der US Navy, später unter Federführung der NASA. Das Privileg, einem Forschungsprojekt die begehrte Auszeichnung „X-Plane“ zu verleihen, liegt bis heute bei der US Air Force – auch bei zivilen Projekten. Das US-Verteidigungsministerium hat genaue Kriterien, nach denen es solche Bezeichnungen vergibt. Und nicht alle Flugzeuge, deren

Name mit einem X beginnt, sind auch tatsächlich ein X-Plane, so etwa gehörte der berühmte experimentelle Überschallbomber North American XB-70 Valkyrie in den 1960er Jahren nicht dazu.

Manche X-Planes schaffen es gar nicht bis zum Erstflug

X-Planes haben viele Gemeinsamkeiten: Üblicherweise ist es ihre Mission, Entwürfe und Technologien zu testen, die sich dann in andere Flugzeugdesigns übernehmen lassen. Sie dienen aber nicht als Prototypen für Serienflugzeuge und die Projekte gelingen auch nicht immer. Manche heben erst gar nicht ab. Wie das geplante Elektro-Versuchsflugzeug X-57 Maxwell, das die X-Plane-Klassifizierung 2016 erhielt und eigentlich noch 2023 zum Erstflug starten sollte. Nun aber wird das Programm eingestellt. Begründet wird das mit Sicherheitsbedenken, die sich innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens und Budgets nicht lösen ließen.

„Nicht zu fliegen fühlt sich nicht toll an“, sagte Bradley Flick, der Direktor des NASA Armstrong Flugversuchszentrums. „Trotz der Enttäuschung hat das Projekt der Industrie aber grundlegende Lerneffekte für den Elektroflug beschert“, so Flick. Sicherheit ist bei den X-Planes ein großes Thema, denn immer wieder bewegen sie sich derart an den Grenzen des Machbaren, dass es zu Unfällen kommt. Seit Programmbeginn 1946 gab es etwa 15 schwerere Unglücksfälle, vier Piloten kamen dabei ums Leben. Trotz dessen und auch trotz der Einstellung der X-57 herrscht aber gerade Aufbruchsstimmung, gibt es doch zwei sehr ambitionierte aktuelle X-Plane-Projekte.

Die Aufgabe der X-59: Zeigen, dass Überschall auch leise geht

Vermutlich 2024 soll die Lockheed Martin X-59 QueSST (Quiet Supersonic Transport) zum ersten Flug starten. Der 29 Meter lange Einsitzer hat eine seltsame Form mit lang gestreckter, flacher Frontsektion wie ein Schnabeligel. Die X-59 soll aus einem einzigen Grund mit Mach 1,42 in maximal 16.800 Meter Höhe über bewohntem Gebiet fliegen: Um zu testen, ob die neue Flugzeugform dafür ausreicht, den Überschallknall so zu minimieren, dass er nur noch dem Zuschlagen einer Autotür gleicht. Und damit möglicherweise künftig die bisher verbotenen Überschallflüge über Land zu ermöglichen.



X-1 (Erstflug 1946) — Das Raketenflugzeug Bell X-1 war das erste X-Plane und ist bis heute das berühmteste, da Chuck Yeager damit am 14. Oktober 1947 erstmals die Schallmauer durchbrach. Bis 1955 wurden insgesamt sieben verschiedene X-1-Varianten gebaut, sie stellten stetig neue Höhen- und Geschwindigkeitsrekorde auf. Am 12. Dezember 1953 erreichte Yeager in fast 23 Kilometer Höhe damit Mach 2,44 (3.012 km/h).

X-43A (Erstflug 2001 – gescheitert) — Das X-43A Hypersonic Experimental Vehicle oder "Hyper-X" der NASA wurde entwickelt, um ein integriertes Scramjet-Antriebssystem mit zwei Betriebsarten bei Geschwindigkeiten von Mach 7 bis Mach 10 zu testen. Im Gegensatz zu Raketen, die sowohl Treibstoff als auch Oxidationsmittel mit sich führen müssen, führen Scramjets nur Treibstoff mit sich, während sie Sauerstoff aus der Atmosphäre aufnehmen. Der erste Flugversuch der X-43A fand im Juni 2001 statt. Allerdings versagte der Booster und musste frühzeitig im Flug zerstört werden. Infolgedessen wurde das Forschungsfahrzeug nicht getestet, da es nie die Testbedingungen erreichte.



**X-3 Stiletto
(Erstflug 1952)** —

Die Douglas X-3 war sicher das schnittigste je gebaute X-Plane, ihr Aussehen wurde mit einem Dolch verglichen. Sie sollte eine Bauweise testen, die einen längeren Überschallflug ermöglichte. Erstmals bestand die X-3 in wesentlichen Rumpfsktionen aus Titan. Allerdings enttäuschte die X-3 ihre Erbauer, weil sie derart untermotorisiert war, dass sie nicht einmal die Schallmauer durchbrechen konnte.





X-5 (Erstflug 1951) — Die Bell X-5 war das erste Flugzeug mit Schwenkflügeln, die die Flügelgeometrie an unterschiedliche Geschwindigkeitsanforderungen anpassen konnten. Das Konzept ging auf eine im Krieg nicht verwirklichte deutsche Messerschmitt-Konstruktion zurück. Obwohl die X-5 Stabilitätsprobleme hatte, konnte mit ihr das Schwenkflügel-Konzept validiert werden, das später in viele Kampfflugzeuge eingebaut wurde.



X-15 (Erstflug 1959) — Die North American X-15 war ein raketengetriebenes Hyperschallflugzeug, das in den 1960er Jahren Höhen- und Geschwindigkeitsrekorde brach. Die Piloten einiger ihrer insgesamt 199 Testflüge qualifizierten sich durch Höhen von über 80 Kilometern als Astronauten, einige erreichten in über 100 Kilometer über der Erde den oberen Weltraum. Der von William Knight am 3. Oktober 1967 aufgestellte Geschwindigkeitsrekord für ein bemanntes Flugzeug von Mach 6,7 gilt bis heute. Die X-15 wurde unter dem Flügel eines B-52-Bombers auf Reise Flughöhe ausgeklinkt.



X-29 (Erstflug 1984) — Die Grumman X-29 testete ein avantgardistisches aerodynamisches Konzept mit vorwärts gepfeilten Tragflächen und Enten-Stummelflügeln (Canards) vorne am Rumpf. Er bestand teilweise aus Verbundwerkstoffen, aufgrund der aerodynamischen Instabilität des Konzepts verfügte die X-29 über eine computerisierte Fly-by-wire-Steuerung. Die Hoffnungen der Ingenieure in Bezug auf eine größere Agilität des X-29-Designs und eine spürbare Verringerung des Luftwiderstands wurden jedoch enttäuscht.



1997: — Eine Sammlung von NASA-Forschungsflugzeugen auf der Rampe des Dryden Flight Research Center im Juli 1997: X-31, F-15 ACTIVE, SR-71, F-106, F-16XL Ship #2, X-38, Radio Controlled Mothership und X-36.

Erst im Juni 2023 erhielt das jüngste X-Plane-Projekt die Designierung X-66A, auf ihm ruhen große Hoffnungen für die Entwicklung künftiger Verkehrsflugzeuge. Im Rahmen ihres Programms für nachhaltige Flugdemonstration hatte die NASA Boeings Konzept des Transonic Truss-Braced Wing (TTBW) ausgewählt, zu Deutsch etwa „abgestrebter Flügel für den transsonischen Bereich“. Boeings Chief Technology Officer Todd Citron war begeistert: „Wir sind unglaublich stolz über diese Bezeichnung,

weil das heißt, dass die X-66A das nächste in einer langen Folge von Experimentalflugzeugen sein wird, die genutzt wurden, um bahnbrechende Designs zu validieren, die die Luftfahrt verändert haben.“ Die X-66A unterscheidet sich von den anderen X-Planes der letzten knapp 80 Jahre, weil auf ihr die Produktion eines Verkehrsflugzeugs der nächsten Generation aufbauen soll und auf den Tests kommerzielle Erwartungen liegen. Den Mythos der X-Planes dürfte das, wenn es klappt, nur noch vergrößern. 

AUTOR:



Andreas Spaeth ist seit über 25 Jahren als freier Luftfahrtjournalist in aller Welt unterwegs, um Airlines und Flughäfen zu besuchen und über sie zu berichten. Bei aktuellen Anlässen ist er ein gefragter Interviewpartner in Hörfunk und Fernsehen.

WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA "AVIATION":

Vorreiter Deutschland:
Der Traum vom Senkrechtstarten
www.aeroreport.de



Das neueste X-Plane Familienmitglied

Schon 2028 oder 2029 könnte das größte jemals gebaute X-Plane abheben. Auf ihm ruhen große Hoffnungen, dass es in den späten 2030er Jahren als Verkehrsflugzeug der Zukunft in Serie gehen könnte. Dazu wird eine früher von Delta Air Lines betriebene McDonnell Douglas MD-90 stark modifiziert. Cockpit und T-Leitwerk werden übernommen, ganz neu sind die Tragflächen mit hohem Seitenverhältnis (Aspekt Ratio), die extrem lang und dünn sind, was weniger Widerstand erzeugt. Die Spannweite liegt bei 44 Metern, das ist etwa 50 Prozent länger als bei einem konventionellen Verkehrsflugzeug vergleichbarer Größe. Um diese Form strukturell zu ermöglichen, werden unten im Rumpf verankerte Streben, die ihrerseits Auftrieb erzeugen, jeweils unter die Mitte der Tragflächen verlaufen. Da das Flugzeug transsonische Geschwindigkeiten von Mach 0,8 bis Mach 1,2 um die Schallgrenze herum erreicht, heißt das Konzept Transonic Truss-Braced Wing (TTBW). Das Tragflächendesign allein soll rund zehn Prozent Treibstoff einsparen, mit anderen aerodynamischen Verbesserungen sowie neuen Triebwerkskonzepten könnte die X-66A bis zu 30 Prozent effizienter als heute gängige Jets sein.

Zunächst wird die X-66A, die in einer Zweiklassenkabine 154 Passagiere befördern soll, von zwei GTF-Triebwerken angetrieben. Es ist das erste Mal seit der Boeing 757, dass Triebwerke von Pratt & Whitney an einem Boeing-Standardrumpfflugzeug zum Zug kommen.



Breiter Vogel: — Ein Modell des schmalen, abgestrehten Flügels im Ames-Research-Center-Windkanal der NASA. Die Spannweite liegt in Originalgröße bei 44 Metern, das ist etwa 50 Prozent länger als bei einem konventionellen Verkehrsflugzeug vergleichbarer Größe.

TTBW — Da das Flugzeug transsonische Geschwindigkeiten von Mach 0,8 bis Mach 1,2 um die Schallgrenze herum erreichen soll, heißt das Konzept Transonic Truss-Braced Wing (TTBW).

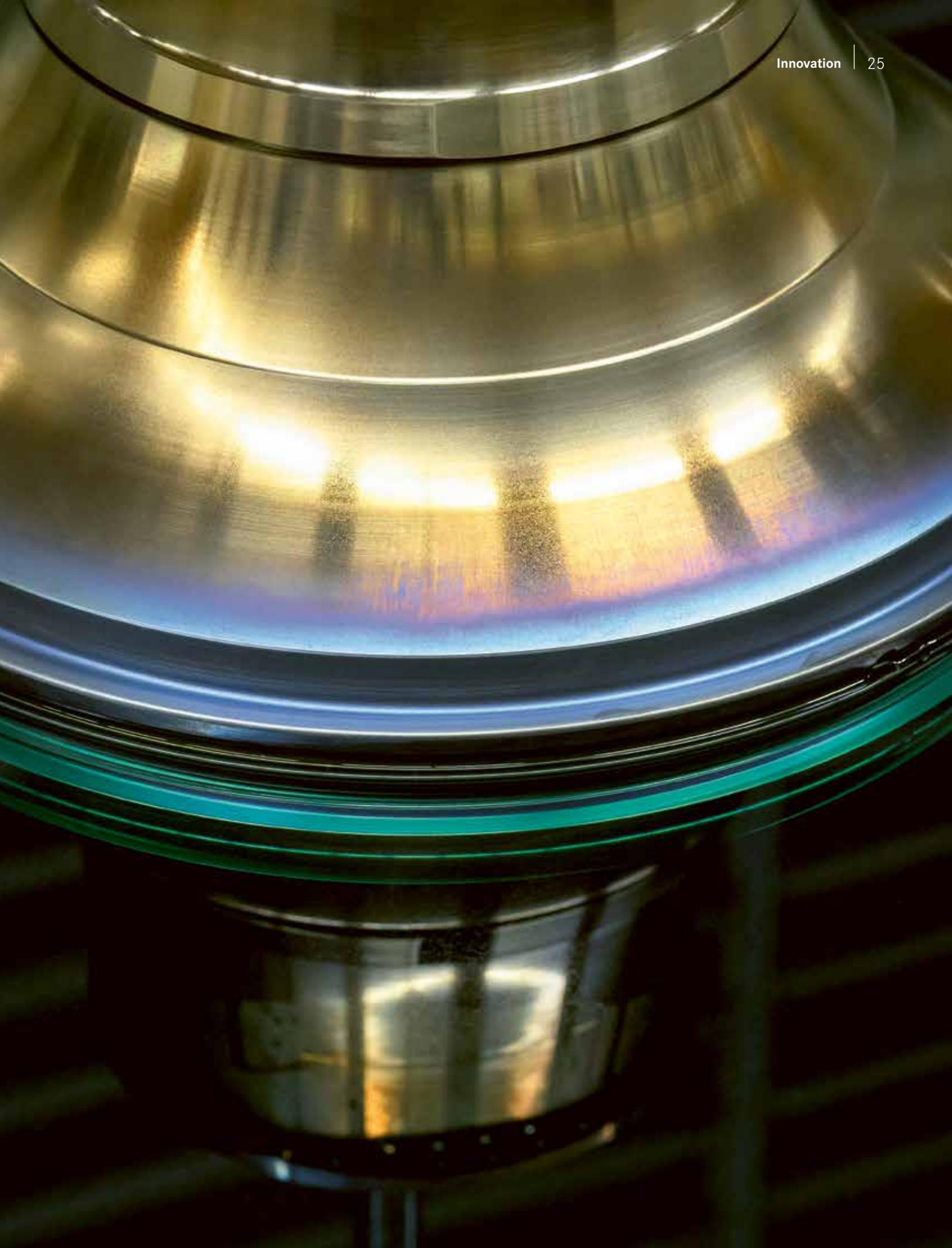


„Fleißige“ Säure — Um thermische Beschichtungen von bereits eingesetzten Bauteilen zu entfernen, werden Bauteile oft auch in Salpetersäure gebadet. In diesem Fall hängt ein E/200-Läufer in dem leicht grün wirkenden Bad.

Peeling- und Fitnessbäder für Triebwerksbauteile

Bei der MTU stehen 150 Bäder bereit, mit denen Triebwerksbauteile be- und entschichtet werden können. Die Galvanik spielt für die Prüfung und Fertigung anspruchsvoll geformter Blisks eine wichtige Rolle.

Autorin: Monika Weiner





Waxbad — Überall dort, wo nur Teilbereiche am Bauteil beschichtet werden müssen, wird das Bauteil in das 95 Grad Celsius heiße Waxbad gehalten – in diesem Fall ein V2500-Austrittsgehäuse.



Schaufeln in Platin — Platinbeschichtungen bieten einen Hochtemperatur-Oxidationsschutz – etwa für Hochdruckturbinenschaufeln.

Nur ein leises Surren ist zu vernehmen. Ein kastenförmiger Stahlkoloss gleitet auf Schienen in mehr als zwei Metern Höhe über eine Reihe riesiger, mit Chemikalien gefüllter Kunststoffwannen hinweg. Mit einem kurzen Ruck kommt der Transportroboter genau über dem Nickelsulfamat-Becken zum Stehen. Durch eine Luke im Boden wird nun ganz langsam ein mit zwei Blisks beladenes Gestell abgeseilt. Bei Blisks, die Abkürzung steht für Blade Integrated Discs, werden Schaufeln und Scheiben aus einem Stück gefertigt. Dadurch sind sie nicht nur leichter und stabiler als klassische Verdichterroten, sondern haben auch eine bessere Aerodynamik. Die Fertigung ist allerdings auf Grund der anspruchsvollen Geometrie extrem kompliziert.

Zentimeter für Zentimeter tauchen die Blisks in das Nickelbad, am Ende rastet das Gestell mit einem Klick in der Elektrodenschiene ein, die Beschichtung beginnt. Die Spannung zwischen der positiven Anode und der negativen Kathode, mit der die Rotoren verbunden sind, sorgt dafür, dass positiv geladene Nickelionen in der Elektrolytflüssigkeit zum Minuspol wandern und sich dort niederschlagen. „Durch diesen Abscheide-Prozess können wir auf den Schaufelspitzen der Blisks Atom für Atom eine stabile Nickelschicht aufbringen“, erklärt Michael Blümel, zuständig für die Prozessoptimierung in der Galvanik der MTU Aero Engines.



Galvanik — Unter Galvanotechnik versteht man die elektrochemische Abscheidung von metallischen Niederschlägen (Überzügen) auf Gegenständen. Die elektrochemische Beschichtung geht zurück auf ein Prinzip, das Luigi Galvani bereits im 18. Jahrhundert entdeckt hat.

Weltweit einzigartige Beschichtungsanlage für Blisks

Während sich die Nickelatome auf den Spitzen der Schaufeln ablagern, sind die Bauteile ständig in Bewegung: Ein in das Gestell integrierter Elektromotor dreht die Scheiben langsam. „Durch diese Drehung wird die Nickelschicht sehr gleichmäßig. Gleichzeitig können wir während der Bildung ihre Eigenschaften beeinflussen, indem wir gezielt Substanzen einbauen“, ergänzt Blümel. Für die Beschichtung, die gerade aufgetragen wird, rieselt Bornitrid-Sand aus einem Behälter auf die schmalen Schaufelspitzen. Diese scharfkantigen Industriediamanten werden so direkt in die Nickelschicht eingelagert und von dieser teilweise umschlossen und damit festgehalten, es entsteht eine perfekte Panzerung.

„Die galvanische Beschichtungsanlage ist die einzige weltweit, mit der sich die kompliziert geformten Blisks auf den Mikrometer genau beschichten lassen.“

Ali Cimen
Leiter der Galvanik bei der MTU

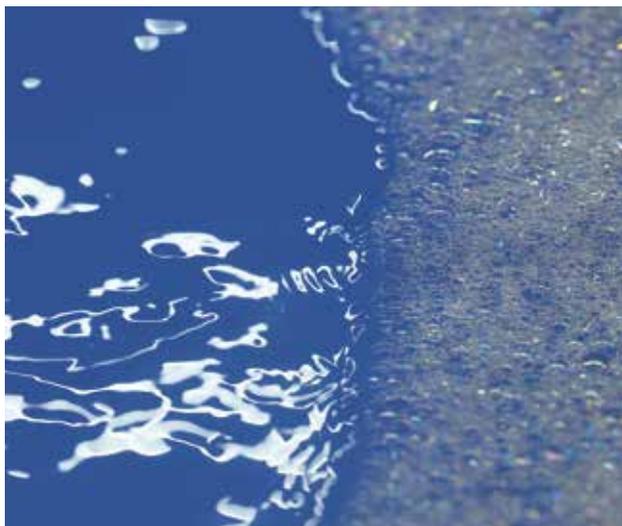
„Die galvanische Beschichtungsanlage ist die einzige weltweit, mit der sich die kompliziert geformten Blisks auf den Mikrometer genau beschichten lassen“, betont Ali Cimen, Leiter der Galvanik bei der MTU. „Die Panzerung der Schaufelspitzen, sogenannte Blade-Tips, ist enorm wichtig. Sie sorgt dafür, dass sich die Blisks in den harten Belag des Gehäuses, der sie im Triebwerk umgibt, einschleifen können, ohne dass die Bauteile Schaden nehmen. Dank dieser Beschichtung können die Konstrukteur:innen den Spalt zwischen Blisk und Gehäuse minimieren und so den Wirkungsgrad des Triebwerks signifikant erhöhen.“

Jahrhundertealte Technologie

Die elektrochemische Beschichtung geht zurück auf ein Prinzip, das Luigi Galvani bereits im 18. Jahrhundert entdeckt hat, als er bei Versuchen mit Froschschenkeln bemerkte, dass diese beim Berühren mit zwei Elektroden aus verschiedenen miteinander verbundenen Metallen zuckten. Technisch genutzt wurde die Galvanik erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts zum Vergolden und Versilbern von Metallen.

Heute ist die Galvanotechnik ein etabliertes Verfahren, mit dem man Werkstücken exakt die gewünschten Eigenschaften verleihen kann: besondere Härte durch Beschichtung mit Chrom, Korrosionsbeständigkeit durch Aufbringen von Platinschichten sowie ein guter Verschleißschutz durch Nickel- oder Dispersionschichten. Bei allen galvanischen Beschichtungen wird das Metall, das aufgetragen werden soll, an die positive Anode (Pluspol) angeschlossen, während das zu beschichtende Werkstück mit der negativen Kathode (Minuspol) verbunden ist. Je mehr Strom fließt und je länger die Beschichtung dauert, desto mehr Ionen wandern zur Kathode und desto dicker wird die Schicht. Schließt man das Bauteil hingegen an die Anode an, läuft der Prozess ge-

Hochkonzentriertes „Spüli“ — In diesem alkalischen Reiniger wird das Bauteil zum Reinigen getaucht. Dieser Schritt kann innerhalb der Prozesse teils mehrfach durchgeführt werden.



nau andersherum: Metallatome an der Bauteiloberfläche lösen sich auf, werden zum Metallion und bewegen sich in der Lösung – weg vom Werkstück – zur Kathode. Auch das wird in der Galvanik genutzt, etwa um Oberflächenfehler von Bauteilen sichtbar zu machen.

In galvanischen Bädern kann daher nicht nur sondern auch entschichtet werden. „Das Faszinierende an der Galvanik ist ihre Vielseitigkeit“, betont Cimen. „Wir können sie im Triebwerksbau einsetzen, um Oberflächen anzuätzen und damit das Gefüge sichtbar zu machen, aber auch, um Korrosionsschutz- und Gleitschichten oder Panzerungen aufzubringen.“

Galvanische Prozesse zur Qualitätssicherung

Bei der Fertigung von Blisks spielt die Galvanik immer wieder eine wichtige Rolle: Sobald die Rohlinge die ersten Bearbeitungsschritte durchlaufen haben, werden sie in ein säurehaltiges Becken getaucht, um eine mikrometerdünne Schicht abzutragen. Dieses Beizen aktiviert die Oberfläche. Es folgt ein alkalisches Bad, durch das sich auf den Oberflächen eine blaue Oxidschicht bildet. Diese lässt Korngrenzen im Metall hervortreten. Die Spezialist:innen bei der MTU können auf diese Weise auffällige Muster im Gefüge aufspüren, die auf Schwachstellen hindeuten. Solche Materialfehler sind gefährlich, denn sie können im Flugbetrieb zu Rissbildungen und im schlimmsten Fall zum Zerplatzen der ganzen Scheibe führen. Bei der Sichtprüfung werden daher alle Blisks, die Fehler aufweisen, aussortiert.

Nur Blisks, die alle Stationen der Qualitätssicherung – neben der Gefüge- spielt auch die Rissprüfung eine wichtige Rolle – durchlaufen haben, kommen für die finale Spitzenpanzerung zurück ins galvanische Bad. Damit sich die Nickel-Diamantschicht tatsäch-

„Stromlos-Nickel“ — In diesem Nickelbad werden Bauteile beschichtet, ohne von extern Strom anlegen zu müssen. Dies wird bei Bauteilen angewendet, die eine sehr gleichmäßige und dünne Schicht tragen sollen – wie hier eine TP400-D6 Blisk.



Galvanische Beschichtungen und ihr Einsatzgebiet

In der Galvanik der MTU gibt es etwa 150 verschiedene Bäder, in denen sich Säuren, Laugen und organische Lösungen befinden. Genutzt werden diese Bäder nicht nur für die Beschichtung von Neuteilen, sondern auch, um gebrauchte Bauteile instand zu setzen, deren Geometrie sich durch Vibrationen, Rotation und Verschleiß im Triebwerk verändert hat.



Zum **Verchromen** können Bauteile in eine Wanne mit 4.000 Liter Chromsäure eingetaucht werden. Es ist das größte galvanische Becken bei der MTU. Da Chrom sehr harte Schichten bildet, die dazu sehr temperaturbeständig sind, werden sie genutzt, um Triebwerksbauteile wieder in die ursprüngliche Form zu bringen, die hohen Temperaturen und starken mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind – beispielsweise in Triebwerkslagern.



Für eine Beschichtung mit **Kobalt** werden Bauteile in Kobaltsulfat-Bäder getaucht. In die Kobalt-Beschichtungen, die hier aufgetragen werden, lassen sich auch Feststoffpulver integrieren, die während des Beschichtungsprozesses auf das Bauteil rieseln. Auf diese Weise bekommen die Schichten genau die gewünschten Gleit- und Schleifeigenschaften. Kobalt-Beschichtungen werden beispielsweise für die Instandsetzung von Brennkammer-Gehäusen genutzt.



Zum **Vernickeln** stehen Bäder gefüllt mit Nickelchlorid und Nickel-sulfamat bereit. Hier werden Bauteile galvanisiert, die schnell verschleifen und daher Schichtdicken zur Wiederherstellung der ursprünglichen Bauteilmaße von mehreren Millimetern benötigen. Durch den Einbau von Diamantpulver lassen sich Gleit- und Schleifeigenschaften beeinflussen. Die Spitzen von Blisks beispielsweise bekommen durch die Nickel-Diamantbeschichtung eine Panzerung, mit deren Hilfe sie sich optimal in das Gehäuse einschleifen.



Für **Platinbeschichtungen** gibt es Becken mit Platin-Lösungen. Diese werden in mikrometerdünnen Schichten aufgebracht und bieten einen extrem belastbaren Hochtemperatur-Oxidationsschutz. Platinbeschichtungen werden beispielsweise bei der Neuteilfertigung auf die Schaufeln von Hochdruckturbinen aufgebracht.

lich nur auf den äußersten Spitzen der Schaufeln abgelagert, müssen alle anderen Teile abgedeckt werden: „Wegen der komplizierten Geometrie ist das ein aufwendiger Prozess“, erklärt Blümel. Zunächst wird eine schützende Lackschicht auf die Schaufeln aufgebracht und anschließend an den Stellen, die beschichtet werden sollen, wieder entfernt: Um die Oberfläche der Schaufelspitzen freizulegen, benötigen die Expert:innen Skalpell, Lupe und eine ruhige Hand. Am Ende werden die Scheibenkörper mit Halbschalen abgedeckt und jeweils zwei Blinks auf die eigens dafür entwickelten drehbaren Gestelle montiert.

Alles weitere läuft vollautomatisch ab: Der Transportwagen nimmt jeweils ein Gestell auf, fährt auf Schienen zum ersten der galvanischen Bäder und lässt seine Fracht dort vorsichtig hinunter. Innerhalb weniger Minuten ätzt Säure eine mikrometerdünne Schicht von den Spitzen der Schaufeln. In einem weiteren Säurebad wird die Oberfläche aktiviert, danach wird die Schaufelspitzenpanzerung aufgebracht. Dieser Vorgang dauert einige Stunden. Wenn er abgeschlossen ist, nimmt der Transportroboter das Gestell wieder auf und transportiert es zu einer Wanne. Diese ist gefüllt mit einem speziellen Lösungsmittel, um den Lack von den Schaufeln zu entfernen. Nach einer abschließenden Sichtprüfung sind die Blinks fertig für die Schlussprüfung und Endabnahme.

Auch bei gebrauchten Triebwerksteilen kommt die Galvanik ins Spiel

Die Galvanik-Bäder werden nicht nur für die finale Beschichtung neuer Blinks genutzt, sondern auch für die Instandsetzung von Triebwerksbauteilen. Durch den häufigen Kontakt mit Sand und Staub in der Luft können sich deren Formen und technischen Eigenschaften im Laufe der Zeit verändern. Will man sie neu beschichten, müssen zunächst alle alten Schichten entfernt werden. Bei der MTU steht hierfür eine Kammer mit einer Hochdruck-Wasserstrahl-Anlage zur Verfügung, in der ein rotierender Strahl mit 3.500 bar auf die Oberflächen trifft. Alternativ lassen sich alte Beschichtungen auch durch chemische Lösungen wieder abtragen. Es folgt eine umfangreiche Säuberung, Entfettung und Aktivierung der Oberflächen. Erst dann kann der galvanische Beschichtungsprozess von Neuem beginnen. 

AUTORIN:



Monika Weiner arbeitet seit 1985 als Wissenschaftsjournalistin. Die Diplomegeologin interessiert sich vor allem für neue Entwicklungen in Forschung und Technik sowie deren gesellschaftliche Auswirkungen.

Thermische Beschichtungen in Triebwerken



Präzision gefragt — *Damit die Bauteile an den richtigen Stellen beschichtet werden, werden die zu schützenden Bereiche vorher präzise abgedeckt.*

Um Bauteilen exakt die gewünschten Eigenschaften, wie Verschleißfestigkeit, Einlauffähigkeit oder Korrosionsbeständigkeit zu verleihen, werden sie mit Beschichtungen versehen – das betrifft mehr als 50 Prozent aller Triebwerksbauteile. Die Auswahl von Materialien und Beschichtungsverfahren ist eine Kunst, die viel Erfahrung verlangt. Denn jedes Bauteil ist anders und benötigt individuelle Lösungen.

Vielzahl von Verfahren

Allein beim Thermischen Spritzen sind die Variationsmöglichkeiten enorm: So gibt es etwa das Flammsspritzen, das Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, das Lichtbogendrahtspritzen oder das Plasmaspritzen. Diese können mit unterschiedlichen Brennern und mit verschiedenen Gasen betrieben werden. Als Beschichtungsmaterialien kommen Hart- und Weichmetalle, Legierungen, Keramiken und Verbundwerkstoffe zur Anwendung.

DEN KOMPLETTEN ARTIKEL FINDEN SIE ONLINE:

Beschichtungen in Triebwerken -
Thermische Verfahren:

www.aeroreport.de





Belastungsprobe fürs Triebwerk

Die Zertifizierung und Validierung eines Triebwerks ist ein jahrelanger, aufwendiger Prozess. Es geht dabei um Flugsicherheit, aber auch um Energieverbrauch und Instandhaltungsintervalle.

Autor: Tobias Weidemann

Neuer Business Jet — Die Citation Ascend soll dem Markt für mittelgroße Geschäftsreiseflugzeuge ein völlig neues Cockpit, verbesserte Leistung und eine luxuriösere Kabine bieten. Angetrieben wird sie von PW545D-Triebwerken von Pratt & Whitney Canada.

Dass die Luftfahrtindustrie zu den Branchen mit den höchsten Sicherheitsstandards gehört, dürfte kaum überraschen. Nicht nur die Flugzeuge selbst, sondern auch die Triebwerke und deren einzelne Komponenten durchlaufen aufwendige Tests und Prüfungen, bei denen nichts dem Zufall überlassen wird. Doch was genau passiert eigentlich, bevor ein Triebwerk schließlich am Flügel eines Flugzeugs hängen darf?

Hört man Dr. Stefan Gehring zu, der die Musterprüfleitstelle bei der MTU Aero Engines verantwortet, wird schnell klar, dass all das ein herausfordernder Prozess ist, bei dem es einerseits um die Zertifizierung gegenüber einer Luftfahrtbehörde geht, aber auch um die Validierung darüber hinausgehender Anforderungen. „Wir unterscheiden hier zwischen Certification und Qualification. Die Zertifizierung durch die Behörden fragt rein nach der Sicherheit und der Flugtauglichkeit, ist also ein flugsicherheitstechnischer Funktionsnachweis.“ Dieser Nachweis soll sicherstellen, dass das Triebwerk im gesamten Lebenszyklus in allen Betriebssituationen und Umgebungen nie den sicheren Flug gefährdet, also dass etwa ein sicherer Start auch bei Schnee und Eis möglich ist. Neben der unabhängigen Begutachtung der Konstruktion selbst wird beispielsweise ein umfangreiches Testprogramm durchgeführt, das

anspruchsvolle Dauerläufe, das Ansaugen von Fremdkörpern und den Betrieb bei hohen Temperaturen oder unter Vereisungsbedingungen umfasst. Nach der ersten Zertifizierung kann das Triebwerk in Betrieb gehen. Danach werden oft weitere Verbesserungen und Reparatur-Verfahren aufgrund der Betriebserfahrung entwickelt, die ebenfalls zugelassen werden müssen, um sie anwenden zu können.

„Für uns als Hersteller und für unsere Kunden hat bei allem die Sicherheit der MTU-Produkte Vorrang. Darüber hinaus fragen wir aber auch nach Effizienz, Energieverbrauch, Instandhaltungintervallen und zahlreichen technischen Messwerten“, so Gehring. Denn die MTU arbeitet natürlich daran, mit weniger Kraftstoff und Energie und damit weniger Emissionen auszukommen, um einen möglichst effizienten Flugbetrieb zu ermöglichen. Daher umfasst das Validierungsprogramm sehr verschiedene Triebwerkstests, die mit Fachabteilungen und Kooperationspartnern abgestimmt werden und damit einen größtmöglichen Erkenntnisgewinn gewährleisten.

Ein modifiziertes Triebwerk – mit einigen bewährten Komponenten

All das klingt zunächst theoretisch – und so erklärt Philipp Kreppenhof, Validierungsingenieur



EASA
European Union Aviation
Safety Agency

Die EASA ist die Flugsicherheitsbehörde der Europäischen Union für die zivile Luftfahrt. Ihr Sitz ist in Köln.



**Federal Aviation
Administration**

FAA
Federal Aviation
Administration

Die FAA ist die Bundesluftfahrtbehörde der Vereinigten Staaten. Ihr Sitz ist in Washington, D.C..

„Der ‚Block-Test‘ Test ist immer Pflicht und ist ein Dauerlauf, der zahlreiche relevante Daten über die Triebwerkslebensdauer vor allem im Heißteilbereich und über das Verhalten in typischen Serienbetriebssituationen inklusive Extrembedingungen liefert“

Philipp Kreppenhofer
Validierungsingenieur
bei der MTU

Simulationen — In Zukunft will man bestimmte Sachverhalte auch über einen Digitalen Zwilling, also eine komplette Computersimulation über den gesamten Lebenszyklus des Triebwerks hinweg, testen.

nieur bei der MTU, den Prozess am Beispiel des PW545D, ein Triebwerk, das die MTU in Kooperation mit Pratt & Whitney Canada für die Cessna Citation Ascend realisiert. Federführend ist in diesem konkreten Fall Pratt & Whitney Canada als Triebwerkshersteller und Auftragnehmer von Textron Aviation. Da Pratt & Whitney Canada in der Nähe von Montreal angesiedelt ist, erfolgt die Zertifizierung für die Zulassung durch Transport Canada (TCCA), das kanadische Ministerium für Verkehrswesen, das unter anderem für Luftfahrtsicherheitsfragen zuständig ist. Diese Zertifizierung wird dann in aller Regel aufgrund von bilateralen Abkommen durch die amerikanische Federal Aviation Administration (FAA) und die europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) übernommen. Die MTU wiederum unterstützt Pratt & Whitney im Vorfeld durch eine ausführliche Dokumentation derjenigen Teile, die vom Unternehmen kommen.

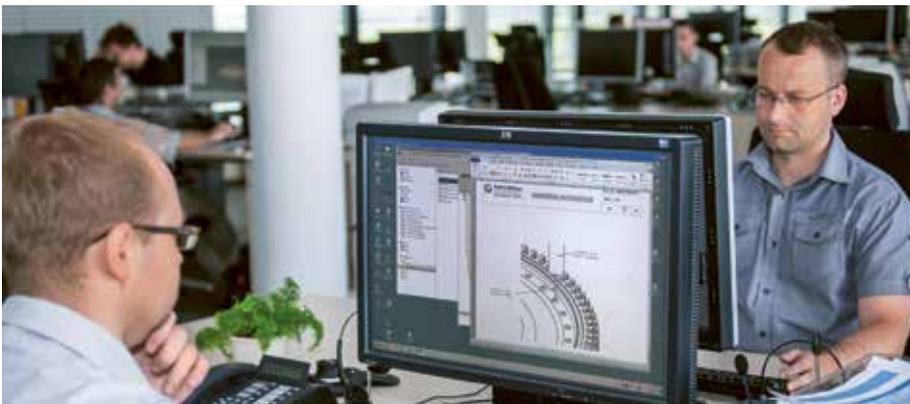
Immerhin handelt es sich in diesem Fall um eine Mustererweiterung, bei dem im Gegensatz zu einer Erstzertifizierung nur ein ausgewähltes Triebwerkstestprogramm gefahren werden muss. Das gibt der MTU die Möglichkeit, das Augenmerk gezielt auf neue Bauteile zu richten und besonders umfassende und sorgfältige Tests für jene Bestandteile durchzuführen, die sich entscheidend verändert haben. „Die Teile des Triebwerks, die bereits unverändert seit Jahren bei den Vorgängervarianten eingesetzt werden, sind bereits zertifiziert, was immerhin ein Großteil der Teile der PW545D betrifft“, sagt Kreppenhofer. Denn es handelt sich, die Bezeichnung verrät es bereits, um die D-Serie, die vierte und bis dato leistungsstärkste Variante der PW500-Serie. Diese weist einen verbesserten Kraftstoffverbrauch sowie einen höheren Wirkungsgrad auf als die Vorgän-

germodelle. Sie ist aber dennoch weit mehr als reine Modellpflege, auch wenn sich zwischen der C- und der D-Serie nur wenige Komponenten komplett geändert haben. „Verändert wurden“, so erklärt Kreppenhofer, „unter anderem das Turbinengehäuse und der Mischer, während Niederdruckturbinen und Turbinenaustrittsgewehäuse identisch mit der C-Version sind.“

Selbst bei Modifikation ein umfangreicher Prozess

Auch wenn der neue Business-Jet von Cessna erst im Jahr 2025 in den Regölarbetrieb gehen soll, haben die Entwicklung und der Zertifizierungsprozess bereits deutlich früher begonnen. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung ist die Verifikations- und Validierungsphase mit den ersten Entwicklungstests und Performanceläufen abgeschlossen. Dabei hat das Team in Abstimmung mit dem OEM und der Zulassungsbehörde entschieden, welche Bereiche wie validiert werden und mit welchen Testszenarien man die gewünschten Daten zuverlässig erheben kann. „Für die Tests, die dieses Jahr gelaufen sind, haben wir schon im Laufe des letzten Jahres die Hardware angepasst, instrumentiert und ausgeliefert, damit alles rechtzeitig vor Ort ist,“ so Kreppenhofer.

Anfang dieses Jahres fand der eigentliche Zulassungstest mit dem sogenannten Zertifikations-Endurance Test (auch „Block-Test“ genannt) statt. „Der ‚Block-Test‘ Test ist immer Pflicht und ist ein Dauerlauf, der zahlreiche relevante Daten über die Triebwerkslebensdauer vor allem im Heißteilbereich und über das Verhalten in typischen Serienbetriebssituationen inklusive Extrembedingungen liefert“, erklärt Kreppenhofer. Dabei werden unter anderem zahlreiche Starts und Landungen simuliert und das Triebwerk im Wechsel hoch- und runtergefahren, um möglichst den vollen Lebensdauerverbrauch insbesondere im Heißteilbereich in kürzester Zeit zu simulieren. Ziel ist es dabei, einen möglichst schnellen Überblick über den mechanischen Zustand des Triebwerks bis zur ersten geplanten Überholung der Maschine zu erhalten und die Flugsicherheit zu demonstrieren. So erlaubt der Test auch Rückschlüsse auf das Bauteilverhalten in verschiedensten Belastungsbereichen, beispielsweise bei Schwingungsanregungen aufgrund verschiedener Rotordrehzahlen und die Gewährleistung der mechanischen Integrität bis zur ersten geplanten Instandsetzung.





Die Cessna Citation Ascend

Reichweite mit 4 Passagieren	1.900 nm / 3.519 km
Max. Reisegeschwindigkeit	441 ktas / 817 km/h
Max. Anzahl Passagiere	12
Volle Treibstoffnutzlast	850 lb / 386 kg
Startstrecke	3.660 ft / 1.116 m



Antrieb für Business Jets — Seit 1993 ist die MTU mit 25 Prozent am PW500 beteiligt. Das PW545D nutzt neue Werkstoffe und Technologien, um den Treibstoffverbrauch zu senken, den Schub zu erhöhen und die Laufzeit zu verlängern.

Durchgeführt wurde außerdem ein SAS-Test (Secondary Air System), um das Luftsystem des Triebwerks zu überprüfen. „Dabei kann sich mitunter zeigen, inwiefern die im Test real gemessenen Druck- und Temperaturwerte mit den analytischen Modellen der MTU übereinstimmen. Die Verifizierung der Berechnungsmodelle ist ein wichtiger Schritt der Produktentwicklung“, so der Ingenieur. Gerade im Rahmen eines solchen Tests sollen große Mengen an Thermodaten gesammelt und ausgewertet werden. Die Ingenieur:innen können im Rahmen dieser zerstörungsfreien Testszenerien sehr gut einschätzen, ob es bei einzelnen Bauteilen Probleme oder Bauteilschädigungen geben könnte, die für den Serieneinsatz ein Ausschlusskriterium wären.

„Nach den Validierungs- & Zertifizierungsläufen schauen wir uns die Hardware im Detail an, um zu klären, ob diese erwartungsgemäße Abnutzung oder Auffälligkeiten aufweisen oder ob es hier Optimierungsbedarf gibt“, erklärt Kreppenhofer. Ausführlich bewertet die MTU nun die Daten und analysiert die Laborergebnisse. Mit den gesammelten Daten und Ergebnissen erstellen die Fachabteilungen Zulassungsberichte, die anschließend Pratt & Whitney bereitgestellt werden. Pratt & Whitney Canada trägt sämtliche relevante Daten zusammen und durchläuft so die Zertifizierung durch die Zulassungsbehörde TCCA und im weiteren der FAA und EASA.

Gesamtriebwerkstest vor Ort bringt wichtige Erkenntnisse

Entwickelt wird ein Teil der Komponenten am Standort in München, ein Teil bei der MTU Aero Engines Polska in Rzeszów. Dort sind viele Ingenieur:innen ansässig, die die Weiterentwicklung der PW545D vorantreiben, wie Projektleitung und Analytik. Umgekehrt sind viele Abteilungen, die für die Bereitstellung der Entwicklungshardware zuständig sind, in München angesiedelt, in denen auch die Beschaffung, Fertigung und Instrumentierung der entwicklungspezifischen Hardware (Gehäuse und Mischer) erfolgte. Der Zusammenbau des Triebwerks und die Ge-

samtriebwerkstests fanden bei Pratt & Whitney in Kanada statt. In der späteren Serienfertigung werden, wie auch zuvor bei der PW545C, die von der MTU Aero Engines Polska gelieferten Rotor- und Statorteile zusammengebaut, während Anbauteile, wie die Austrittsgehäuse und Mischer, in Einzelteilen bereitgestellt werden. Die Bauteile, die sich gegenüber dem PW545C-Standard nicht geändert hatten und für die Entwicklungstests eingesetzt wurden, kamen regulär aus der bereits laufenden Serienfertigung der MTU Aero Engines Polska.

Auch wenn all das nach einem hohen Aufwand klingt, gibt es hierfür im Interesse der Sicherheit keine Alternative: „Ein Gesamtriebwerkstest bringt wichtige Erkenntnisse für die beteiligten Fachabteilungen und wird deshalb in seiner Gesamtheit auch weiterhin für uns wichtig bleiben. Denn eine Zertifizierung der einzelnen Teile für sich in Deutschland würde nur einen Teil der relevanten Daten liefern und die Anforderungen an das Gesamtriebwerk nicht befriedigen“, erklärt Stefan Gehring.

Dennoch versuche man bereits heute, soweit wie möglich mit Simulationen zu arbeiten. In Zukunft will man bestimmte Sachverhalte auch über einen Digitalen Zwilling, also eine komplette Simulation im Computer über den gesamten Lebenszyklus des Triebwerks hinweg, testen. Mit Hilfe steigender Rechenleistung wird man immer mehr Testszenerien abbilden können, was die Entwicklung immens beschleunigen und vereinfachen kann. Hier wird man mittels Simulationen in Zukunft zudem deutlich schneller eine Vielzahl an Varianten berechnen können, sodass es der MTU zudem gelingt, Triebwerke gezielt für unterschiedliche Einsatzszenerien weiter zu optimieren. 

AUTOR:



Tobias Weidemann ist seit mehr als 20 Jahren als Journalist und Content-Berater tätig. Er berichtet über Technik- und Wirtschaftsthemen, oft mit Schwerpunkt auf Business-IT, Digitalisierung und Zukunftstechnologien.



Luftfracht ans Ende der Welt

*In der Arktis gibt es keine Straßen.
Alles, was die Menschen brauchen,
bringen Frachtflugzeuge in den hohen
Norden, manche sind bald 80 Jahre alt.*

Autor: *Andreas Spaeth*

Ende der Welt — *Ohne Luftverkehr wäre das Leben in vielen abgelegenen Orten Grönlands unmöglich. Hubschrauber spielen dabei eine besondere Rolle.*

Ein riesiges, weitgehend menschenleeres Territorium im hohen Norden des Globus mit oft extremen Wetterbedingungen und großen Entfernungen. So könnte man die Arktis beschreiben. Schon ein paar wenige Zahlen machen deutlich, dass das Leben hier ohne das Flugzeug nicht denkbar wäre: Alaska, der 49. Bundesstaat der USA, ist größer als ganz Westeuropa, hat aber nur 730.000 Einwohner, rund 300.000 Menschen leben außerhalb der einzigen beiden größeren Städte. Oder Grönland - die größte Insel der Welt, wo die Distanz von Nord nach Süd stolze 2.670 Kilometer beträgt. Die Oberfläche ist zu 82 Prozent vom dauerhaften Panzer des bis zu 3.000 Meter dicken Inlandeises bedeckt, nur an der Westküste gibt es eisfreie Stellen. Der kanadische Norden ist sogar anderthalb mal so groß wie Grönland und misst fast das Zehnfache der Landmasse Deutschlands. Hier verteilen sich 118.000 Menschen und in der gesamten Region gibt es gerade einmal fünf Flughäfen mit asphaltierten Pisten.

Air Greenland hat den einzigen Großraumjet in der Arktis

An der Westküste von Grönland leben die meisten der insgesamt 56.000 Einwohner, gerade etwa so viele wie in der deutschen Stadt Baden-Baden wohnen. Straßen gibt es in Grönland keine, aber Air Greenland fliegt alle 13 zivilen Flugplätze an, nur zwei können bisher Jets abfertigen, ab 2024 sollen es fünf sein. Der

bisher einzige Flughafen für Großraumflugzeuge ist Kangerlussuaq am Ende eines Fjords in Westgrönland, eröffnet 1941 als US-Militär-Basis. Von hier betreibt Air Greenland die interkontinentale Linienverbindung nach Kopenhagen. Und das seit 2023 mit einem werksneuen Airbus A330neo, dem einzigen weltweit in der Arktis stationierten zivilen Langstreckenjet. Über das früher als Søndre Strømfjord bekannte Drehkreuz ist mit Umsteigen jedes abgelegene Dorf mit oft kaum mehr als einem guten Dutzend Bewohnern erreichbar. Dafür gibt es landesweit 47 Heliports, wo zumindest Versorgungsflüge landen.

Online-Bestellung mit Auslieferung ans Ende der Welt

Der wichtigste Flughafen von Alaska liegt in Anchorage und ist kurioserweise einer der weltgrößten Frachtflughäfen. 2022 rangierte er nach dem umgeschlagenen und im Transit beförderten Frachtvolumen von 3,4 Millionen Tonnen global auf Platz drei, hinter Hongkong und Memphis, aber noch vor Shanghai. Das liegt zum einen daran, dass ein Großteil der Güter per Flugzeug in den nördlichsten Teil der USA geliefert wird, aber auch an seiner geografischen Lage zwischen Ostasien und der Ostküste der USA. Selbst die modernsten Boeing 747-8F-Frachtjumbos müssen hier in der Mitte eines der wichtigsten Warenströme der Weltwirtschaft ihre Tankstopps einlegen.

Jeden Mittag um kurz vor zwölf ist High Noon, wie Perlen auf der Schnur reihen sich dann die Jumbos im Landeanflug. Im Minutentakt setzen die Boeing 747-Transporter mit jeweils bis zu 120 Tonnen Fracht im Laderaum auf einer der beiden Pisten auf, nirgends auf der Welt sieht man so viele dieser mächtigen Maschinen auf einmal. Fünf, acht oder neun Stunden zuvor sind sie an der US-Ostküste, in Europa oder in Asien gestartet. Knapp zwei Stunden später ist das Vorfeld wieder halb leer, die Flugzeuge längst auf dem Weg an ihr eigentliches Ziel, den Bauch voller Fracht von Kontinent zu Kontinent, aber auch mit Gütern für und aus Alaska.

Die Waschmaschine fliegt zum Post-Tarif

Neben dem globalen Cargo-Jetset gibt es aber hier in Alaska und nebenan im Norden Kanadas auch kleine lokale Gesellschaften als Spezialisten für die Auslieferung in die weite Wildnis von so ziemlich allem, was man so braucht zum Leben: Von Bauholz oder Brennstoff bis zu frischen Früchten und Medikamenten. Dazu gibt es in Alaska ein einzigartiges System: Selbst Waschmaschinen und anderes Großgerät können sich die Einheimischen zum billigen Post-Tarif ins letzte Dorf schicken, beziehungsweise fliegen lassen. „Wir erhalten vom Staat die Differenz zwischen den Posttarifen und den tatsächlichen Luftfrachtkosten, das ist für die Regierung billiger, als Straßen zu bauen“, erklärt Edward Peebles von Warbelow's Air, die ab Alaskas zweitgrößter Stadt Fairbanks solche Versorgungsflüge macht – zum Beispiel nach Fort Yukon am Yukon River, gerade mal 233 Kilometer entfernt.

Schnell mal eben ins Auto springen und nach zwei Stunden auf menschenleerer Straße dort sein – so einfach ist das in Alaska nicht. Die Menschen hier siedeln weit verteilt in vielen entlegenen Dörfern an, Wasser ist immer in der Nähe – schwimmfähige Flugzeuge sind daher das häufigste Verkehrsmittel. „Allein der Mittelteil Alaskas ist größer als Kalifornien – aber Sie müssen sich Kalifornien ohne Straßen vorstellen“, sagt Edward Peebles. Er und seine Firma leben davon, dass viele Menschen in Alaska ihre Siedlungen nicht per Auto erreichen können – sogar Alaskas Hauptstadt Juneau ist nur aus der Luft oder per Schiff zugänglich. Warbelow's Air betreibt ein gutes Dutzend sechssitziger Piper Navajos. „Wir sind die Lebensader für viele Dörfer, 28 Siedlungen bedient Warbelow's allein aus Fairbanks“, erklärt der Manager.

Kartonweise Windeln für Fort Yukon

Draußen vor dem Terminal für Kleinflugzeuge wird an diesem strahlend blauen Frühlingstag gerade eine Piper für den Flug nach Fort Yukon beladen. Um das Flugzeug herum stapeln sich Pappkartons voller Babywindeln, Waschmittel und Spielzeug. Pilot Richard verteilt alles sorgfältig im Frachtraum in der Flugzeugnase und hinter der Kabine. Sogar in die kleinen Gepäckfächer in den Tragflächen hinter den beiden Propellern wandern noch ein paar Rollen Klopapier, alle Staumöglichkeiten werden genutzt. 18 Kilogramm Freigeäck hat jeder Passagier, der für den Hin- und Rückflug zwischen Fairbanks und Fort Yukon über 200 US-Dollar auf den Tisch legen muss, viel Geld für die meist zum Stamm der Athabaska-Indianer gehörenden Einwohner der Siedlung. Dort, gerade mal 13 Kilometer nördlich des Polarkreises, leben jetzt im Sommer bis zu 800 Leute, im Winter sind es manchmal nur 200, Lebensgrundlage ist das Fischen und Jagen. Heute sind nur drei Passagiere gebucht, also können noch ein paar Kisten mehr verladen werden und garantieren bei Warbelow's Air die immer gute Auslastung.

Natürlich müssen auch große und schwere Güter per Luftfracht in jedes Dorf gelangen, zum Beispiel Baumaterial oder Boote. Das schaffen die kleinen Pipers von Warbelow's Air nicht, doch gleich gegenüber des General Aviation Terminals findet sich auf dem Vorfeld von Fairbanks jede Menge geeignetes Fluggerät. Das Subventionssystem in Alaska und ähnliche Regelungen in der kanadischen Arktis hat ganze Geschwader von Kolbenmotor-Frachtern aus den 1940er und 1950er Jahren am Leben erhalten, die überall sonst in der Welt längst verschrottet wurden. Die unverwüstlichen Evergreens sind trotz aufwendiger Wartung in ihrer Robustheit im hohen Norden unersetzlich. Gleich neben dem Hangar, in dem Everts Air gerade eine ihrer DC-6 von 1954 wartet, steht eine noch fast ein Jahrzehnt ältere Frachtmaschine des Typs Curtiss C-46 – ausgeliefert an die US Air Force im Februar 1945, damals das größte zweimotorige Flugzeug der Welt.



High Noon für Frachtjumbos — Auf dem Flughafen von Anchorage in Alaska treffen sich zur Tagesmitte Dutzende von Boeing 747-Frachtern, die hier auf ihrem Weg zwischen Asien und Nordamerika zum Auftanken zwischenlanden.



Knallroter Kurier — Air Greenland stellt vor allem mit Dash-8 innerhalb Grönlands die Anbindung der wichtigsten größeren Siedlungen sicher, die oft auch nur wenige hundert Einwohner haben.



Lebenswichtiger Versorgungsweg — Zweimotorige Flugzeuge, wie diese Piper, sind die typische Wahl um den Transport von Menschen und Gütern zwischen regionalen Zentren und abgelegenen Dörfern Alaskas zu garantieren.



Unverwüsthliche Oldies — Everts Air in Fairbanks betreibt DC-6 aus den 1950er und mehrere Curtiss C-46 von 1944, mit denen bis heute Fracht und Treibstoff in Siedlungen in die Wildnis geflogen werden, wohin keine Straßen führen.

Über die steile Leiter klettert die Besatzung an Bord – der riesige Laderaum ist vollgestapelt mit Rigips-Platten und Zementsäcken für den ganz hohen Norden. „Niemand kann glauben, dass diese Maschine 1945 gebaut wurde“, sagt Rob Everts, Chef von Everts Air, der die Veteranen auch selbst fliegt. Nur wenige Schritte weiter wird ebenfalls an einer C-46 desselben Jahrgangs gearbeitet – mit ihr fliegt die Tochterfirma Everts Air Fuel Treibstoff in abgelegene Gebiete. Der Name der unverwüsthlichen Zweimotorigen ist Programm: „Hot Stuff“. Für Frachtpilot:innen in Alaska ist keine Aufgabe zu schwierig: „Ich bin früher mit der DC-6 auf die Aleuten-Inseln geflogen“, erinnert sich Everts. „Wir mussten

die Straße als Landebahn benutzen und konnten wegen des extremen Wetters sowieso nur selten runtergehen – aber wenn wir kamen, dann war es für die Einwohner wie Weihnachten.“ ✈️

AUTOR:



Andreas Spaeth ist seit über 25 Jahren als freier Luftfahrtjournalist in aller Welt unterwegs, um Airlines und Flughäfen zu besuchen und über sie zu berichten. Bei aktuellen Anlässen ist er ein gefragter Interviewpartner in Hörfunk und Fernsehen.



Der Club der Hundertjährigen

KLM war 2019 die Erste, dieses Jahr sind es Finnair und Czech Airlines, 2026 folgt Lufthansa: In den 2020er Jahren begehen viele Airlines ihren runden Geburtstag.

Autor: *Andreas Spaeth*

Am 12. September 1919 verlieh die niederländische Königin Wilhelmina der ersten Luftfahrtgesellschaft ihres Landes das Prädikat „königlich“, zugleich war das junge Unternehmen eines der ersten seiner Art weltweit. Und viele Jahre später wurde sie die erste Airline, die mit ihrem ursprünglichen Namen über hundert Jahre besteht. Dieses royale Privileg gleich zu Beginn hatte noch kein anderes Unternehmen in den Niederlanden bei seinem Start erhalten. Doch kurz nach dem ersten Weltkrieg stieg die Bedeutung des Flugzeugs als ziviles Verkehrsmittel. Die Gründung der „Koninklijke Luchtvaart Maatschappij“, abgekürzt KLM, der königlichen Luftfahrtgesellschaft, war da ein deutliches Signal.

Gerade mal knapp 16 Jahre zuvor, am 17. Dezember 1903, waren überhaupt erstmals Menschen erfolgreich mit einem steuerbaren Fluggerät abgehoben und wieder gelandet: Die Brüder

Wright mit ihrem primitiven Wright Flyer an den Dünen von Kitty Hawk in North Carolina. Doch nun ging alles sehr schnell, auch auf anderen Erdteilen gründeten sich die ersten Luftverkehrsgesellschaften. In den 2020er Jahren erreichen nun gut ein Dutzend von ihnen, die so lange überdauert haben, ihr hundertjähriges Jubiläum. Der **AEROREPORT** stellt eine Auswahl von Airlines mit solch langer Historie in der Reihenfolge ihrer Gründung vor.

AUTOR:



Andreas Spaeth ist seit über 25 Jahren als freier Luftfahrtjournalist in aller Welt unterwegs, um Airlines und Flughäfen zu besuchen und über sie zu berichten. Bei aktuellen Anlässen ist er ein gefragter Interviewpartner in Hörfunk und Fernsehen.



FIRMENSITZ: Niederlande

GEGRÜNDET: 07.10.1919

ERSTFLUG: 17.05.1920 / De Havilland DH-16 von London-Croydon nach Amsterdam-Schiphol

FLOTTENSTÄRKE 2023: 110 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: 25,8 Mio.



KLM begann bereits 1924 mit Langstreckenflügen nach Batavia, dem heutigen Djakarta mit einer Fokker F.VII. Schon ab 1934 bestellte KLM Flugzeuge bei Douglas in den USA, zuerst die DC-2. Später DC-3, DC-4 und DC-6. Bereits 1946 wurden auch Langstrecken wieder aufgenommen, zunächst nach New York. Als ersten Jet führte KLM 1960 die DC-8 ein und blieb später auch mit der DC-10 und der MD-11 treu, setzte ab 1971 aber auch auf die Boeing 747. 2005 schloss sich KLM mit Air France zu einem gemeinsamen Unternehmen zusammen.



FIRMENSITZ: Kolumbien

GEGRÜNDET: 05.12.1920

ERSTFLUG: 05.12.1920 / Junkers F 13 von Barranquilla nach Puerto Colombia

FLOTTENSTÄRKE 2023: 110 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: 24,6 Mio.



Mitte der 1920er Jahre begannen internationale Flüge von Kolumbien in die Nachbarländer. Als Amerikas älteste Airline, nun unter neuem Namen, begann Avianca 1946 mit internationalen Flügen auch in die USA und nach Europa, eingesetzt wurden DC-4, ab 1951 Lockheed Super Constellations. 1961 leaste man mit zwei Boeing 707 die ersten Jets, ab 1976 als erste lateinamerikanische Airline die Boeing 747. 2005 und 2021 überstand Avianca zwei Chapter-11-Konkursschutzverfahren und startete jeweils von Neuem.



FIRMENSITZ: Australien

GEGRÜNDET: 16.11.1920

ERSTFLUG: 02.11.1922 / Avro 504-Doppeldecker

FLOTTENSTÄRKE 2023: 125 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: 21,25 Mio.



Zunächst transportierte Qantas Passagiere vom westlichen Queensland in andere Teile Australiens, ab Mai 1934 begann Qantas Flugbootdienste von Darwin nach Singapur. Ab Dezember 1947 bediente die Airline mit der Lockheed Constellation London, was pro Strecke vier Tage dauerte. Mit Lieferung der ersten Boeing 707 begann Qantas die Jet-Ära, ab 1971 wurde Qantas bis einschließlich 2020 zu einem wichtigen Betreiber der Boeing 747.



FIRMENSITZ: Tschechische Republik

GEGRÜNDET: 29.07.1923

ERSTFLUG: 29.10.1923 / Aero A-14
von Prag nach Bratislava

FLOTTENSTÄRKE 2023: 2 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: k. A.



Im Juli 1930 wurde die erste internationale Route nach Zagreb eröffnet und ab 1937 die DC-2 und DC-3 beschafft. Nach der deutschen Besetzung wurde die Gesellschaft aufgelöst und erst 1945 wieder gegründet sowie der Betrieb mit drei Junkers Ju 52 und DC-3 aufgenommen. Ab 1949 kamen nur noch sowjetische Flugzeugtypen zum Einsatz. 1992 wurde ČSA privatisiert, seit Abspaltung der Slowakei firmiert sie als Czech Airlines. Derzeit ist die Gesellschaft im Besitz von Smartwings, nach einer Beinahe-Pleite 2021 auf ein Minimum geschrumpft und fliegt nun nur noch nach Paris.



FIRMENSITZ: Finnland

GEGRÜNDET: 01.11.1923

ERSTFLUG: 20.03.1924 / Junkers F 13
von Helsinki nach Tallinn

FLOTTENSTÄRKE 2023: 79 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: 9,1 Mio.



Ab 1936 nutzte Finnland feste Flugplätze. Nach dem Krieg begannen Flüge nach Europa im November 1947 mit der DC-3, ab 1953 wurde als Markenname Finnair verwendet. Mit der Convair 440 bot die Gesellschaft jetzt auch längere Routen bis nach London. Die Caravelle startete 1961 die Jet-Ära, ab 1968 begann mit der DC-8 der Transatlantikverkehr. Ab 1983 entwickelte sich Finnair zunächst mit der DC-10 zum Pionier für den Verkehr von Europa über kürzere nördliche Routen nach Asien, ein lukratives Geschäftsmodell bis zum Ukraine-Krieg 2022.



FIRMENSITZ: USA

GEGRÜNDET: 02.03.1925

ERSTFLUG: 17.06.1929 / von Dallas, Texas,
nach Jackson, Mississippi
mit zwei Zwischenstopps

FLOTTENSTÄRKE 2023: 936 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: 141,6 Mio.



Ab 1934 führte Delta zunächst Luftpostflüge durch, den heutigen Namen Delta Air Lines trägt das Unternehmen seit 1945. Bereits 1953 flog es erste internationale Routen, 1959 begann mit der DC-8, die Delta als erste einsetzte, die Jet-Ära, 1965 war sie auch Erstbetreiber der DC-9. Die interkontinentale Expansion startete erst 1981 mit ersten London-Flügen, 1987 folgten dann Transpazifik-Routen. Delta ist die umsatzstärkste Airline der Welt und bei Passagierzahlen an dritter Stelle weltweit.



Lufthansa

FIRMENSITZ: Deutschland

GEGRÜNDET: 06.01.1926

ERSTFLUG: 06.04.1926 / Fokker F.II
von Berlin-Tempelhof via Halle,
Erfurt und Stuttgart nach Zürich

FLOTTENSTÄRKE 2023: 328 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: 93 Mio.



Die Luft Hansa breitete sich neben ihrem dichten Europeanetz früh auf andere Kontinente aus, schon 1928 flogen ihre Piloten erstmals nonstop von Europa nach Amerika, bald wurde eine Passagierroute nach Tokio eingerichtet sowie Tochterfirmen in Brasilien und China gegründet. Am 1. April 1955 startete die Nachkriegs-Lufthansa und machte sich schnell in aller Welt einen Namen. Im März 1960 begann mit der Boeing 707 das Jet-Zeitalter. Erst seit 1997 ist die Lufthansa vollständig privatisiert.

American Airlines

FIRMENSITZ: USA

GEGRÜNDET: 15.04.1926

ERSTFLUG: 15.04.1926 / De Havilland
DH-4-Doppeldecker
von St. Louis nach Chicago

FLOTTENSTÄRKE 2023: 948 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: 199,2 Mio.



82 kleinere Airlines flogen in den frühen 1930er Jahren mit eigenem Namen unter der Dachmarke American Airways. Am 25. Juni 1936 startet American Air Lines ihre Liniendienste als eigenständige Marke mit einem DC-3-Flug von Newark nach Chicago. Daraus sollte bald die in jeder Hinsicht größte Airline der Welt entstehen. Bereits 1959 begann American mit der Boeing 707 die Jet-Ära. Schwerpunkt war stets der Inlandsverkehr, erst ab 1982 wurde mit London erstmals Europa angefliegen. Mit Übernahme der TWA 1991 expandierte American im Transatlantikverkehr, heute bedient sie 48 Länder.

IBERIA

FIRMENSITZ: Spanien

GEGRÜNDET: 28.06.1927

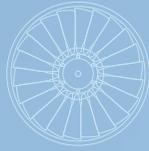
ERSTFLUG: 14.12.1927 /
Rohrbach Ro VIII
von Barcelona nach Madrid

FLOTTENSTÄRKE 2023: 89 Flugzeuge

PASSAGIERE 2022: 12,2 Mio.



Zu Anfang spielte die DLH eine wesentliche Rolle im Flugbetrieb der Iberia, noch 1939 übernahm sie Junkers Ju 52 aus Deutschland. Schon 1946 war Iberia die erste europäische Fluggesellschaft mit Südamerika-Flügen, als sie mit der DC-4 begann nach Buenos Aires zu fliegen, ab 1954 wurde die Lockheed Super Constellation eingesetzt. Jets kamen ab 1961 mit der DC-8 und der Caravelle zum Einsatz. Iberia wurde 2001 privatisiert.



**IAE feiert 40 Jahre
Spitzentechnologie**

7.850 Triebwerke hat IAE ausgeliefert. Aktuell sind 5.280 V2500 an mehr als 2.300 Flugzeugen von über 160 Airlines in 80 Ländern im Einsatz.



Es fliegt und fliegt und fliegt

40 Jahre: Das IAE-Konsortium feiert in diesem Jahr mit dem V2500-Triebwerk eines der erfolgreichsten Triebwerksprogramme.

Autor: Thorsten Rienth

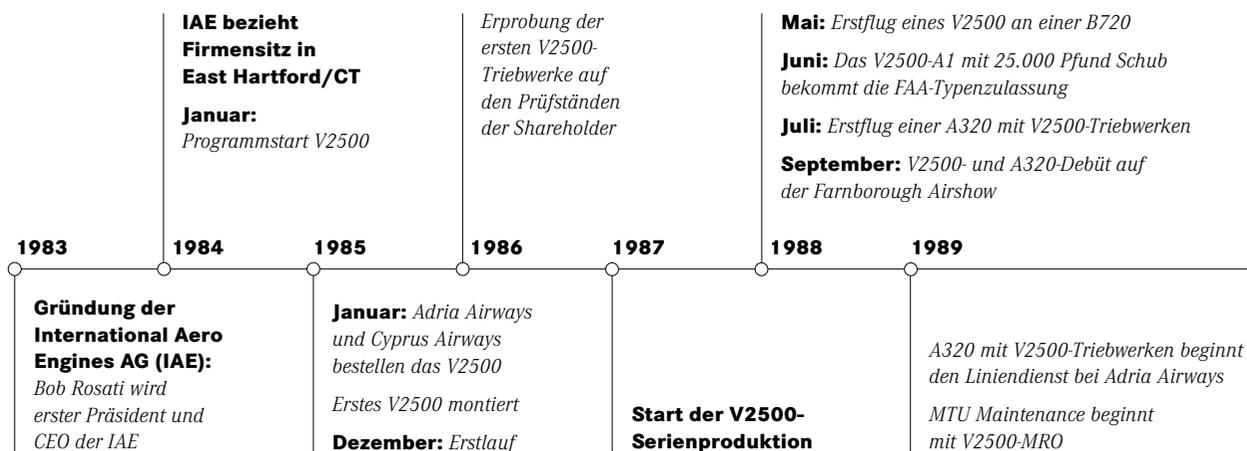
„Einfach schnell drüben in den USA anrufen oder mal eben eine Videokonferenz mit Japan aufsetzen, das war vor 40 Jahren noch gar nicht erfunden“, schmunzelt Klaus Diederichs, heute zweiter Vorstand des MTU-Museums-Fördervereins Freunde der MTU-Triebwerkstechnik. Der Ingenieur erinnert sich deshalb so genau, weil er zu den ersten MTUler:innen gehört, die nach der Gründung des International Aero Engines-Konsortiums (IAE) im Jahr 1983 in dessen Zentrale arbeiteten.

Dort in East Hartford im US-Bundesstaat Connecticut herrscht regelrechte Aufbruchsstimmung. „Ein Gemeinschaftsunternehmen, das sich mit fünf Nationen auf drei Kontinenten zur Entwicklung und Produktion eines neuen Kurz- und Mittelstreckentriebwerks zusammengeschlossen hat, das war schon eine ganz außerordentliche Sache“, erzählt Diederichs.

Auf Aufbruchstimmung folgt Ernüchterung – aber dann platzt der IAE-Knoten

Die ersten Jahre verlangten Durchhaltevermögen. Im Jahr 1988 zertifiziert geht das erste V2500-A1 ein Jahr später an einem Airbus von Adria Airways in Dienst. „In meine Zuständigkeit fiel vor allem die MTU-Niederdruckturbine. Da ging es viel um Kostenthemen und Lieferfähigkeiten,“ erinnert sich Diederichs. Zum Glück: Denn bei anderen Modulen waren die Vertreter:innen der Partnerunternehmen vor allem mit der Heilung sogenannter Kinderkrankheiten beschäftigt.

So richtig platzt der IAE-Knoten erst mit der V2500-Entscheidung von United Airlines im Jahr 1991. 100 neue Flugzeuge aus der A320-Familie bestellte die Airline. Wenig später wählt die Luft-hansa das Triebwerk für ihre neuen Airbus A321 aus. Von da an





V2500 — Vier V2500-Varianten gibt es mittlerweile. Die -A1 und -A5 für den Airbus A320, die -D5 für die McDonnell Douglas MD-90 sowie die -E5 für den Militärtransporter Embraer C-390.

Als alles begann — 1986 fand die Erprobung der ersten V2500-Triebwerke auf den Prüfständen der Shareholder statt.



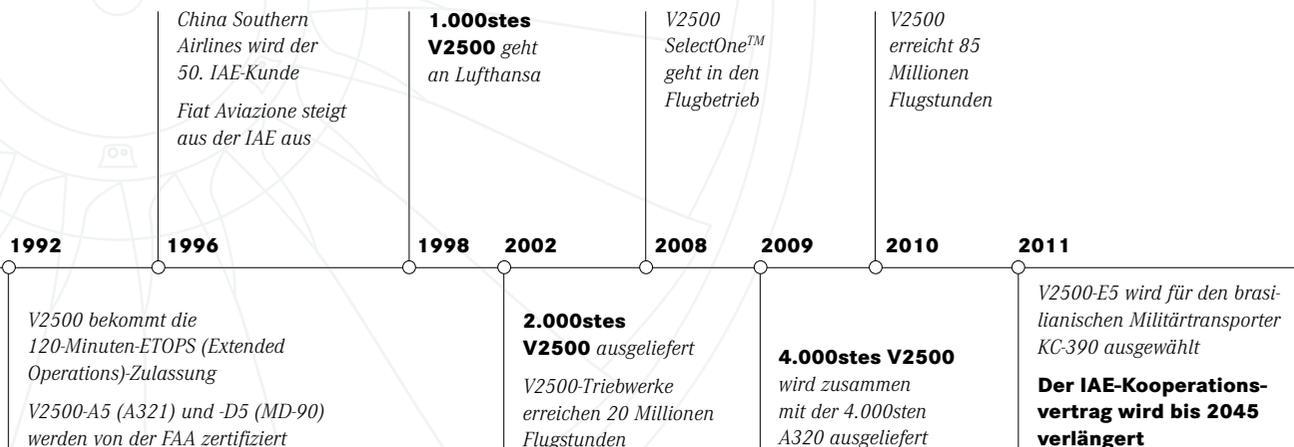
steht dem Triebwerk die Luftfahrtwelt offen gegenüber. 135 Millionen Flüge mit gut 255 Millionen Flugstunden absolvierten die V2500-Triebwerke seit dem Erstflug im Jahr 1986, knapp 16 Millionen Flugstunden werden im Jahresverlauf 2023 hinzukommen. Mehr als 2.300 Jets starten, fliegen und landen derzeit bei über 160 Airlines damit. Alle zehn Sekunden hebt irgendwo auf der Welt ein Flugzeug mit dem Antrieb ab.

MTUler:innen, die noch nie irgendwie mit der „V“ zu tun hatten, gibt es kaum

Ohne die „V“, wie sie MTU-Kolleg:innen untereinander liebevoll abkürzen, hätte es einen guten Teil des Wachstums der vergangenen beiden Jahrzehnte kaum gegeben: Das Unternehmen ist mit 16 Prozent Programmanteil für die Entwicklung von Niederdruckturbinen (NDT), Gehäusen sowie Anbaugeräte und Externalen verantwortlich. Dazu kommt die Fertigung des NDT-Bauteilspektrums sowie des Gehäuses.

Vier V2500-Varianten gibt es mittlerweile. Die -A1 und -A5 für den Airbus A320, je eine leistungsgesteigerte und gedrosselte -A5 für den Airbus A321 und den Airbus A319, die -D5 für die McDonnell Douglas MD-90 sowie die -E5 für den Militärtransporter Embraer C-390, die erst vor wenigen Jahren in die Serie gegangen ist. Und einen weiteren wichtigen Meilenstein erreicht das Triebwerk aktuell: Am MTU-Standort in Hannover wird aktuell die Beimischung von 10 Prozent Sustainable Aviation Fuels (SAF) getestet, die Triebwerksexpert:innen halten sogar 100 Prozent für möglich.

Die Fertigung ihrer Komponenten bündelt die MTU heute hauptsächlich an ihren Standorten in München und Rzeszów, die Montage der Niederdruckturbinen fand zu Beginn bei der MTU Maintenance Berlin-Brandenburg statt. Die Instandhaltung, teils im Auftrag der IAE, teils direkt für Airlines, erfolgt an den MTU-Standorten in Hannover, Vancouver und Zhuhai. Nova Pazova in Serbien und Kota Damansara in Malaysia sind in der Teilreparatur an Bord. Natürlich hat auch die MTU Maintenance Lease Services das Trieb-





Shop Visit — Rund 30 Prozent der 5.286 Triebwerke im Einsatz haben ihren ersten vorgesehen Shop Visit noch vor sich.



Prüfender Blick — Die Instandhaltung erfolgt an den MTU-Standorten Hannover, Vancouver und Zhuhai.

werk im Portfolio. MTUler:innen, die noch nie irgendwie mit dem V2500 zu tun hatten? Dürfte es kaum geben.

Dabei hat das Programm im IAE-Jubiläumsjahr gerade erst den Höhepunkt seiner Wirtschaftlichkeit erreicht. „Vor allem zwischen 2014 bis 2017 hat die IAE bis zu 500 Triebwerke im Jahr ausgeliefert“, sagt Reiner Wenig, Leiter Business and Operations für die V2500-NDT. „Die fliegende Flotte ist daher noch vergleichsweise jung: Von den aktuell knapp 5.300 Triebwerken im Einsatz haben etwa 30 Prozent noch nicht einmal ihren nach sieben Betriebsjahren vorgesehenen ersten Shop Visit gesehen.“ Gleichzeitig sind noch zahlreiche ältere Triebwerke im Einsatz. „Der Bedarf an Ersatzteilen bleibt also hoch“, schlussfolgert Wenig.

Die unterschiedlichen Unternehmen und Kulturen, die damals in den frühen 1980er Jahren der IAE beitraten, hätten eine Schwäche sein können. Doch genau darin könnte auch das Erfolgsgeheimnis liegen. Eines der erfolgreichsten Triebwerke der zivilen Luftfahrtgeschichte zu produzieren, so viel ist klar, wird der IAE niemand mehr nehmen können. 

AUTOR:



Thorsten Rienth schreibt als freier Journalist für den AEROREPORT. Seine technikjournalistischen Schwerpunkte liegen neben der Luft- und Raumfahrtbranche im Bahnverkehr und dem Transportwesen.

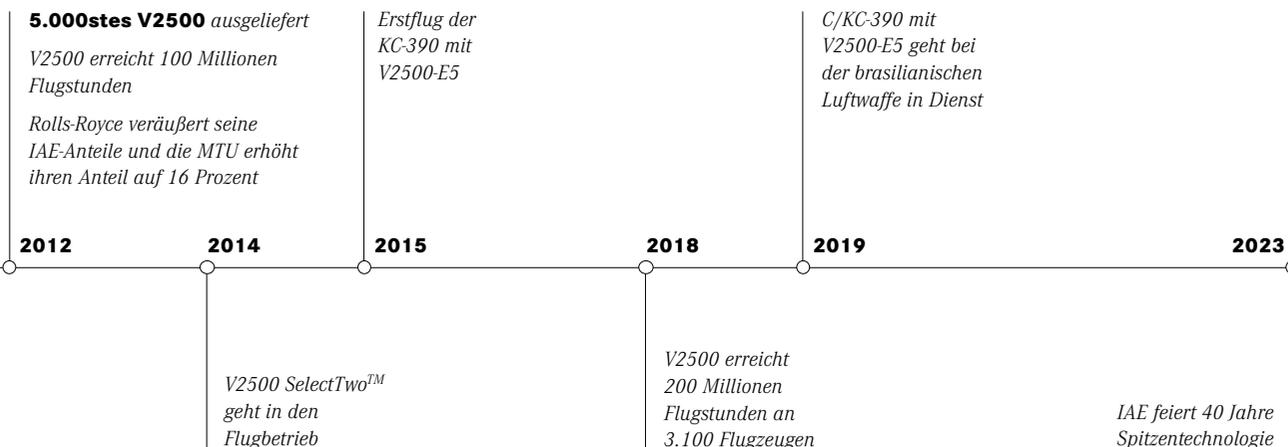
500.000 Menschen fliegen täglich mit einem Flugzeug mit V2500-Antrieb.

5.286 V2500-Triebwerke sind derzeit weltweit im Einsatz.

135 Millionen Flüge haben V2500-Triebwerke seit dem Erstflug im Jahr 1986 absolviert. Das entspricht **mehr als 255 Millionen Flugstunden**.

50 Prozent beträgt ungefähr der Marktanteil des V2500 bei Narrowbody-Flugzeugen.

Alle 10 Sekunden hebt irgendwo auf der Welt ein Flugzeug mit V2500-Antrieb ab.





Dr. Kay Plötner

*Leiter Ökonomie und Verkehr beim
Think Tank Bauhaus Luftfahrt im Gespräch.*

Fliegen in der Stadt

Dr. Kay Plötner vom Think Tank Bauhaus Luftfahrt analysiert Potenziale und Herausforderungen für den nachhaltigen Einsatz von Lufttaxis, insbesondere elektrischen Senkrechtstartern.

Autorin: Nicole Geffert



„Die Luftfahrt ist immer dann besonders stark, wenn es darum geht, große Distanzen zu überwinden oder wenn es am Boden keine Möglichkeiten gibt, schnell und flexibel von A nach B zu kommen. Lufttaxis könnten vor allem in Regionen, die durch geografische Besonderheiten wie Inseln oder Berge gekennzeichnet sind, den Menschen einen Mehrwert bieten, indem sie die Reisezeit verkürzen und die Erreichbarkeit erhöhen.“

Dr. Kay Plötner, Leiter Ökonomie und Verkehr beim Think Tank Bauhaus Luftfahrt



Dr. Kay Plötner

Leiter Ökonomie und Verkehr
beim Think Tank Bauhaus Luftfahrt

Bevor Dr. Kay Plötner 2010 zum Bauhaus Luftfahrt wechselte, studierte und promovierte er an der Technischen Universität München im Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik.

Seit 2016 leitet er beim Bauhaus Luftfahrt das Team Ökonomie und Verkehr, das zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten des Lufttransportsystems vordenkt und wesentliche Treiber auf sozioökonomischer, politischer und ökologischer Ebene identifiziert.

Das Team forscht an vielsprechenden Integrationslösungen für Metropol- und ländliche Regionen weltweit unter Berücksichtigung von Ökonomie, Ökologie, Gerechtigkeit sowie Stadtplanung.

Weniger Staus und CO₂-Emissionen, eine bessere Mobilität in Städten und Ballungszentren: Die Erwartungen an Urban Air Mobility (UAM) sind hoch. Weltweit arbeiten Unternehmen und Start-ups an Lufttaxis, insbesondere an elektrisch angetriebenen Senkrechtstartern (electric vertical take-off and landing; eVTOL) und hoffen auf das ganz große Geschäft mit den kleinen Fluggeräten. Doch wie realistisch ist diese Vision? Dr. Kay Plötner, Leiter Ökonomie und Verkehr sowie Experte für Urban & Regional Air Mobility beim Think Tank Bauhaus Luftfahrt, spricht über die Perspektiven der neuartigen Flieger.

AEROREPORT: Herr Dr. Plötner, was ist Urban Air Mobility?

Plötner: Urban Air Mobility ist ein Transportsystem, das Passagiere, Fracht und Dienstleistungen in und zwischen Städten befördert. In diesem Konzept spielen neben kleineren Drohnen auch Lufttaxis, insbesondere eVTOL-Fluggeräte, eine zentrale Rolle. Dank neuer Technologien wie elektrische Antriebe und verbesserte Batteriekapazitäten können dabei Senkrechtstarter-Systeme eingesetzt werden. Diese Fluggeräte erfüllen ähnliche Funktionen wie Hubschrauber, sind aber leiser und kostengünstiger zu betreiben.

AEROREPORT: Das Bauhaus Luftfahrt sieht in Urban Air Mobility keinen Ersatz für herkömmliche Verkehrsmittel, sondern eine Ergänzung. Sie kommen zu dem Schluss, dass Lufttaxis kein Game Changer für die städtische Mobilität sein werden. Warum nicht?

Plötner: Der potenzielle Zeitvorteil von Urban Air Mobility ist im Vergleich zum Autofahren nur in stark überlasteten Gebieten gegeben, wenn die Anfahrten und Zugänge zu den Vertiports kurz sind. Vertiports sind spezielle Start- und Landplätze für eVTOL-Fluggeräte, die eine erhebliche Bodeninfrastruktur erfordern und erst noch geplant, finanziert und aufgebaut werden müssen. Um einen Durchsatz von etwa 100 Passagieren pro Stunde zu erreichen, ist ein Vertiport in der Größe eines Fußballfeldes erforderlich. Die Anzahl und Größe der Vertiports werden jedoch durch Platzmangel – der Raum in den Städten ist knapp und wertvoll – sowie Lärmschutz und Sicherheitsanforderungen stark begrenzt.

AEROREPORT: Könnten Lufttaxis den Verkehr auf den Straßen spürbar entlasten?

Plötner: Es ist unwahrscheinlich, dass die Lufttaxis das Stauproblem in den Städten lösen werden, da nur eine ausgewählte Gruppe von Menschen sich regelmäßige Flüge mit einem Flugtaxi leisten können. eVTOL-Fluggeräte sind auf kleine Nutzlasten beschränkt, typischerweise gibt es vier bis sechs Sitzplätze. Die zu erwartenden hohen Transportkosten muss sich eine geringe Anzahl von Passagieren teilen. Die meisten UAM-Studien schätzen, dass die Flugtaxis langfristig einen Marktanteil von 1 Prozent erreichen werden – vor allem wegen der hohen Investitionskosten für Fluggeräte und Infrastruktur sowie für das Personal. Die ersten Anwendungen werden voraussichtlich noch nicht autonom, sondern mit Pilot:innen fliegen. Infolge des geringen Marktanteils wird Urban Air Mobility daher keinen nennenswerten positiven Effekt bei der Reduzierung von Staus haben.



„CenterAirStation“ — Das Konzept dieses Innenstadtflughafens zielt darauf ab, die Kapazität des Luftverkehrssystems signifikant zu erhöhen, indem bestehende und zukünftige Städteverbindungen von konventionellen Flughäfen an solche Innenstadtflughäfen verlagert werden. CenterAirStation wurde vom Bauhaus Luftfahrt zusammen mit Student:innen der Glasgow School of Art entwickelt.

AEROREPORT: Gibt es einen ökologischen Vorteil von Urban Air Mobility?

Plötner: CO₂-Emissionen können nur reduziert werden, wenn Flüge mit Lufttaxis die Fahrten mit Autos mit Verbrennungsmotor ersetzen. Da das senkrechte Starten und Landen die energieintensivste Art des Fliegens ist, sind der elektrische Energieverbrauch und die erforderlichen Batteriemassen im Vergleich zu Elektroautos deutlich höher. In den meisten Szenarien sind Lufttaxis daher weniger ressourceneffizient als andere elektrisch betriebene Verkehrsträger. Ein weiterer Aspekt sind die Lärmemissionen. Es ist wissenschaftlich erwiesen, dass höhere Lärmpegel die Gesundheit und Lebensqualität der Menschen in den Städten beeinträchtigen können. Insbesondere in europäischen Städten wird ein höherer Lärmpegel nicht akzeptabel sein.

AEROREPORT: Einige eVTOL-Hersteller rollen bereits Richtung Startbahn. Volocopter beispielsweise will 2024 während der Olympischen Spiele in Paris Passagiere fliegen. Wie schätzen Sie die Entwicklung ein?

Plötner: Das wird sicher eine Attraktion für die Besucher. Wir gehen jedoch davon aus, dass eVTOL-Fluggeräte ein Nischenprodukt bleiben

werden. Dennoch bieten sich für Hersteller und Betreiber attraktive Geschäftsmodelle. Selbst wenn Lufttaxis eine Nische besetzen, könnte die Produktion von eVTOL-Fluggeräten die aktuelle Hubschrauberproduktion übertreffen, wenn sie geringere Gesamtkosten oder Lärmemissionen als diese aufweisen. Die Luftfahrt ist immer dann besonders stark, wenn es darum geht, große Distanzen zu überwinden oder wenn es am Boden keine Möglichkeiten gibt, schnell und flexibel von A nach B zu kommen. Lufttaxis könnten vor allem in Regionen, die durch geografische Besonderheiten wie Inseln oder Berge gekennzeichnet sind, den Menschen einen Mehrwert bieten, indem sie die Reisezeit verkürzen und die Erreichbarkeit erhöhen.

AEROREPORT: Wie kann Urban Air Mobility die Lebensqualität der Menschen außerdem verbessern?

Plötner: Lufttaxis können für bestimmte Nutzergruppen wie Touristen oder Geschäftsreisende attraktiv sein, die bereit sind, für ein besonderes Erlebnis oder einen Zeitvorteil zu zahlen. Schließlich könnten eVTOL-Fluggeräte als Zubringer für Langstreckenflüge dienen, indem sie Passagiere schnell und bequem zu den Flughäfen und Drehkreuzen befördern oder von dort



Das Bauhaus Luftfahrt wurde als eingetragener Verein 2005 gegründet. Es ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung und entstand in Anlehnung an das historische Bauhaus in Dessau. Mitglieder sind vier namhafte Unternehmen der Luftfahrtindustrie – Airbus, IABG, Liebherr-Aerospace und die MTU Aero Engines – sowie das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. 2020 wurde das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) als förderndes Mitglied aufgenommen.



VoloCity: — Der Zweisitzer mit dem markanten Ring für die 18 Rotoren kann derzeit 35 Kilometer weit fliegen bei einem maximalen Tempo von 110 km/h. Der VoloCity wird anfangs mit Pilot:in abgehoben.

„In 20 Jahren werden wir am Himmel neuartige Flugzeuge und Fluggeräte mit verschiedenen Technologien erleben können.“

Dr. Kay Plötner,
Leiter Ökonomie und Verkehr
beim Think Tank Bauhaus Luftfahrt

abholen. Auch wenn es um Notarzteinsätze oder den Transport von lebensrettendem Equipment oder Medikamenten geht, kann Urban Air Mobility einen Mehrwert bieten. Neben der gewerblichen Personenbeförderung gibt es zudem eine Vielzahl weiterer Anwendungen für Fracht- und Unterstützungsdienste.

AEROREPORT: Sie sagen, um die urbane Luftmobilität zu einem zukunftsfähigen Konzept zu machen, müssen soziale, ökologische und wirtschaftlich nachhaltige Anwendungen identifiziert werden. Was bedeutet das?

Plötner: Das bedeutet, dass sie die Bedürfnisse und Erwartungen der Fluggäste und der Gesellschaft berücksichtigen, die Umweltauswirkungen minimieren und rentabel sein müssen. Mit Blick auf Europa sollten Anwendungen in kreativen Prozessen – also in Zusammenarbeit verschiedener Interessengruppen – entworfen werden. Ziel ist, ein gerechtes und nachhaltiges Verkehrssystem zu schaffen, das ländliche Gebiete und Großstädte besser verbindet. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte die Forschung und Entwicklung sowie eine enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Politik und Gesellschaft weiter vorangetrieben werden.

AEROREPORT: Wie sieht es mit weiteren Konzepten aus, beispielsweise mit Regional Air Mobility?

Plötner: Bei der Urban Air Mobility reden wir über Distanzen von 20, 30 oder 50 Kilometern, vielleicht mehr. Dies führt uns schnell in den Bereich der Regional Air Mobility, bei der auch Flugzeuge mit Antriebskonzepten wie Batterien und Wasserstoff eingesetzt werden können. Diese Flugzeuge könnten bis zu 19 Passagiere und mehr transportieren und die vorhandene Infrastruktur regionaler Flughäfen nutzen. Der Aufbau einer solchen neuen regionalen Luftverkehrsmobilität erfordert jedoch mehr als die Entwicklung, Zertifizierung und Produktion neuer Flugzeuge. Eine wichtige Voraussetzung ist beispielsweise eine Infrastruktur für Ladestationen und Wasserstoff. Die Luftfahrt ist im Wandel, aber eines steht fest: In 20 Jahren werden wir am Himmel neuartige Flugzeuge und Fluggeräte mit verschiedenen Technologien erleben können. 🌐

AUTORIN:



Nicole Geffert arbeitet seit 1999 als freie Journalistin mit den Themen Forschung und Wissenschaft, Geld und Steuern, Ausbildung und Beruf.

Senkrecht- starter für die Kurzstrecke

Flugtaxis im Anflug: Expert:innen schätzen, dass die ersten kommerziellen eVTOL-Flüge in den nächsten Jahren auf bestimmten Routen starten werden. Zehn Entwicklungen.

Die Luftfahrtbranche ist in Bewegung. Mit elektrischen Senkrechtstartern wollen die Hersteller die Mobilität in und zwischen den Städten revolutionieren. Flugtaxis für kurze Strecken und autonome Drohnen für den Lieferservice sind nur einige der Anwendungen, die sich aus dieser Technologie ergeben. Die Hersteller sehen in ihren eVTOLs (electric vertical take-off and landing) eine mögliche Lösung für die wachsenden Probleme der urbanen Mobilität, wie Staus und Luftverschmutzung. Allerdings gibt es noch viele offene Fragen und Herausforderungen für die Branche, vor allem in den Bereichen Sicherheit, Zulassung, Akzeptanz und Infrastruktur.

Voraussetzung für den kommerziellen Betrieb eines eVTOL-Fluggeräts ist eine offizielle Flugerlaubnis, was bedeutet, dass die rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen noch geklärt werden müssen. Außerdem müssen die eVTOLs hohe Sicherheitsstandards erfüllen und das Vertrauen der potenziellen Nutzer:innen gewinnen. Nicht zuletzt müssen auch geeignete Start- und Landeplätze sowie Lade- und Wartungsstationen geschaffen werden. Expert:innen schätzen, dass die ersten kommerziellen eVTOL-Flüge in den nächsten Jahren in ausgewählten Städten und auf bestimmten Routen starten könnten. Wie schnell und wie weit sich diese neue Form der Mobilität jedoch durchsetzen wird, ist noch nicht absehbar. Der **AEROREPORT** stellt zehn Entwicklungen exemplarisch online vor.

MEHR ZUM THEMA AIRTAXI FINDEN SIE ONLINE:

eVTOL-Entwicklungen:
Wohin geht die Reise mit Lufttaxis¹
und Drohnen?

www.aeroreport.de



Joby Aviation



Wisk Aero



Volocopter



Lilium



Archer Aviation



AutoFlight



Beta Technologies



Eve Air Mobility



Ehang



Elroy Air

AUF EINEN BLICK:

Die Kernkompetenzen der MTU

Hocheffizient und fortschrittlich: Die Triebwerkskomponenten „made by MTU“ sind Weltklasse.

Verdichter sind das Herzstück eines Triebwerks. Seit über 50 Jahren entwickelt, fertigt und repariert die MTU Aero Engines Hochdruckverdichter (HDV). Die Auslegung des HDV ist die Königsdisziplin im Triebwerksbau. Wer sie beherrscht, spielt in der Triebwerksliga ganz oben mit.

Ihr Verdichter-Know-how erwarb die MTU anfangs im militärischen Bereich. Ihren ersten zivilen HDV entwickelte und baute sie für das PW6000, den A318-Antrieb. Aktuelles Aushängeschild ist der HDV für den ökoeffizienten Getriebefan (GTF), den die MTU gemeinsam mit Pratt & Whitney entwickelt hat.

Und auch mit der Turbinentechnologie beschäftigt sich die MTU bereits seit Jahrzehnten. Weltweit ist sie Technologieführer bei Niederdruckturbinen (NDT) mit höchsten Wirkungsgraden und niedrigstem Gewicht. Die Bandbreite reicht von konventionellen Modellen für Antriebe von Geschäftsreiseflugzeugen über Nutzturbinen für Antriebe schwerer Transporthubschrauber bis hin zu großen konventionellen Niederdruckturbinen für Turbofantriebwerke von Mittel- und Langstreckenflugzeugen. Das Meisterstück der MTU ist die schnelllaufende Niederdruckturbinen, eine Schlüsselkomponente des Getriebefans – ihre Technologie ist weltweit einzigartig.

Eine weitere Kernkompetenz der MTU sind Turbinenzwischengehäuse (Turbine Center Frame = TCF). Die MTU entwickelt und fertigt diese Komponente für Antriebe von Langstreckenflugzeugen. Am Standort in München und bei der MTU Aero Engines Polska entstehen die TCFs des GP7000 (Airbus A380), des GENx (Boeing 787 Dreamliner und Boeing 747-8) und des GE9X, dem Exklusivtrieb der Boeing 777X. Das GE9X-TCF ist das technologisch anspruchsvollste TCF der MTU.

**Hochdruckverdichter (HDV)**

Der Hochdruckverdichter übernimmt die Hauptverdichtung der vom Fan angesaugten Luft, die ins Kerntriebwerk gelangt. Er weist einen sehr hohen Wirkungsgrad auf.

**Niederdruckturbinen (NDT)**

Die Niederdruckturbinen treiben den Niederdruckverdichter und den Fan an, der wiederum den Großteil des Schubs erzeugt.

**Turbinenzwischengehäuse (TCF)**

Turbinenzwischengehäuse bilden den Übergangskanal für das von der Hochdruckturbinen in die Niederdruckturbinen strömende Heißgas und haben eine Vielzahl an Aufgaben.

KERNKOMPETENZ 01:**Hochdruckverdichter (HDV)**

Der achtstufige, transsonische HDV des GTF hat ein Druckverhältnis von 15:1 und zeichnet sich durch ein äußerst robustes Betriebsverhalten bei hervorragendem Wirkungsgrad aus.

Der GTF-HDV ist in Blisk-Bauweise ausgelegt – erstmals auch in den hinteren Stufen. Dafür fertigt die MTU Nickel-Blisks im Auftrag von Pratt & Whitney mittels des Verfahrens PECM (Precision Electro-Chemical Machining). Weitere HDV-Highlights sind neue Bauweisen, etwa das Casing-Treatment, ein neues Rotorkonzept als Spannverband mit einem Zuganker, der axial ungeteilte Innenring, neue Werkstoffe sowie die neuartige Erosionsschutzschicht ERCoat®, eine innovative Multilayer-schicht für Schaufeln.

Im GTF-Verdichterbereich sind zudem zwei Bürstendichtungen verbaut. Diese innovativen MTU-Dichtungselemente ersetzen herkömmliche Labyrinthdichtungen und reduzieren den verbleibenden Leckagestrom deutlich.

Kurz erklärt:
Hochdruckverdichter

www.aeroreport.de

**KERNKOMPETENZ 02:****Niederdruckturbine (NDT)**

Die schnelllaufende Niederdruckturbine der MTU ist eine Schlüsselkomponente des innovativen Getriebefans und wird für diese Anwendung ausschließlich von der MTU beherrscht.

Die GTF-NDT erreicht deutlich höhere Umfangsgeschwindigkeiten, wodurch die aerodynamische Belastung sinkt und sich größere Stufenarbeiten bei gleichzeitig höheren Stufen-Wirkungsgraden realisieren lassen. Das verringert die Anzahl der Stufen nahezu auf die Hälfte.

Sie weist eine neuartige, aerodynamisch optimierte 3D-Beschaufelung auf. Aufgrund der Wahl gegenläufiger Drehrichtungen von Hoch- und Niederdruckwelle konnte die bisher übliche erste Leit-schaufelstufe der NDT in das Turbinenzwischengehäuse integriert werden. Weitere Highlights sind ein neues Gehäusekonzept zur besseren Abschirmung vom Heißgas sowie leichtere Werkstoffe für die Rotorscheiben. MTU-Bürstendichtungen reduzieren Kühl- und Leckageluft. Boroskopaugen sind die ersten Serienbauteile, die additiv per Laser Powder Bed Fusion gefertigt werden.

Kurz erklärt:
Niederdruckturbine

www.aeroreport.de

**KERNKOMPETENZ 03:****Turbinenzwischengehäuse (TCF)**

Turbinenzwischengehäuse sind im Betrieb extremen Belastungen ausgesetzt, wie hoher mechanischer Beanspruchung und hohen Temperaturen.

TCF müssen die heißen Gase, die die Hochdruckturbine mit einer Temperatur von über 1.000 Grad Celsius verlassen, mit möglichst geringen aerodynamischen Verlusten zur Niederdruckturbine leiten. Beide Turbinen gilt es mit Kühlluft zu versorgen, deren Zufuhr durch das TCF erfolgt. Als tragende Struktur nimmt das TCF das hintere Lager der Hochdruckwelle auf und trägt damit maßgeblich zur Spalthaltung in der Hochdruckturbine bei. Gleichzeitig muss die Ölzu- und -abfuhr durch die heiße Struktur sichergestellt werden.

Basierend auf der Grundarchitektur des GENX-TCF gibt es beim GE9X-TCF umfangreiche Optimierungen, die Gewicht, Lebensdauer und Herstellbarkeit weiter verbessern. Neu sind die ersten voll bionisch ausgelegten Bauteile der MTU: Halterungen für Ölleitungen, sogenannte Brackets. Hier wird eine Gewichtseinsparung von 35 Prozent erreicht.

Kurz erklärt:
Turbinenzwischengehäuse

www.aeroreport.de





Tanksysteme in Flugzeugen: mehr als nur Behälter

Vor dem Start muss ein Flugzeug betankt werden. Doch wo wird das Kerosin eigentlich verstaut? Welche Auswirkungen hat die Tankverteilung auf die Flugleistung? Und wie ändern sich die Anforderungen mit alternativen Kraftstoffen?

Autorin: *Monika Weiner*

Wohin mit dem Sprit? Hohlräume werden zu Tanks.

Pro Minute sprudeln beim Betanken bis zu 800 Kilogramm Kerosin in die Tanks, das entspricht knapp 1.000 Litern. Verkehrsmaschinen können zahlreiche Tonnen Treibstoff aufnehmen – in den Airbus A380 passen etwa 254.760 Kilogramm. Würde dieser Treibstoff ausschließlich im Rumpf untergebracht wie bei kleinen Propeller-Flugzeugen üblich, ginge enorm viel Stauraum verloren. Und auch das Gewicht der Flugzeugkonstruktion wäre höher: Während des Fluges zieht die Gravitationskraft den Rumpf nach unten, während die Tragflächen durch die Auftriebskraft nach oben gedrückt werden. Je schwerer der Rumpf und je leichter die Flügel, desto größer sind die Spannungen, denen die Verbindungsbauteile, die Flügelwurzeln, standhalten müssen. Minimieren lassen sich die Spannungen nur, indem man möglichst viel

Gewicht in die Flügel verlagert. Die Tragflächen sind daher ein idealer Ort, um Kerosin zu transportieren.

Wie viel Sprit in die Tanks gepumpt wird, hängt von der geplanten Flugstrecke ab. Die erforderliche Füllmenge berechnet der Bordcomputer. Dabei gilt: So viel wie nötig und so wenig wie möglich. Um unnötiges Gewicht zu vermeiden, wird genau so viel getankt, dass das Flugzeug sein Ziel erreichen kann plus einer Sicherheitsreserve für den Fall, dass der Flug länger dauert, weil beispielsweise der Zielflughafen überlastet ist und sich daher die Landung verzögert.

Welche Tanks gibt es?

Um Gewicht zu sparen, verzichten die Konstrukteure bei den großen Verkehrsflugzeugen auf Stahl- oder Kunststofftanks und nutzen stattdessen die Hohlräume in den Tragflächen. Weil diese Tanksysteme in die Struktur integriert sind, heißen sie Integraltanks. Abhängig von der Flügelkonstruktion gibt es mehrere solcher Tanks, die mit einem speziellen Dichtungs-Material abgedichtet und über ein Leitungs- und Pumpsystem miteinander verbunden werden. Grundsätzlich unterscheidet man in innere, rumpfnaher Tanks und äußere Tanks, die sich in der Nähe der Flügelspitzen befinden. Bei Kampfflugzeugen gilt das gleiche Prinzip der Integraltanks, zusätzlich werden häufig Innentanks als ballistischer Schutz im Flügel verwendet.

Einige Flugzeuge, beispielsweise die Boeing 747, verfügen darüber hinaus über einen Rumpftank, der sich zwischen den Tragflächen unter dem Boden der Fahrgastkabine befindet. Auch der neue Airbus A321XLR, ein Narrowbody mit einer Rekord-Reichweite von 8.700 Kilometern, wird mit einem Rumpftank ausgestattet.

tet: Dieser „Rear Center Tank“ ist integraler Bestandteil der Flugzeugstruktur und hat ein Fassungsvermögen von 12.900 Litern. Langstrecken-Flugzeuge haben meist auch noch einen zusätzlichen Trimm-tank im Leitwerk. Dieser hilft während des Fluges die horizontale Lage zu stabilisieren: Wenn der Füllungsgrad und damit das Gewicht der Flügeltanks abnimmt und sich damit der Schwerpunkt des Jets nach hinten verschiebt, kann Sprit aus dem Trimm-tank nach vorne gepumpt werden.

Herausforderungen im Betrieb: Schäden vermeiden.

Während des Fluges wird Kerosin aus den Tanks zu den Triebwerken gepumpt. Damit dabei kein Unterdruck entsteht, der die weitere Kerosin-Zufuhr blockieren würde, sind Verkehrsflugzeuge mit einem Tank-Belüftungssystem ausgestattet. Während des Fluges wird die Luft durch die Fluggeschwindigkeit in diese Lufteinlässe gedrückt und bildet somit ein Luftpolster auf dem Kraftstoff im Tank. Dieser reduziert nicht nur die Verdunstung des Treibstoffs, sondern unterstützt auch die Arbeit der Pumpen.

Durch die Luft, die in die Tanks gelangt, kann sich Kondenswasser bilden. In dem feuchten Milieu, das so entsteht, können sich allerdings Mikroben ansiedeln und vermehren. Die Folge sind Biofilme, die in kleinste Risse eindringen, die Aluminiumlegierungen angreifen und Korrosionsschäden hervorrufen können oder als Biomasse in die Pumpen und Ventile gelangen und zu Störungen führen können. Biozid-Zusätze im Kerosin verhindern das Wachstum solcher Mikroorganismen. Zu einem Problem werden sie vor allem dann, wenn ein Jet länger steht – was während der Corona-Pandemie häufig der Fall war. Die Tanks mussten daher teilweise vor der Wiederaufnahme des Flugbetriebs extra gereinigt werden.

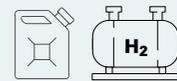
Wie fliegen wir morgen? Neue Treibstoffe verlangen mitunter neue Designs.

Alternative Kraftstoffe sollen zu einer klimaneutralen Zukunft der Luftfahrt beitragen. Bei Triebwerks- und Flugzeugherstellern, Flughafenbetreibern und Airlines arbeiten die Forscher:innen an neuen Lösungen für Antriebe, Flugzeugdesigns und Infrastruktur. Eine Alternative zum Kerosin, das aus fossilen Rohstoffen gewonnen wird, sind Sustainable Aviation Fuels, kurz SAF. Diese Kraftstoffe lassen sich aus regenerativen Rohstoffen oder mit Hilfe erneuerbarer Energiequellen, Kohlendioxid und Wasserstoff gewinnen. Erste Tests zeigen, dass eine Umstellung des Flugbetriebs und der Infrastruktur auf SAF problemlos möglich ist, wenn eine Zulassung für den jeweiligen Flugzeugtyp vorliegt. Eine Nutzung von 100 Prozent SAF ohne Aromate erfordert vermutlich Anpassungen in den Tanksystemen, etwa bei den Dichtungen.

Eine Umstellung auf Wasserstoff würde gänzlich neue Tanksysteme erforderlich machen: Gasförmiger Wasserstoff ist wegen der extrem großen und schweren Druckbehälter, die mehreren hundert bar standhalten, für die Luftfahrt eher ungeeignet.

Bevorzugt lässt sich Wasserstoff auch kühlen und flüssig transportieren. Für diesen kryogenen Treibstoff sind spezielle Tanks mit Wärmeisolierung erforderlich, die auf relativ niedrige Drücke zwischen zwei bis zehn bar ausgelegt sind. Technisch lassen sich diese Anforderungen am besten mit zylindrischen oder runden Formen erfüllen, die schlecht in die Tragflächen integrierbar wären. Ingenieur:innen arbeiten daher schon jetzt an neuen Flugzeugdesigns. Und auch die Wartungsprozesse und die Infrastruktur am Flughafen samt der Logistik zur Bereitstellung müssten für eine Wasserstoffversorgung neu konzipiert werden. 

Ein Treibstoffsystem für Flüssigwasserstoff



Die MTU Aero Engines entwickelt gemeinsam mit dem Luft- und Raumfahrtunternehmen MT Aerospace ein komplettes Flüssigwasserstoff-Treibstoffsystem für die zivile Luftfahrt. Das System besteht aus Tanks, Sensoren, Wärmetauschern, Ventilen, Sicherheitssystemen und Regelung. Noch in diesem Jahr soll das erste System bei MT Aerospace in Augsburg getestet werden. Die Expert:innen des Luft- und Raumfahrtunternehmens sind verantwortlich für das kryogene Wasserstoff-Speicher- und -Versorgungssystem, additiv gefertigte Wärmetauscher sowie Sensoren und die Systemintegration. Das Sicherheitssystem, die Regelung und die Ventiltechnik fallen in das Arbeitspaket der MTU. Das LH₂-Treibstoffsystem könnte von der Systemtechnik her mit leichten Änderungen auch für die Wasserstoff-Direktverbrennung in Fluggasturbinen verwendet werden.

Die erste Anwendung soll die Flying Fuel Cell™ (FFC) der MTU sein. Bei der FFC reagieren Wasserstoff und Luft-Sauerstoff in einer Brennstoffzelle unter Abgabe von elektrischer Energie zu Wasser. Mit der gewonnenen elektrischen Energie treibt ein hocheffizienter Elektromotor über ein Getriebe den Propeller an. Die FFC erzeugt weder CO₂- und NO_x-Emissionen noch Partikel – emittiert wird lediglich Wasser. Mit bis zu 95 Prozent reduziert die FFC damit die Klimawirkung nahezu auf Null. Auch werden erhebliche Lärmreduktionen erreicht, da der Propeller als einzige verbleibende Antriebs-Lärmquelle bleibt.

AUTORIN:



Monika Weiner arbeitet seit 1985 als Wissenschaftsjournalistin. Die Diplomgeologin interessiert sich vor allem für neue Entwicklungen in Forschung und Technik sowie deren gesellschaftliche Auswirkungen.

Rückkehr der fliegenden Riesenzigarren

Riesige neue Lastenluftschiffe sollen die Logistik in abgelegenen Gegenden revolutionieren. Die Erbauer der neuesten Generation haben ihre Lektionen aus der Geschichte gelernt.

Kaum 50 Kilometer sind es vom Flughafen Berlin/Brandenburg auf der Autobahn A13, dann sehen Autofahrer:innen links über der flachen märkischen Landschaft die größte freitragende Halle der Welt aufragen. Sie entstand in den 1990er Jahren für den Bau des Cargolifters, dem mit Abstand größten Luftschiff der Welt mit 260 Meter Länge, 15 Meter länger als der legendäre Zeppelin LZ 129 „Hindenburg“ aus den 1930er Jahren. Doch schon 2002 war die Firma pleite. Trotzdem bleibt Deutschland die Heimat der fliegenden Riesenzigarren. So ist der einzige Ort der Welt, an dem man heute regulär einen Passagierflug in einem Luftschiff buchen kann, Friedrichshafen am Bodensee.

Luftschiffe spielten seit dem Ende ihrer großen Zeit jahrzehntelang keine Rolle mehr. Das ändert sich jetzt, denn im Streben nach Nachhaltigkeit wird dieses umweltfreundliche Transportmittel wiederentdeckt. So entsteht in Sunnyvale, Kalifornien ein Luftschiff der neuesten Generation – die 122 Meter lange Pathfinder 1 konnte im Mai 2023 erstmals ein paar Zentimeter hoch schweben. Dank Hightech mit Struktur aus Kohlefaser und der Nutzung von nicht brennbarem Helium als Traggas sowie künftig Solarzellen, Batterien und Elektromotoren soll Pathfinder 1 ein „grünes“ Luftschiff für den humanitären Bereich sein. Die neue Generation der sogenannten fliegenden Zigarren ist nicht konventionell motori-



Der „Graf Zeppelin“ gilt als das erfolgreichste Verkehrsluftschiff seiner Zeit.



Auch heute noch werden mit dem Zeppelin Rundflüge angeboten.

siert, sondern mit elektrischem oder hybrid-elektrischem Antrieb, gespeist von Brennstoffzellen oder Solarzellen außen auf der Hülle.

Im Luftschiff von Madrid nach Barcelona

In Europa ist derzeit die britische Firma Hybrid Air Vehicles (HAV) am weitesten, ihr Airlander 10 ist ein sogenanntes Prallluftfahrtschiff, welches ohne starres inneres Gewicht auskommt. Die gesäßförmige Luftschiffhülle ist dabei der Behälter für das Traggas sowie das tragende System zugleich. Das Vehikel soll neben der Frachtbeförderung vor allem auch dem kommerziellen Passagiertransport dienen. Die spanische Regionalfluggesellschaft Air Nostrum hat 20 Airlander 10 vorbestellt. Schon 2026 hofft sie, Luftschiffe zwischen Barcelona und Mallorca verkehren lassen zu können. Es wird auch schon am wesentlich größeren Nachfolgemodell Airlander 50 gearbeitet, das bis zu 200 Passagiere befördern soll oder 50 Tonnen Nutzlast befördern kann.

Viel weiter und wesentlich schneller könnte der H2 Clipper fliegen. Das derzeit von der gleichnamigen kalifornischen Firma entwickelte Luftschiff soll ab 2029 fast 10.000 Kilometer mit einer Geschwindigkeit von 280 km/h zurücklegen und von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Elektromotoren angetrieben werden. Die Nutzlast soll bis zu 154 Tonnen betra-



Flying Whales — Das französische Unternehmen will mit seinem Luftschiff LCA60T etwa schwere Lasten wie Holzstämmen oder spezielle Geräte wie Windkraftanlagenflügel transportieren. Auch für die Nutzung als Höhenplattform wären sie geeignet, etwa für Erdbeobachtung oder Mobilfunkübertragung.



Airlander — Das Luftschiffprojekt der britischen Firma Hybrid Air Vehicles ist ein Prallluftfahrtschiff, welches ohne starres inneres Gewicht auskommt. Das Vehikel soll neben der Frachtbeförderung vor allem auch dem kommerziellen Passagiertransport dienen.



LUFTSCHIFFPROJEKTE IM VERGLEICH

Name	Herkunft	Länge	Nutzlast	Reichweite	Traggas	Zweck	Einführung
Zeppelin NT	DE	75,10 m	17 Pers.+Crew	1.000 km	Helium	Tourismus	2001
Cargolifter CL 160	DE	260 m	160 Tonnen	10.000 km	Helium	Fracht	Pleite 2002
LTA Pathfinder 1	USA	122 m	28 Tonnen	3.700 km	Helium	humanit. Hilfe	k. A.
LTA Pathfinder 3	USA	185 m	96 Tonnen	16.000 km	Helium	humanit. Hilfe	k. A.
Airlander 10	UK	92 m	14 t oder 100 Pers.	3.700 km	Helium	Logistik, Tourismus	2025
Airlander 50	UK	119 m	50 t oder 200 Pers.	2.200 km	Helium	Logistik, Tourismus	2033
H2 Clipper	USA	k. A.	150 Tonnen	9.656 km	Wasserstoff	Wasserstofffrachter	2029
Flying Whales LCA60T	FR	200 m	60 Tonnen	k. A.	Helium	Logistik	2027

Zum Vergleich:

Boeing 747-8F	USA	76 m	134 Tonnen	8.130 km	k. A.	Luftfracht	2011
---------------	-----	------	------------	----------	-------	------------	------

gen, rund ein Drittel mehr als herkömmliche Frachtflugzeuge. Der H2 Clipper ist das erste Luftschiff seit dem Hindenburg-Unglück 1939, das Wasserstoff als Traggas nutzt. Die europäische Flugsicherheitsbehörde EASA erlaubt dies seit 2022, in den USA steht das noch aus. Im Segment außergewöhnlich großer Frachtgüter sieht das französische Projekt Flying Whales seinen Markt. Rotoren von Windkraftanlagen könnten vom 200 Meter langen Luftschiff LCA60T aus der Luft direkt am abgelegenen Bauplatz entladen werden.

AUTOR:



Andreas Spaeth ist seit über 25 Jahren als freier Luftfahrtjournalist in aller Welt unterwegs, um Airlines und Flughäfen zu besuchen und über sie zu berichten. Bei aktuellen Anlässen ist er ein gefragter Interviewpartner in Hörfunk und Fernsehen.

DEN KOMPLETTEN ARTIKEL FINDEN SIE ONLINE:

Grün und günstig – das Versprechen der neuen Luftschiffe
www.aeroreport.de



IMPRESSUM

AEROREPORT 02|23

Das Luftfahrtmagazin der MTU Aero Engines | www.aeroreport.de

Herausgeber

MTU Aero Engines AG
 Eckhard Zanger
 Leiter Unternehmenskommunikation und Public Affairs

Redaktionsleitung

Dongyun Yang

Redaktion

Patricia Hebbing
 Isabel Henrich

Anschrift

MTU Aero Engines AG
 Dachauer Straße 665
 80995 München, Deutschland
aeroreport@mtu.de
www.aeroreport.de

Autoren

Nicole Geffert, Isabel Henrich,
 Patrick Hoeveler, Thorsten Rienth,
 Andreas Spaeth, Tobias Weidemann
 Monika Weiner

Layout

SPARKS CONSULTING GmbH, München

Bildnachweis

Titel MTU Aero Engines
 3 MTU Aero Engines
 6_7 MTU Aero Engines
 8_13 MTU Aero Engines,
 14_17 DLR, NASA Photo/Carla Thomas,
 Airbus Defence and Space,
 18_23 NASA Photo, Andreas Spaeth
 24_29 MTU Aero Engines, Shutterstock
 30_33 MTU Aero Engines, Textron Aviation
 34_37 Shutterstock, Warbelows, Andreas
 Spaeth, Air Greenland
 38_41 Flughafen Hamburg, Avianca,
 Wikimedia, Andreas Spaeth, Quantas
 MTU Aero Engines, Shutterstock
 42_45 MTU Aero Engines
 46_51 MTU Aero Engines, Wisk Aero,
 Joby Aero Inc., Lilium, Volocopter,
 Autoflight, Archer Aviation,
 Beta Technologies, Eve Air Mobility,
 Ehang, Elroy Air
 52_53 MTU Aero Engines
 54_55 Shutterstock
 56_57 MTU Aero Engines, Flying Whales,
 Shutterstock, Hybrid Air Vehicles,
 Michael Häfner

Druck

Schleunigungdruck GmbH, Marktheidenfeld

Online

ADVERMA
 Advertising und Marketing GmbH, Rohrbach

Texte mit Autorenvermerk geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder. Für unverlangtes Material wird keine Haftung übernommen.

Der Nachdruck von Beiträgen ist nach Rücksprache mit der Redaktion erlaubt.



F U T U R E



AEROREPORT

MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München, Deutschland
aeroreport@mtu.de, www.aeroreport.de